

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2006

Impressum

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

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

Bildrechte Titelseite: © Getty Images (M. Dunning), Enercon / Block Design, Visum (K. Sawabe), Zefa, Getty Images (C. Coleman)

Stand: November 2007

Vorwort

Der vorliegende Jahresbericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2006 über die Entwicklung der Umweltradioaktivität sowie der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland. Im Bericht enthalten sind außerdem Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIR) und Forschungsprojekte in diesem Bereich.

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

Die Schwerpunktthemen sind:

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.

Zivilisatorische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin verursacht. Insbesondere der Beitrag der Röntgendiagnostik zur effektiven Dosis ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen, was im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt ist. Von daher bleibt in diesem Bereich Handlungsbedarf weiterhin angezeigt. So enthält die Röntgenverordnung Regelungen, die darauf gerichtet sind, die medizinische Strahlenexposition in Deutschland insbesondere im Bereich der Diagnostik zu senken. Darüber hinaus ist es auch weiterhin erforderlich, bei der Ärzteschaft ein Problembewusstsein für eine strenge Indikationsstellung unter Berücksichtigung der Strahlenexposition der Patienten zu schaffen.

Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2006 ca. 312.000, davon 83% ohne messbare Dosis. Die mittlere Jahresdosis mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten beläuft sich mit 0,83 mSv fast unverändert auf dem Niveau des Vorjahres.

Die Expositionsdaten für das Flugpersonal wurden 2004 erstmals erfasst. Die ermittelte Jahresdosis für diesen Personenkreis betrug im Jahr 2006 2,2 mSv (2005 2,0 mSv). Der Anstieg ist durch den Anstieg der Höhenstrahlung infolge des Sonnenzyklus bedingt.

Strahlenexposition durch den Unfall in Tschernobyl und Kernwaffenversuche

Die durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,015 mSv im Jahr 2006 zurück (jährliche Abnahme der Cäsium-137-Kontamination um 2 bis 3 %). Nur bei einzelnen Lebensmitteln wie Pilzen und Wildfleisch sind noch erhöhte Werte der Radioaktivität festzustellen.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche zur effektiven Dosis ist weiterhin rückläufig. Sie betrug im Jahr 2006 weniger als 0,01 mSv.

Strahlenexposition durch Kernkraftwerke

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2006 mit 0,01 mSv deutlich unter 1 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 Informationen über die nicht ionisierende 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 Grenzwertempfehlungen in international anerkannten Fachgremien wie WHO und ICNIRP ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-

gesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben. Die Einhaltung der Grenzwerte für gewerblich genutzte 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 insbesondere die Wirkung des Mobilfunks auf den Menschen umfassend untersucht. Das Programm läuft von 2002 bis voraussichtlich Sommer 2008 und wird jeweils mit 8,5 Mio. € vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern finanziert. Bisher wurden inzwischen mehr als 50 Forschungsprojekte auf den Gebieten Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation gefördert.

Die UV-Belastung der Bevölkerung ist auf Grund des Freizeitverhaltens in der Sonne und des zunehmend in Mode kommenden "Wellness"-Bereiches mit Solariennutzung gestiegen. Eine freiwillige Festlegung von Mindestanforderungen an den Betrieb von Solarien hat bisher nur in ganz geringem Umfang Resonanz bei den Solarienbetreibern gefunden. Dem steht eine besorgniserregende Zunahme von Hautkrebs gegenüber. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des BfS und des UBA erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung im Freien.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	13
SUMMARY	17
RÉSUMÉ	21

TEIL A

ALLGEMEINE ANGABEN (GENERAL INFORMATION)

I	NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
	Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung <i>(Historical and legal basis of surveillance)</i>	26
1.	Natürliche Umweltradioaktivität <i>(Natural environmental radioactivity)</i>	28
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	30
2.1	Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie <i>(Residues of mining and industry)</i>	30
2.2	Radon in Gebäuden <i>(Radon in buildings)</i>	32
2.3	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten <i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	33
II	KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)	
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität <i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	38
1.1	Kernwaffenversuche <i>(Nuclear weapons tests)</i>	38
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	40
1.3	Kerntechnischen Anlagen - Allgemeine Angaben <i>(Nuclear facilities - general data)</i>	41
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	42
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)</i>	44
2.2	Meerwasser und Binnengewässer <i>(Seawater and inland water)</i>	45
2.3	Böden <i>(Soils)</i>	48
2.4	Lebensmittel, GUND- und Trinkwasser <i>(Foodstuffs, groundwater, and drinking water)</i>	48
2.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials)</i>	50
2.6	Abwasser und Klärschlamm <i>(Waste water and sludge)</i>	50
2.7	Reststoffe und Abfälle <i>(Residues and wastes)</i>	51
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	52

III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN (OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)	
1.	Personendosisüberwachung <i>(Monitoring of body dose)</i>	54
2.	Überwachung des fliegenden Personals <i>(Air crew monitoring)</i>	54
3.	Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition <i>(Monitoring of radon enhanced workplaces)</i>	55
4.	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen <i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	55
IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN (RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen <i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	58
1.1	Röntgendiagnostik <i>(X-ray diagnostics)</i>	58
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik <i>(Nuclear medicine, diagnostics)</i>	60
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen <i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i>	60
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren <i>(Alternative examination procedures)</i>	60
1.5	Qualitätssicherung <i>(Quality assurance)</i>	61
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	62
2.1	Strahlentherapie <i>(Radiotherapie)</i>	62
2.2	Nuklearmedizinische Therapie <i>(Therapy with radiopharmaceuticals)</i>	62
3.	Herzschrittmacher <i>(Pacemakers)</i>	63
4.	Medizinische Forschung <i>(Medical research)</i>	63
4.1	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)</i>	63
4.2	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an Patienten in der medizinischen Forschung <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)</i>	64
4.3	Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung <i>(Application of x-rays on humans in medical research)</i>	64
V	UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG (THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)	
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	66
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transport of radioactive material)</i>	68

3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler 68 <i>(Handling of radioactive materials, operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	68
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe 69 <i>(Users of radioactive sources)</i>	69
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle 69 <i>(Stock of radioactive waste)</i>	69
3.3	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen 69 <i>(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)</i>	69
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 70 <i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	70

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG (NON-IONISING RADIATION)

1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung 72 <i>(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)</i>	72
1.1	Statische Felder 72 <i>(Static fields)</i>	72
1.2	Niederfrequente Felder 73 <i>(Low frequency fields)</i>	73
1.3	Hochfrequente Felder 75 <i>(High frequency fields)</i>	75
1.4	Optische Strahlung 76 <i>(Optical radiation)</i>	76
1.5	Grenzwerte 78 <i>(Limit values)</i>	78

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

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

1.	Natürliche Umweltradioaktivität 80 <i>(Natural environmental radioactivity)</i>	80
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 80 <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	80
2.1	Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie 80 <i>(Residues of mining and industry)</i>	80
2.1.1	Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) 80 <i>(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)</i>	80
2.1.2	Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen) 82 <i>(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities - Immissions)</i>	82
2.2	Radon in Gebäuden 85 <i>(Radon in buildings)</i>	85
2.3	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten 87 <i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	87

II	KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
	(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)	
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität	90
	<i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	
1.1	Kernwaffenversuche	90
	<i>(Nuclear weapons tests)</i>	
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall	91
	<i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	
1.3	Kerntechnische Anlagen	92
	<i>(Nuclear facilities)</i>	
1.3.1	Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen	95
	<i>(Radiation exposure from nuclear facilities)</i>	
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze	100
	<i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse	100
	<i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)</i>	
2.1.1	Radionuklide in der bodennahen Luft	100
	<i>(Radionuclides in ground-level air)</i>	
2.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition)	109
	<i>(Total deposition of radionuclides)</i>	
2.1.3	Gamma-Ortsdosisleistung	113
	<i>(Ambient gamma dose rate)</i>	
2.1.4	Luft und Niederschlag in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	115
	<i>(Air and precipitation from the surroundings of nuclear facilities)</i>	
2.1.5	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen	120
	<i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)</i>	
2.2	Meerwasser und Binnengewässer	128
	<i>(Seawater and inland water)</i>	
2.2.1	Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	128
	<i>(Seawater, suspended matter, and sediment)</i>	
2.2.2	Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer	137
	<i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)</i>	
2.2.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	150
	<i>(Surface water and sediment from inland water in the surroundings of nuclear facilities)</i>	
2.2.4	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen	157
	<i>(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)</i>	
2.3	Böden	160
	<i>(Soil)</i>	
2.3.1	Boden, Pflanzen und Futtermittel	160
	<i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	
2.3.2	Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	167
	<i>(Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities)</i>	
2.4	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser	173
	<i>(Foodstuffs, groundwater, and drinking water)</i>	
2.4.1	Grundwasser und Trinkwasser	173
	<i>(Groundwater and drinking water)</i>	
2.4.2	Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	174
	<i>(Groundwater and drinking water from the surroundings of nuclear facilities)</i>	
2.4.3	Milch und Milchprodukte	176
	<i>(Milk and milk products)</i>	
2.4.4	Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	178
	<i>(Milk from the surroundings of nuclear facilities)</i>	
2.4.5	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer	181
	<i>(Fish and seafood and fish from inland water)</i>	

2.4.6	Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 188 <i>(Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities)</i>	188
2.4.7	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung 190 <i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i>	190
2.4.8	Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 204 <i>(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)</i>	204
2.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 214 <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and the constituent materials)</i>	214
2.6	Abwasser und Klärschlamm 215 <i>(Waste water and sludge)</i>	215
2.7	Reststoffe und Abfälle 223 <i>(Residues and waste)</i>	223
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 225 <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	225
III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN (OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)	
1.	Überwachung der beruflichen Strahlenexposition 232 <i>(Monitoring of occupational radiation exposure)</i>	232
1.1	Personendosismessungen 232 <i>(Personal dose measurements)</i>	232
1.1.1	Dosimeterüberwachte Personen 232 <i>(Monitoring with personal dosimeters)</i>	232
1.1.2	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 236 <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	236
1.2	Berufliche Strahlenexposition durch natürlich erhöhte Radonkonzentrationen 237 <i>(Occupational radiation exposures from natural enhanced concentrations of radon)</i>	237
1.3	Überwachung von Flugpersonal 238 <i>(Air crew monitoring)</i>	238
1.4	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen 238 <i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	238
IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN (RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen 240 <i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	240
1.1	Röntgendiagnostik 240 <i>(X-ray diagnostics)</i>	240
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik 242 <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	242
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen 243 <i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i>	243
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren 245 <i>(Alternative examination procedures)</i>	245
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen 247 <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	247
3.	Herzschrittmacher 247 <i>(Pacemakers)</i>	247
4.	Medizinische Forschung 248 <i>(Medical research)</i>	248

V	UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG (THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)	
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	250
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive material)</i>	250
1.2	Einfuhrstatistik <i>(Import statistics)</i>	251
1.3	Ausfuhrstatistik <i>(Export statistics)</i>	253
1.4	Genehmigungen und Anzeigen <i>(Licenses and reports)</i>	256
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transportation of radioactive material)</i>	257
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe <i>(Overview of transport licenses and the transportation of radioactive material)</i>	258
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen <i>(Transport of radioactive material in the rail- and shipping traffic)</i>	259
3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler <i>(Handling of radioactive materials operation of devices for the production of ionising radiation and X-ray devices)</i>	261
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe <i>(Users of radioactive sources)</i>	261
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle <i>(Stock of radioactive waste)</i>	267
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse <i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	269
VI	NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG (NON-IONISING RADIATION)	
1.	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen <i>(Electric, magnetic and electromagnetic fields - research and current topics)</i>	278
1.1	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder <i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i>	278
1.2	Hochfrequente elektromagnetische Felder <i>(High-frequency electromagnetic fields)</i>	278
2.	Optische Strahlung - Forschung und aktuelle Themen <i>(Optical radiation - research and current topics)</i>	283
2.1	Solares UV-Monitoring <i>(Terrestrial UV-Monitoring)</i>	283
2.2	Forschung bei optischer Strahlung <i>(Research on optical radiation)</i>	284
2.3	Zertifizierung von Solarienbetrieben <i>(Certification of solaria)</i>	285

ANHANG
(ANNEX)

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms)</i>	288
1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i>	288

1.2	Die Messung der Strahlendosen <i>(Measurement of radiation dose)</i>	289
1.3	Äußere und innere Bestrahlung <i>(External and internal radiation exposure)</i>	290
1.4	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	291
1.5	Induktion bösartiger Neubildungen <i>(Induction of malignant neoplasms)</i>	292
1.6	Risikoabschätzung <i>(Risk assessment)</i>	293
1.7	Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i>	294
2.	Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i>	295
3.	Glossar <i>(Glossary)</i>	296
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i>	301
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>	304
6.	Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide <i>(List of radionuclides referred to in the text)</i>	308

ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1958 werden die von den amtlichen Messstellen gemessenen Werte der Radioaktivität in der menschlichen Umwelt in Form von Vierteljahresberichten, seit 1968 in Jahresberichten veröffentlicht. Diese Berichte enthalten neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen. Im Folgenden werden Aussagen gemacht über die Strahlenexposition durch

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

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2006 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 medizinische Untersuchungen unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2006

		Mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1. Natürliche Strahlenexposition			
1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 0,4	
	bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,1
	bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)		ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
	bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)		ca. 0,2
	bei Aufenthalt im Gebäude (19 Std./Tag)		ca. 0,9
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		ca. 2,1	
2. Zivilisatorische Strahlenexposition			
2.1	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01	
2.2	Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl	< 0,015	
2.3	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.4	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin*	ca. 1,9	
	davon durch nuklearmedizinische Untersuchungen		ca. 0,12
2.5	durch Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung und Technik	< 0,01	
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,9	

* nach Auswertungen von 2004

Natürliche Strahlenquellen

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 mittlerer nomineller Wert von 2,1 Millisievert pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen von Jahr zu Jahr sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

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 den Uranbergbaugebieten überdurchschnittlich hohe Radonkonzentrationen auftreten, die aber auch in geologisch vergleichbaren Gebieten beobachtet werden und deshalb offensichtlich 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 in den Vorflutern. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe (Radon-222 und langlebige Alpha-Strahler) mit Fortluft und Abwasser der untertägigen Grubenfelder im Bereich der Wismut-Sanierungsbetriebe haben sich im Berichtsjahr weiter verringert.

Radon in Gebäuden

In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben beträchtliche regionale 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. Im Berichtsjahr wurden Untersuchungen zum Einfluss von Bergbau und bergbaulichen Hinterlassenschaften auf die Radonkonzentration in Häusern im Westerzgebirge und in einem Steinkohlerevier in Nordrhein-Westfalen fortgesetzt. In den letzten Jahren wurden nationale und internationale epidemiologische Studien durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radon-Zerfallsprodukt-Expositionen abschätzen zu können. Bereits bei Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m^3 .

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Im Berichtsjahr wurden Naturwerksteinmaterialien untersucht, die im häuslichen Bereich verwendet werden. Es ist davon auszugehen, dass diese selbst bei großflächiger Anwendung keine erhöhten Strahlenexpositionen verursachen.

Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Oktober 2006 wurde ein unterirdischer Atomwaffentest in Nordkorea durchgeführt. Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als $0,01 \text{ mSv pro Jahr}$.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Die Strahlenexposition infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl nahm 2006 weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis 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 2006 lässt sich mit $0,001$ Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition um eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet hier weiterhin häufig den Höchstwert der Cäsium-137-Kontamination von 600 Bq/kg .

Kerntchnik

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 Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung“ ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 2005 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen im Inland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (s. vorstehende Tabelle) lag auch 2006 unter $0,01$ Millisievert pro Jahr.

Die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe Hanau (NUKEM GmbH Hanau und SIEMENS AG, Brennelementwerk Hanau) sind inzwischen abgerissen und wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 312.000) lag 2006 bei 0,13 Millisievert. Bei ca. 83% der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres eine effektive Dosis von 0 Millisievert ermittelt. Bei den übrigen Überwachten ab einer Jahresdosis von 0,1 Millisievert (ca. 54.000) ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,77 Millisievert. Dies ist ca. 5% weniger als im Vorjahr.

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 2006 ca. 32.000 Personen betroffen. Die mittlere Jahresdosis beträgt 2,2 Millisievert (Vorjahr 2,0 Millisievert). Der Anstieg von 10% ist durch den Anstieg der Höhenstrahlung infolge des Sonnenzyklus bedingt.

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. Daher erhebt das BfS seit Anfang der 1990er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich vertreten durch die kassenärztliche Bundesvereinigung und durch den Verband der privaten Krankenversicherung.

Der Beitrag der medizinischen Strahlenexposition lag im Jahr 2004 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 über den Zeitraum 1996 bis 2004 nahezu kontinuierlich angestiegen. Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland hat hingegen über den betrachteten Zeitraum abgenommen, wobei im Jahr 2004 durchschnittlich etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr durchgeführt wurden. Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen auf die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt um etwa 65% im Zeitraum 1996 bis 2004 – zurückzuführen. Die CT trägt zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 7% bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2004 jedoch mehr als die Hälfte.

In der Nuklearmedizin stellen Schilddrüsen- und Skelettszintigraphie 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 auf Grund der hohen diagnostischen Aussagekraft des Verfahrens und der Verfügbarkeit neuer spezifischer Radiotracer immer mehr an Bedeutung. Nach Einschätzung der PET-Betreiber wird daher die Anzahl der PET-Untersuchungen in den nächsten Jahren deutlich zunehmen.

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. Weitere Anstrengungen sind in der Tumornachsorge notwendig.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik

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

Radioaktive Abfälle

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

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 2006 88.515 m³. Der Bestand an (vernachlässigbar wärmeentwickelnden) Zwischenprodukten und unbehandelten Abfällen belief sich auf 9.503 m³ und 17.035 m³.

Der Bestand konditionierter wärmeentwickelnder Abfälle in Deutschland betrug demgegenüber nur 544 m³. Weitere 61 m³ wärmeentwickelnder Abfälle waren in unbehandelter Form und 1.252 m³ als Zwischenprodukte zwischengelagert.

Bis zum 31.12.2006 sind in Deutschland 12.122 Mg SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) betahlte Brennelemente angefallen. Davon wurden 6.662 Mg SM zur Wiederaufarbeitung abgegeben.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Im Berichtsjahr wurden u. a. drei

Patienten auf Grund fehlerhafter Steuerungsparameter nach einem Update der Behandlungs-Software fehlbestrahlt. Die unbeabsichtigte Dosis für die Patienten betrug bis zu 24 Gy. Die Dosis hatte Hautrötungen, teilweise mit Epithelablösung und Pigmentanomalien zur Folge.

Nichtionisierende Strahlung

Auf Grund der technischen Entwicklung in unserer Umwelt ist die Bevölkerung in zunehmendem Maße niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern der drahtlosen Kommunikationsnetze ausgesetzt. Hinzu kommen mit ebenfalls steigender Tendenz gesundheitliche Risiken durch UV- und Infrarotbestrahlung. Ursache ist beispielsweise die Nutzung von Solarien und Infrarotkabinen, die sich immer größerer Beliebtheit erfreuen. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

Hier werden, wie auch für niederfrequente elektrische und magnetische Felder, Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Diese Grenzwerte basieren auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken und berücksichtigen internationale Empfehlungen. 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.

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

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Bundesweite Messkampagnen der BNetzA und regionale Messkampagnen einiger Bundesländer zeigten auch 2006, dass die entsprechenden Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung sogenannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige, Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit dem heutigen Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Hier besteht Handlungsbedarf. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2006 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren.

Hierzu gehört das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen wird die tägliche UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfasst, bewertet und der daraus ermittelte UV-Index im Internet veröffentlicht. Die für das Berichtsjahr 2006 ermittelten Daten weisen in den Monaten Juni und Juli in der Mitte Deutschlands Maximalwerte des UV-Index von über acht auf.

Das BfS hat einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarien vor zu hoher UV-Belastung und damit vor einem zu hohen gesundheitlichen Risiko festgelegt. Diese Kriterien bilden die Grundlage für das seit 2003 existierende freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Bis Ende 2006 haben vier der fünf durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen 86 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Sonnenstudios, die laut Angabe der Solarienbranche bei etwa 5500 liegt, ist diese Anzahl unbefriedigend.

SUMMARY

Since 1958, all data on environmental radioactivity from measurements performed by authorised laboratories have been published in quarterly reports and, since 1968, in annual reports. In addition to the results from environmental monitoring, these reports include data on the population exposure from natural and man-made radiation sources. In the following, information is given on exposures due to

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

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

The Table below shows the mean radiation exposure of the general public in the Federal Republic of Germany in 2006, broken down into the various sources of radiation. Compared to previous years, the mean effective dose remained unchanged, except for the data for medical examinations.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2006

		Mean effective dose mSv/year	
1. Radiation exposure from natural sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx.	0.3
1.2	external terrestrial radiation	approx.	0.4
	outdoor (5 h/d)		approx. 0.1
	indoor (19 h/d)		approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx.	1.1
	outdoors (5 h/d)		approx. 0.2
	indoors (19 h/d)		approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx.	0.3
Total natural radiation exposure		approx.	2.1
2. Radiation exposure from man-made sources			
2.1	fallout from nuclear weapons tests		< 0.01
2.2	effects from the accident in the Chernobyl nuclear power plant		0.015
2.3	nuclear installations		< 0.01
2.4	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine	approx.	1.9
	diagnostic nuclear medicine*		approx. 0.12
2.5	use of radioactive substances and ionising radiation in research and technology		< 0.01
Total of man-made radiation exposure		approx.	1.9

*according to data from 2004

Natural radiation sources

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. 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, calculated on the basis of the dose factors set out in the EURATOM basic standards, is 2.1 millisievert per year, resulting in particular from the inhalation of radon in buildings. There are only slight variations in exposure to natural radiation sources from year to year. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Mining and industry relics

A mining-related increase in the concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; the concentration decreases with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements show the occurrence of above-average radon concentrations in regions of uranium mining but, since such concentrations occur also in geologically comparable regions, these are assumed to be mainly 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. The discharge of radioactive substances (radon-222 and long-lived alpha emitters) through the exhaust air and effluents from subsurface mining facilities in areas belonging to the Wismut redevelopment project have further decreased in 2006.

Radon in buildings

Measurements performed during recent years revealed considerable regional variations in natural radiation exposure, because the concentrations of natural radioactive substances in soil and air differ largely. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure from the radioactive decay products of these radionuclides. In 2006, studies were continued relating to the impact of mining activities and mining relics on the radon concentration in dwellings in the Western Ore Mountains and in a coal-mining area in North Rhine-Westphalia. During the last few years, national and international epidemiological studies were performed in order to obtain estimates of the health risk associated with increased exposures of the general public to radon decay products. A significant increase in the lung cancer risk is already observed at radon concentrations above 100 Bq/m^3 with a 10% increase per 100 Bq/m^3 .

Radioactive substances in building materials and industrial products

In 2006, investigations were undertaken on natural stone building materials which are used in dwellings. It can be assumed that even extensive use of such materials does not cause enhanced radiation exposures.

Nuclear weapons testing

Numerous atmospheric nuclear weapons tests were carried out from 1945 to 1980, but since 1981 only underground tests have been performed. One underground nuclear weapon test was conducted in North Korea in October 2006. The general level of environmental radioactivity due to former tests in the atmosphere has steadily decreased since the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty from 1964. At present its contribution to the total of human radiation exposure is less than 0,01 mSv per year.

Chernobyl reactor accident

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2006; the mean effective dose was less than 0.015 millisievert. It amounts to less than one percent of the dose incurred by natural sources of exposure; about 90% of this radiation is caused by 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 2006. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be one order of magnitude higher. In particular the concentration of caesium-137 in wild boar meat still frequently exceeds the maximum value permissible level of 600 Bq/kg.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power plants and the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) contributes only insignificantly to the radiation exposure of the population. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the „General Administrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance“ are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 2005. 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 again in 2006 below 0.01 millisievert.

The nuclear fuel processing plants Hanau (NUKEM GmbH and SIEMENS AG, fuel element plant Hanau) have been dismantled in the meantime and were released from the scope of the Atomic Energy Act (Atomgesetz) in 2006.

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 312,000) controlled using personal dosimeters was about 0.13 millisievert in 2006. An effective dose of 0 millisievert was assessed, over the entire year, in about 83% of all persons controlled. A mean individual dose of 0.77 millisievert was determined for all other cases with an annual dose of 0.1 millisievert or more (approx. 54,000). This is about 5% less than in 2005.

Since August 1, 2003, aircrews who are in an employment according to German Labour Law and who can receive an effective dose of at least 1 mSv per calendar year from cosmic radiation during the flight must be monitored. In 2006, about 32,000 persons were monitored. The mean annual dose amounts to 2.2 millisievert (2.0 millisievert in the year before). This increase of 10% is caused by the solar cycle.

Medical applications

The major part of the mean effective population dose from man-made radiation exposure is caused by medical applications of radioactive substances and ionising radiation. Since the beginning of the 1990s, BfS therefore collects and analyses data on the medical radiation exposure in Germany. These data are generally supplied by organisations which bear the costs of medical care, mainly the associations of the social and private health insurance.

In 2004, medical applications contributed about 1,9 millisievert per inhabitant, of which about 0,1 millisievert were due to nuclear medical diagnostic procedures. There is an almost continuous rise in the contribution made by X-ray diagnostics to the effective dose from man-made sources of radiation from 1996 to 2004. However, the frequency of X-ray examinations conducted during this period in Germany decreased, and about 1,6 X-ray examinations were carried out per inhabitant and year in 2004. The rise in effective dose is mostly due to the steady increase of computerized tomography (CT) amounting to about 65 per cent from 1996 to 2004. CT has a share of only 7 per cent in the total frequency of X-ray diagnostics but contributed more than half to the collective effective dose in 2004.

In nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequent methods of examination. The use of radioactively labelled monoclonal antibodies is gaining in importance for both diagnostics of inflammatory processes and tumours, and tumour therapy. In nuclear medical diagnostics, Positron Emission Tomography (PET), too, becomes more important as it is a tool of high diagnostic value, and because new specific radiotracers are available. The operators of the PET technique therefore assume that the number of PET examinations will considerably increase in the next few years.

In radiotherapy, the use of newly developed exposure techniques and improved exposure planning enable 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 need to be made in the area of follow-up for tumour treatment.

The handling of radioactive substances in research and technology

The use of ionising radiation and radioactive substances for technological and research purposes has not changed in comparison to the preceding year. 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 and technology less than 0.01 millisievert per year.

Radioactive waste

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

On 31 December 2006, the levels of radioactive waste (with negligible heat production) in a suitable state for long-term disposal were 88.515 m³. The levels of (negligibly heat-producing) intermediate products and untreated waste was 9.503 m³ and 17.035 m³, respectively.

In contrast, the inventory of conditioned heat producing waste in Germany amounted to only 544 m³. Another 61 m³ heat-producing waste was subject to interim storage in an untreated form. A total of 12.122 Mg SM (heavy metal = uranium + plutonium) of irradiated fuel elements was produced up to 31.12.2006, of which 6.662 Mg SM were transferred to reconditioning.

Radiation accidents and exceptional events

Due to the stringent provisions of the radiation protection law, radiological emergencies with persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. During 2006, three patients were irradiated due to incorrect control parameters following an update of the treatment software. The unintended dose to the patients reached values up to 24 Gy. The dose resulted partly in erythema of which some were associated with epithelial lifting and pigment anomaly.

Non-ionising radiation

As a result of the technical development, the public is increasingly exposed to low-frequency fields from energy supply as well as high-frequency fields from wireless communication networks. In addition there is an upward trend in health risks from exposure to UV and infrared radiation. This is due, for example, to the use of solarium and infrared cabins which enjoy increasing popularity. The extension of mobile communication networks in Germany, especially the introduction of UMTS technology, continues to be a current topic of public discussion about potential health risks of new communication technology.

The related exposures are subject to limit values such as those set for low-frequency electric and magnetic fields. These limit values are based on scientifically established health risks, accounting for international recommendations. The current limit values for fixed low- and high-frequency installations are laid down in the 26th Federal Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act (Ordinance on electromagnetic fields 26. BImSchV).

The mean value of public exposure to both low- and high-frequency sources is far below the legal limits.

Compliance with the limits for fixed high-frequency installations is controlled according to telecommunications regulations by the Federal Network Agency (Bundesnetzagentur – BNetzA). Nationwide measuring campaigns conducted by the BNetzA, and regional measurement campaigns undertaken in several Länder revealed that the values registered in areas available to the public are far below the legal limit values.

UV-exposure of the public is continuously increasing due to the modern leisure behaviour in the sun and because of the use of „wellness areas“ offering tanning in solarium. At the same time there is an alarming increase in the incidence of skin cancer related to this leisure behaviour. There is need for action. The Federal Office for Radiation Protection (BfS) has therefore continued in 2006 to campaign for the implementation of measures designed to reduce the UV exposure for large parts of the population.

This includes the UV monitoring conducted by BfS and the Federal Environment Agency (UBA) since 1993. In cooperation with 5 associated institutions the daily solar UV radiation is continually registered and assessed, and the UV-index is published on the internet. The data established for the reported year 2006 show a maximum UV index of over eight in the central part of Germany from June to July.

The BfS has established general criteria for a minimum standard designed to protect solarium customers from excessive UV exposure and thus from severe health risks. These criteria are the basis for the voluntary certification procedure for solarium carried out since 2003. Four of the five certification bodies accredited by BfS have certified 86 solarium until the end of 2006. In view of the total number of solarium these figures are unsatisfying and it will be necessary to reconsider the voluntary approach.

RÉSUMÉ

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 figurant ci-dessous sur l'exposition aux rayonnements due

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

Depuis 2001, ce rapport contient également des informations sur les rayonnements non-ionisants et la recherche en cours dans ce domaine.

Le tableau ci-dessous montre la moyenne d'exposition aux rayonnements de la population de la République Fédérale d'Allemagne en 2006 selon les différentes sources d'exposition. Comparée aux années précédentes, la dose effective moyenne reste inchangée, à l'exception de la valeur due aux examens médicaux.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2006

		Dose effective moyenne mSv/an	
1. Exposition naturelle par source			
1.1	rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	rayonnements terrestres externes à l'extérieur (5 h/jour) à l'intérieur des maisons (19 h/jour)	env. 0,4	env. 0,1 env. 0,3
1.3	produits de filiation de radon (par inhalation) à l'extérieur (5 h/jour) à l'intérieur des maisons (19 h/jour)	env. 1,1	env. 0,2 env. 0,9
1.4	due aux substances radioactives naturelles ingérées	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle aux rayonnements		env. 2,1	
2. Exposition artificielle par source			
2.1	retombées des essais d'explosions nucléaires	<0,01	
2.2	l'accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	<0,015	
2.3	installations nucléaires	<0,01	
2.4	applications médicales de rayonnements ionisants et de substances radioactives* examens en médecine nucléaire	env. 1,9	env. 0,12
2.5	l'utilisation de substances radioactives et rayonnements ionisants dans la recherche et la technique	<0,01	
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,9	

*selon les données de 2004

Sources naturelles de rayonnements

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 due essentiellement à l'exposition dans l'air et dans le sol du radioisotope naturel potassium-40, ainsi que les radionucléides 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'absorption de substances radioactives naturelles contenues dans l'eau potable et la nourriture. La part des sources naturelles de rayonnements contribuant à la dose effective naturelle varie entre 1 et 6 millisievert. La valeur moyenne nominale, calculée à partir des facteurs de dose définis dans les normes de base d'EURATOM, est de 2,1 millisievert par an, dont la source est principalement le radon à l'intérieur de maisons. L'exposition naturelle aux rayonnements ne varie que faiblement d'un

an à l'autre. La part des diverses sources contribuant à la dose effective moyenne par an est indiquée dans le tableau ci-dessus.

Vestiges miniers et industriels

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, le taux diminuant rapidement avec la distance. Il résulte des mesures que des concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières de l'exploitation de l'uranium, alors que des concentrations élevées sont également observées dans des régions avec une géologie comparable, donc partiellement d'origine naturelle. La dérivation de l'uranium et du radium et ses produits de désintégration provenant des mines dans les canaux émissaires des régions minières n'a aucune influence, ou seulement une influence négligeable sur le niveau naturel de ces radionucléides. Le taux de substances radioactives (le radon-222 et les émetteurs alpha à vie longue) évacué par l'air vicié et les eaux usées provenant des installations minières souterraines dans la région des projets d'assainissement du Wismut a continué à diminuer pendant l'année du rapport.

Le radon dans les bâtiments

Les mesures effectuées aux cours des dernières années ont mis en évidence des différences régionales considérables quant à l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et dans l'air. La construction de bâtiments sur un terrain à teneur élevée en uranium et en radium et, dans une moindre mesure, l'utilisation de matériaux de construction, à teneur élevée en substances radioactives naturelles, ont provoqué une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due aux produits radioactifs de décomposition qui en résultent. Durant l'année du rapport, on a poursuivi les investigations sur l'influence des activités minières et des vestiges miniers sur la concentration de radon dans les bâtiments situés dans l'ouest des monts Métallifères et dans une région houillère en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées ces dernières années afin d'estimer le risque de la population résultant des expositions élevées aux produits de filiation de radon. Pour toute concentration de radon dépassant 100 Bq/m³ on constate une augmentation significative du risque du cancer du poumon, qui s'élève à environ 10% par 100 Bq/m³.

Les substances radioactives contenues dans les matériaux de construction et les produits industriels

Dans l'année du rapport, des pierres naturelles ont été examinées qui sont utilisées pour la construction de bâtiments. Les experts sont d'avis que ce matériel ne cause pas d'exposition élevée même s'il est utilisé pour des surfaces étendues.

Essais d'explosions nucléaires

De 1945 à 1980, un grand nombre d'essais d'explosions nucléaires furent réalisés en surface; depuis 1981, seuls des essais nucléaires souterrains ont été effectués. En octobre 2006, une explosion nucléaire souterraine a eu lieu en Corée du Nord. Le niveau général de radioactivité de l'environnement causé par les essais antérieurs dans l'atmosphère a constamment baissé depuis le Traité sur l'interdiction complète des essais nucléaires de 1964. Actuellement, il représente moins de 0,01 mSv par an de la totalité de l'exposition de l'homme aux rayonnements.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En 2006, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement ; la dose effective moyenne était en dessous de 0,015 millisievert. Elle était ainsi largement inférieure à un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturelle, et résulte d'environ 90% de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2006, 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 aller jusqu'à 0,01. Dans cette région, c'est surtout la contamination au césium-137 de la viande de sanglier qui surpasse souvent la valeur maximale de 600 Bq/kg.

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 les individus, déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 45 du Décret sur la Protection contre les rayonnements (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restées inférieures aux limites de dose fixées par le Décret sur la protection contre les rayonnements. De manière générale, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2005. Aussi en 2006, les installations nucléaires internes, ainsi que celles des pays voisins, contribuent pour une part inférieure à 0,01 millisievert par an à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne.

Les usines de traitement de combustibles nucléaires de Hanau (NUKEM GmbH et SIEMENS AG, usine d'éléments combustibles Hanau) ont entre temps été démolies et sont sorties du domaine d'application de la loi sur l'énergie atomique (Atomgesetz) au cours de l'année 2006.

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes pour toutes personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 312 000) a été d'environ 0,13 millisievert en 2006. Pendant toute l'année, une dose effective de 0 millisievert avait été mesurée chez environ 83% des personnes surveillées. Pour le reste des personnes surveillées, montrant une dose annuelle de 0,1 millisievert ou plus (environ 54 000), il en résulte une dose moyenne individuelle de 0,77 millisievert. Ceci représente environ 5% de moins par rapport à l'année dernière.

Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant employé selon la législation du travail allemande et susceptible de recevoir une dose effective d'au moins 1 millisievert par année civile due aux rayonnements cosmiques, est sujet à surveillance. En 2006, environ 32 000 personnes étaient affectées par cette réglementation. Leur dose annuelle moyenne s'élevait à 2,2 millisievert (2,0 millisievert pour l'année précédente). Cette hausse de 10% résulte de l'augmentation du rayonnement cosmique due au cycle solaire.

Application médicale

La plus grande part de la dose effective moyenne due à l'exposition artificielle aux rayonnements provient de l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en médecine. De fait, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) collecte et analyse des données sur l'exposition médicale aux rayonnements en Allemagne depuis les années 1990. Les sources de données les plus importantes sont les organismes payeurs, représentés surtout par les fédérations de caisses d'assurance maladie.

La part de l'exposition aux rayonnements des applications médicales s'élevait en 2004 à environ 1,9 millisievert par habitant. En la médecine nucléaire, les diagnostics représentaient environ 0,1 millisievert de cette exposition. La part des diagnostics radiographiques dans la dose effective due aux sources d'exposition artificielle aux rayonnements a augmenté presque continuellement de 1996 à 2004. La fréquence des examens radiographiques en Allemagne a néanmoins baissé durant cette période; en moyenne, environ 1,6 examens radiographiques par habitant et par an ont été réalisés en 2004. On a constaté que l'augmentation de la dose résulte pour l'essentiel de la hausse constante des examens de scanographie (scanner), représentant une hausse totale d'environ 65% de 1996 à 2004. Bien que l'examen du scanner ne représente qu'environ 7% des examens radiographiques comparés à la fréquence totale, sa part dans la dose effective collective d'exposition constituait cependant plus de la moitié en 2004.

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 importante dans le cadre du diagnostic de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que dans la thérapie des tumeurs, car cette procédure a une grande importance diagnostique et de nouveaux radiotraceurs spécifiques ont été développés. De même, 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 donc que ces examens seront plus fréquents dans les années à venir.

En radiothérapie, grâce à l'application de nouvelles méthodes d'exposition, et à de meilleures techniques de prévision de l'exposition, 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 au traitement de tumeurs.

Manipulation de substances radioactives dans la recherche et la technique

L'application de rayonnements ionisants et de substances radioactives à des fins techniques et dans la recherche n'a presque pas changé par rapport à l'année précédente. 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 et la technique est inférieure à 0,01 millisievert par an.

Déchets radioactifs

Sur ordre du Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité nucléaire (BMU), l'Office fédéral de Radioprotection (BfS) fait une enquête annuelle sur les résidus et déchets radioactifs en R.F.A. Cette enquête révèle le stock de résidus radioactifs, de déchets primaires et de déchets de désactivation, ainsi que la quantité et le stock de déchets radioactifs conditionnés.

Au 31 décembre 2006, le stock de déchets radioactifs (dont le développement de chaleur est négligeable) propres au stockage définitif était de 88.515 m³. Le stock de produits intermédiaires et déchets non-traités (dont le développement de chaleur est négligeable) était de 9.503 m³ et de 17.035 m³.

En comparaison, le stock de déchets radioactifs conditionnés développant de la chaleur ne s'élevait en Allemagne qu'à 544 m³. D'autres 61 de déchets développant de la chaleur étaient entreposés en état non-traité. 12.122 Mg SM (métal lourd = uranium + plutonium) d'éléments combustibles nucléaires irradiés ont été produits jusqu'au 31 décembre 2006, dont 6.662 Mg SM ont été transmis au retraitement.

Accidents et incidents radiologiques

Grâce aux dispositions juridiques strictes en matière de radioprotection, rares sont les incidents soumis à déclaration impliquant des personnes en contact avec des rayonnements ionisants et matières radioactives. Au cours de l'année de référence, trois patients ont été irradiés par erreur en raison d'une défaillance des paramètres de commande suite à un update du programme de traitement radiologique. Cette dose non intentionnée pouvait s'élever pour les patients jusqu'à 24 Gy. La dose avait pour conséquence partiellement des érythèmes, en partie avec retroussement de l'épithélium et anomalie pigmentaire.

Rayonnements non ionisants

Suite au développement technique dans notre environnement, la population est de plus en plus largement exposée aux champs de basse fréquence du réseau électrique et aux champs de haute fréquence des réseaux de communication sans fil. On constate également une augmentation croissante des risques pour la santé suite à une exposition aux rayonnements UV et infrarouges. La cause en est, par exemple, l'utilisation de plus en plus populaire des solariums et des cabines infrarouges. L'expansion des réseaux de communication mobile en Allemagne et, plus particulièrement, l'introduction de la technologie UMTS continue d'être au cœur du débat public sur les risques potentiels pour la santé engendrés par les nouvelles technologies de communication.

Les experts recommandent dans ce domaine, tout comme dans celui des champs de basse fréquence électriques et magnétiques, des valeurs limites. Celles-ci se basent sur les risques pour la santé prouvés au cours de recherches scientifiques et tiennent compte des recommandations internationales. Les valeurs limites actuelles applicables aux installations fixes à basse et à haute fréquence sont définies dans le 26^e règlement sur la mise en place de la loi fédérale sur le contrôle des immissions (Décret sur les champs électromagnétiques – BImSchV).

Il est à noter que l'exposition de la population est en moyenne largement inférieure aux limites prescrites par le législateur, qu'il s'agisse du domaine à basse fréquence ou de celui à haute fréquence.

L'agence fédérale des réseaux (Bundesnetzagentur – BNetzA) surveille le respect des valeurs limites pour les installations fixes à haute fréquence en se référant aux règlements législatifs pour la télécommunication. Les campagnes de mesures réalisées par l'agence fédérale des réseaux à l'échelle nationale ainsi que les campagnes régionales de certains länders ont montré en 2006 que les valeurs mesurées dans les domaines accessibles au public restent nettement inférieures aux limites.

Par ailleurs, on constate un accroissement continu de l'exposition aux rayonnements UV de la population due au comportement du public pendant son temps libre passé au soleil, ainsi que dans l'utilisation des zones de relaxation avec solariums. Ce comportement actuel a engendré une croissance inquiétante du cancer de la peau. Il est important d'agir. C'est la raison pour laquelle l'office fédéral de radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz – BfS) s'est engagé aussi en 2006 à mettre en place des mesures visant à réduire l'exposition aux rayonnements UV pour la plus grande partie de la population.

Ces mesures comprennent la surveillance du rayonnement UV établie en Allemagne depuis 1993 par le BfS et l'agence allemande de l'environnement (Umweltbundesamt – UBA). En coopération avec cinq institutions associées, le rayonnement UV du soleil est enregistré et évalué quotidiennement, puis l'index UV en résultant est publié sur internet. Les données enregistrées durant l'année de référence 2006 montrent des valeurs maximales pour l'index UV supérieures à huit au cours des mois de juin et juillet dans les régions du centre de l'Allemagne.

L'office fédéral de radioprotection (BfS) a défini des critères visant à mettre en place un standard minimum afin de protéger les clients de solariums d'une exposition trop élevée aux rayonnements UV, les mettant ainsi à l'abri d'un trop grand risque pour la santé. Ces critères constituent la base d'un procédé de certification volontaire pour les solariums qui est mené depuis 2003. Sur les cinq instances de certification autorisées par le BfS, quatre ont certifié 86 solariums jusqu'à la fin 2006. En considérant le nombre total de solariums qui, selon les données communiquées par la branche, s'élève à environ 5500, le nombre de certification reste tout à fait insuffisant.

**TEIL A
ALLGEMEINE ANGABEN**

(GENERAL INFORMATION)

**I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT
*(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)***

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

HISTORISCHE UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER ÜBERWACHUNG (HISTORICAL AND LEGAL BASIS OF SURVEILLANCE)

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption zweier Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland sind durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt und durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und das Atomgesetz (AtG) in der Umgebung kerntechnischer Anlagen geregelt.

Überwachung der Umwelt

Die Freisetzung von Radioaktivität 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 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes 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 Gamma-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 Routine-messprogramm zur Entnahme und Messung von Umweltproben zwischen den Bundes- und Länderbehörden abgestimmt und in den Folgejahren umgesetzt. Das Programm enthält verbindliche Vorgaben für die Durchführung der routinemäßigen Überwachungsmaßnahmen durch die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder und stellt ein bundeseinheitliches Vorgehen sicher.

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

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

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

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

1. Natürliche Umweltradioaktivität (*Natural environmental radioactivity*)

Natürliche Radionuklide in der Umwelt

Natürliche Radionuklide sind Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man zwischen den Radionukliden, die mit der Erdmaterie entstanden sind (primordiale Radionuklide) und denen, die durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre ständig gebildet werden (kosmogene Radionuklide).

Die primordialen Radionuklide haben Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Ein Teil der primordialen Radionuklide wandelt sich unmitttelbar in stabile Elemente um. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40 (K-40), es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Zu dieser Gruppe gehören noch mehr als 10 Radionuklide, z. B. Rubidium-87 (Rb-87), die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Andere primordiale Radionuklide wandeln sich zunächst in Nuklide um, die wiederum radioaktiv sind, ehe am Ende dieser radioaktiven Zerfallsreihen stabile Elemente entstehen. Die für den Strahlenschutz wichtigen Radionuklide stammen aus diesen Zerfallsreihen:

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

In jeder der Zerfallsreihen entsteht aus einem Radionuklid des Elementes Radium ein Nuklid des Edelgases Radon. In der Uran-Radium-Zerfallsreihe entsteht aus Radium-226 (Ra-226) das Radon-222 (Rn-222, HWZ 3,8 Tage), in der Thorium-Zerfallsreihe aus Radium-224 (Ra-224) das Radon-220 (Rn-220, HWZ 55,6 Sekunden) und in der Uran-Actinium-Zerfallsreihe aus dem Radium-223 (Ra-223) das Radon-219 (Rn-219, HWZ 3,96 Sekunden). Für den Strahlenschutz ist das Rn-222 von besonderer Bedeutung, in einigen Fällen muss auch das Rn-220 mit beachtet werden. Ohne Bedeutung ist dagegen das Rn-219.

Zur Gruppe der kosmogenen Radionuklide gehören u. a. Tritium (H-3, HWZ 12,3 Jahre), Beryllium-7 (Be-7, HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (C-14, HWZ 5.730 Jahre) und Natrium-22 (Na-22, HWZ 2,6 Jahre).

Natürliche Radionuklide im Boden

Der Gehalt natürlicher Radionuklide in Böden wird häufig durch den Gehalt der natürlichen Radionuklide im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen der Gehalt an primordialen Radionukliden gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteine auch höhere Werte dieser Nuklide. In solchen Gebieten liegen die Werte für Ra-226 in einem Bereich bis zu 200 Bq/kg. Dazu gehören die Bergbauggebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt, aber auch Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald. Vor allem im norddeutschen Raum ist die spezifische Aktivität der Böden geringer. Für das gesamte Bundesgebiet wurde als mittlerer Ra-226-Gehalt der Böden der Wert von 30 Bq/kg abgeschätzt.

In Gesteinen befinden sich die Radionuklide der Zerfallsreihen in der Regel im Gleichgewicht. In den Böden kann dieses Gleichgewicht aus verschiedenen Gründen, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide, gestört sein.

Natürliche Radionuklide im Wasser

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen verschiedener Umweltüberwachungsprogramme und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Für die Strahlenexposition sind vor allem die Radionuklidkonzentrationen in den Grundwässern und den daraus gewonnenen Trinkwässern von Bedeutung. Untersuchungen an diesen Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der Zerfallsreihen meist nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. im gleichen Wasser liegen unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der einzelnen Radionuklide zurückzuführen, die deshalb in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen. Die gegenüber U-238 überwiegend höheren U-234-Konzentrationen beruhen auf Rückstoßprozessen infolge des Alpha-Zerfalles von Uran-238 in den Gesteinspartikeln des Grundwasserleiters im Bereich der Phasengrenze fest/flüssig und der daraus resultierenden stärkeren Auslaugung von U-234 aus den Gesteinspartikeln.

In den Trinkwässern Deutschlands liegen die Medianwerte für U-238 und U-234 bei 2,6 mBq/l bzw. 4,4 mBq/l mit Wertebereichen von < 0,7 bis 350 mBq/l bzw. < 1 bis 580 mBq/l. Für Ra-226 und Ra-228 betragen die Medianwerte 6,3 mBq/l bzw. 5,6 mBq/l, wobei Maximalwerte von bis zu 350 bzw. 75 mBq/l auftreten.

Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergibt sich ein Median von 5,9 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l, der Maximalwert beträgt 1500 Bq/l.

Natürliche Radionuklide in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich vor allem die für die Strahlenexposition wichtigen Isotope des Edelgases Radon und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihe sind bei den natür-

licherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide.

Die Konzentrationen von 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.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 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 Tälern), können auch höhere Konzentrationen auftreten. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³.

Die Konzentrationen von Rn-220 sind niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt.

Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im Kapitel 2.2 näher eingegangen.

Natürliche Radionuklide in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und dem Metabolismus der Radionuklide ab. Das mit der Nahrung aufgenommene Kalium führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq K-40 pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei. Von den Nukliden aus der Thorium-Zerfallsreihe ist das Ra-228 zu beachten. In [1] wird dafür eine jährliche Zufuhr von 15 Bq angegeben.

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 wird durch die terrestrische Komponente der Gamma-Strahlung verursacht, 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 Gamma-Ortsdosisleistung im Freien auf nicht versiegelten Flächen (terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung) 57 nSv/h bestimmt (Photonenäquivalentdosisleistung). Höhere Werte der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind wiederum die bereits genannten Bergbauggebiete und Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

In den urbanen Gebieten wird die Gamma-Ortsdosisleistung durch den Aktivitätsgehalt der zum Straßen- und Häuserbau verwendeten Materialien bestimmt. Ein Zusammenhang mit der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung in der unmittelbaren Umgebung besteht in der Regel nicht.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition vorwiegend durch den Aktivitätsgehalt 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 Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonenäquivalentdosisleistung).

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte jährliche effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 mSv, davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv.

Zur externen Strahlenexposition trägt auch die kosmische Strahlung bei. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine Äquivalentdosisleistung von 32 nSv/h verursacht. Sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Äquivalentdosisleistung 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 in Deutschland eine jährliche effektive Dosis von ca. 0,3 mSv.

Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition tragen die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Rn-222 und des Rn-220 bei, die meist an Aerosole angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort durch Alpha-Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. Rn-222 und Rn-220 verursachen nur eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch die kurzlebigen Rn-222-Zerfallsprodukte.

Unter durchschnittlichen Bedingungen wird dadurch eine jährliche effektive Dosis von 1,1 mSv verursacht. Davon resultieren etwa 0,9 mSv aus dem Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv aus dem Aufenthalt im Freien. Allerdings muss auf die große Variationsbreite, vor allem der Konzentrationen von Rn-222 in Gebäuden, hingewiesen werden.

Die jährliche effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 0,005 mSv und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch K-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 variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln deutlich. Folglich ist auch die Radionuklidzufuhr regional sehr unterschiedlich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 [1] abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. Hinzu kommt die externe Strahlenexposition mit 0,7 mSv. Davon entfallen 0,3 mSv auf die kosmische und 0,4 mSv auf die terrestrische Komponente. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Rn-222, liegt die jährliche effektive Dosis für die durchschnittlichen Verhältnisse in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein Wert 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)

2.1 Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie (Residues of mining and industry)

Mineralische Rohstoffe und Kohlen können Uran- und Thoriumgehalte aufweisen, die über denen liegen, die in oberflächennahen Gesteinen und Böden vorkommen. Bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung dieser Stoffe wird die natürliche Radioaktivität oft in den Rückständen angereichert. So sind über Jahrhunderte im Bergbau und in der Industrie zahlreiche Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität entstanden, die in großen Mengen in der Umwelt abgelagert wurden. Aspekte des Umwelt- und Strahlenschutzes wurden dabei meist nicht beachtet.

Aus diesen Ablagerungen, wie Halden und Absetzbecken, können die natürlichen Radionuklide in die Umweltmedien freigesetzt werden und in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zu erhöhten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen. Auch andere Hinterlassenschaften (z. B. Schächte, Stollen sowie ehemalige Betriebsflächen) können Ursache einer erhöhten Strahlenexposition der Bevölkerung sein.

Infolge der geologischen Situation in Deutschland liegt der Schwerpunkt der aus der Sicht des Strahlenschutzes zu berücksichtigenden Hinterlassenschaften in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, wo sowohl der historische Bergbau (Silber, Kupfer, Zinn u. a. Nichteisenmetalle) als auch der Uranbergbau betrieben wurde und zu zahlreichen Halden, Schächten und anderen Hinterlassenschaften geführt hat.

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Viele der Hinterlassenschaften der Uranproduktion, die nach Ende des 2. Weltkrieges in Sachsen und Thüringen begann, befanden sich zum Zeitpunkt der Wiederherstellung der deutschen Einheit in der Zuständigkeit der SDAG Wismut. Ende 1990 wurde die Uranproduktion auch aus Gründen des Umwelt- und des Strahlenschutzes eingestellt. Mit der Verwahrung und Sanierung der Hinterlassenschaften wurde die Wismut GmbH beauftragt, die eigens zu diesem Zweck gegründet wurde und deren alleiniger Gesellschafter die Bundesregierung ist. Die Wismut GmbH hat ihren Sitz in Chemnitz und hat gegenwärtig (2006) folgende Niederlassungen:

- Aue mit den Standorten Schlema – Alberoda und Pöhla,
- Königstein mit den Standorten Königstein und Gittersee in Sachsen und
- Ronneburg, zu der die Standorte Ronneburg und Seelingstätt (Thüringen) sowie Crossen (Sachsen) gehören.

Die untertägigen Verahrungs- und Sanierungsarbeiten sind bereits weitgehend abgeschlossen. Derzeit wird die Flutung der Grubenfelder in Schlema / Alberoda und im ostsächsischen Bergbaugesbiet bei Königstein fortgesetzt. Die Wasserbehandlung der austretenden Grubenwässer wird in den nächsten Jahrzehnten aber weiterhin notwendig sein.

Schwerpunkt der übertägigen Arbeiten ist die Sanierung von Halden und Absetzanlagen, wobei die Gestaltung der Landschaft um Ronneburg im Rahmen der geplanten Bundesgartenschau 2007 beispielhaft die Rekultivierung und Einbindung der ehemaligen Bergbauflächen in die Landschaft dokumentiert. Die Verwahrung der ehemaligen Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Konturierung, Endabdeckung und Behandlung der Sickerwässer) schreitet kontinuierlich voran.

Bei den Verahrungs- und Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft¹ und mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenden jährlichen Ableitungsmengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser sowie die Überwachung der Konzentration dieser radioaktiven Stoffe in den Umweltmedien Luft, Boden, Lebens- und Futtermittel, Wasser und Sedimente erfolgt seit 1997 nach den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Die Kontrolle der Emissions- und Immissionsüberwachung des Sanierungsunternehmens, der Wismut GmbH, wird von unabhängigen Messstellen vorgenommen, die von den zuständigen Landesbehörden beauftragt werden.

In Teil B - I - 2.1 werden die Werte der jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser (Genehmigungswerte und Werte der Ableitungen) angegeben und vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklung diskutiert.



Um einen Überblick über die Immissionssituation in den betroffenen Regionen zu geben, werden darüber hinaus auch Daten von Messstellen zur Überwachung

- der Luft (Werte der Radon-222(Rn-222)-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre) und
- der Oberflächengewässer (Werte der Urankonzentration und Radium-226(Ra226)-Aktivitätskonzentration in Vorflutern mit regionaler und überregionaler Bedeutung)

angegeben und bewertet. Die Bewertung dieser Daten orientiert sich jeweils am geogen bedingten Konzentrationsniveau der natürlichen Radioaktivität und berücksichtigt ebenfalls den langjährigen Trend.

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

Hinterlassenschaften des historischen Bergbaus in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Als einigungsbedingte Sonderaufgabe beauftragte die Bundesregierung das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durch das StrVG mit den erforderlichen Untersuchungen, um die radiologische Situation in den betroffenen Regionen insgesamt zu klären. In den Jahren 1991 – 1999 wurde das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten - Altlastenkataster“ durchgeführt [1]. Im Ergebnis dieses Projektes zeigte sich, dass in diesen Ländern infolge des Bergbaus insgesamt etwa 130 Mio. m³ Haldenmaterial, etwa 20 Mio. m³ Schlacken und etwa 30 Mio. m³ Aufbereitungsrückstände abgelagert wurden, die Ursache erhöhter Strahlenexpositionen sein können und deshalb für den Strahlenschutz relevant sind („radiologisch relevante“ Hinterlassenschaften).

Die im Projekt erhobenen Daten und Informationen zu den bergbaulichen Hinterlassenschaften stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Landesbehörden als Grundlage für die nur fall- und standortbezogen zu treffende Entscheidung über Nutzungsmöglichkeiten oder Sanierungsnotwendigkeit zur Verfügung.

Hinterlassenschaften aus der Industrie

Im Ergebnis der intensiven industriellen Entwicklung, die sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland vollzog, entstand eine Vielzahl von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, für die keine Verwendungsmöglichkeiten bestanden und die auf kostengünstigste Weise durch Deponierung in der Umwelt beseitigt wurden. Gesichtspunkte des Umweltschutzes, des Grundwasserschutzes, aber auch des Strahlenschutzes waren nicht bekannt oder/und wurden nicht berücksichtigt. Es entstanden Deponien mit ganz unterschiedlichen Ausmaßen, in denen diese Rückstände mit teilweise mit anderen Materialien (z. B. Hausmüll) vermischt wurden.

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es zurzeit nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriege-schichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m³ erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. Die folgende Tabelle 2.2-1 gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

1. Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

Tabelle 2.1-1 Abschätzung der Menge von industriellen Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität
(*Estimation of the amount of industrial residue with increased natural radioactivity*)

Industriebereich / Prozess	Art der Rückstände				
	Schlämme	Schlacken	Scales	Flugaschen	Gips
Primärförderung von Rohöl und Erdgas	-	-	500 – 12.000 m ³	-	-
Verarbeitung von Rohphosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln	-	-	-	-	4 – 25 Mio. m ³
Roheisenmetallurgie einschließlich Rauchgasreinigung	2 – 3 Mio. m ³	2– 3 Mio. m ³	-	-	-
Aufbereitung von Bauxit zur Aluminiumgewinnung (Bayer-Verfahren)	14 – 35 Mio. m ³	-	-	-	-
Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Steinkohle	-	-	-	2 – 20 Mio. m ³	-
Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfällung)	2 – 7 Mio. m ³	-	12.000 – 25.000 m ³	-	-
Summe	18 – 45 Mio. m³	2 – 3 Mio. m³	12.500 – 37.000 m³	2 – 20 Mio. m³	4 – 25 Mio. m³
Gesamt	ca. 25 – 100 Mio. m³				

Literatur

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

2.2 Radon in Gebäuden (*Radon in buildings*)

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft im Freien und in Gebäuden aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218 (Po-218), Wismut-214 (Bi-214), Blei-214 (Pb-214), Polonium-214 (Po-214), Blei 210 (Pb-210) und Polonium-210 (Po-210)) im Atemtrakt angelagert. Die dort beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung führt zu einer Exposition, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von insgesamt 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) führt. Davon werden der Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden 0,9 mSv/a zugerechnet. Andere Organe werden durch Radon und seine Zerfallsprodukte nach derzeitiger Kenntnis weitaus weniger belastet.

In einer Reihe internationaler Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf der Grundlage zusammenfassender Auswertungen dieser Studien in Europa und Nordamerika kommt die deutsche Strahlenschutzkommission [1] zu folgender Bewertung:

- Es zeigt sich ein klarer Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration,
- dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar,
- eine signifikante Risikoerhöhung wurde ab einem Konzentrationsintervall von 100 – 199 Bq/m³ festgestellt,
- es wird von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen.

Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland in einem breiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq pro 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 tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen 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.

Generell sollte die Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im Allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den Baumaterialien der bestehenden Häuser kaum beeinflussbar sind. Die Summe beider Komponenten liefert für Aufenthaltsräume einen Anteil, der üblicherweise nicht über 100 Bq/m^3 Innenraumluft liegt. Höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden werden in Deutschland vor allem durch das in der Bodenluft des Baugrundes vorhandene und in das Gebäude eindringende Radon bestimmt. Mehr als 100 Bq/m^3 in Aufenthaltsräumen können mit vertretbarem Aufwand beim Neubau vermieden und in der Mehrzahl der Fälle in bestehenden Häusern reduziert werden. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ist aus dem Spektrum der verfügbaren Maßnahmen die für den Einzelfall geeignete auszuwählen.

Sowohl die bisher in über 60.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es große Gebiete gibt, in denen auf Grund der geologischen Verhältnisse keine erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden vorkommen und in denen deshalb keine besonderen Maßnahmen gegen den Eintritt von Bodenradon erforderlich sind.

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



Literatur

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

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

Zur vollständigen Bewertung der Strahlenexposition, die in Gebäuden auftreten kann, werden seit mehr als 25 Jahren in Deutschland Untersuchungen über den Gehalt natürlicher Radionuklide in Baumaterialien und industriellen Rückständen durchgeführt. Es wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) und Kalium-40 (K-40) in mehr als 1.500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

Wie die Tabelle 2.3-1 verdeutlicht, variiert die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmasteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

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

In Deutschland wird zunehmend die Verwendbarkeit von Rückständen in der Baustoffindustrie untersucht.

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [1] die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv 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 die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [3] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt. Die natürliche Radioaktivität in Baumaterialien wird in dieser Norm berücksichtigt soweit sie in notifizierten Regelungen der Mitgliedstaaten begrenzt ist.

Tabelle 2.3-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
Spezifische Aktivität in Bq/kg TM						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1.000	(600 - 4.000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1.500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1.270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1.300	(1.000 - 2.100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1.700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyr	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1.100	(1.000 - 1.300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1.100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1.200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1.000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1.000	(500 - 2.000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1.000	(300 - 2.000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2.000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1.300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1.600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2.000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1.000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1.000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spezifische Aktivität in Bq/kg TM					
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämme	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1.100	(1.000 - 1.200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		-		-	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1.000	(980 - 1.100)	286	(260 - 310)	-	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1.000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5.900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1.200)
Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie)	170	(9 - 310)	84	(3 - 250)	130	(1 - 280)
Braunkohlenfilterasche (Ostdeutschland)	82	(4 - 200)	51	(6 - 150)	147	(12 - 610)
Flugasche (nicht spezifiziert)	200	(26 - 1110)	100	(14 - 300)	700	(170 - 1450)
Chemiegips aus:						
Apatit	60	(40 - 70)	< 20		-	
Phosphorit	550	(300 - 1.100)	20	(< 4 - 160)	110	(< 40 - 300)
Rauchgasentschwefelung	8	(3 - 70)	6	(4 - 20)	50	(< 20 - 80)
Flussspat	35		8		280	
Schwerspat	180		17		350	
Feldspat	60	(40 - 100)	100	(70 - 200)	3000	(2.000 - 4.000)
Bauxit (Ungarn)	170		100		< 20	
Bauxit (Zaire)	240		120		< 30	
Bauxit (Guayana)	33		170		66	
Bauxit (Rotschlamm)	200	(< 20 - 800)	400	(50 - 1000)	400	(< 20 - 1.000)
Eisenerz (Brasilien)	22		4		-	
Eisenerz (Indien)	21		2		27	
Rohphosphat (nicht spezifiziert)	1.000	(100 - 2.000)	40	(< 20 - 100)	500	(< 40 - 900)
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spezifische Aktivität in Bq/kg TM					
Phosphat (Marokko)	1800		26		-	
Phosphat (GUS - Kola)	59		64		-	
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120.000		11.000		-	
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14.000		3.900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1.000)	2.000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36.000		84.000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5.200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1.000)	20	(< 20 - 30)	4.000	(< 40 - 8.000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5.900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger						
(Deutschland)	270		15		5.200	
(GUS)	9		54		1.200	
(Belgien)	210		< 15		5.900	
Koks	30	(20 - 30)	< 20		70	(40 - 80)
Steinkohle	32	(5 - 150)	21	(5 - 63)	225	(7 - 700)
Braunkohle	10	(< 1 - 51)	8	(< 1 - 58)	22	(< 4 - 220)
Bitumen, Teer	< 20		< 20		110 (37 - 260)	

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)
- [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] Europäische Kommission, Mandat M/366 EN concerning the execution of the standardisation work for the development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive, Brüssel, 16. März 2005

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel und von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

**1. Quellen künstlicher Radioaktivität
(Sources of artificial radioactivity)**

**1.1 Kernwaffenversuche
(Nuclear weapons tests)**



Die Umweltradioaktivität bedingt durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Tabelle 1.1-1 und Abbildung 1.1-1 geben einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche und deren Standorte in den Jahren 1945 - 2005.

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. Es ist in der Lage, eine nukleare Explosion von einer Kilotonne TNT-Äquivalent an jedem Ort der Erde mit hoher Wahrscheinlichkeit zu entdecken, zu identifizieren und auch zu lokalisieren. Dieses System beinhaltet 170 seismographische Stationen, 11 Hydroakustik- und 60 Infraschallstationen sowie 80 Spurenmessstationen für Radioaktivität in Luft. Das Radioaktivitätsmessnetz wird ergänzt durch 16 Radionuklidlaboratorien, deren wichtigsten Aufgaben die Qualitätssicherung und die unabhängige Nachmessung von Proben bei außergewöhnlichen Messergebnissen der Radionuklidstationen sind. Das BfS ist im Auftrag des Auswärtigen Amtes für die Radionuklidmesstechnik und Bewertung von Radionukliddaten der CTBTO auf nationaler Ebene zuständig. Es ist für den Betrieb der deutschen Radionuklidstation auf dem Schauinsland bei Freiburg verantwortlich und in Zusammenarbeit mit der Vertragsorganisation an der Weiterentwicklung der Messtechnik und Optimierung des Verifikationssystems beteiligt.

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

**Tabelle 1.1-1 Anzahl der Kernwaffenversuche in den Jahren 1945 - 2005 a)
(Number of nuclear weapons tests in the years 1945 - 2005)**

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in											
	USA		UdSSR		Großbritannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-

Jahr	Anzahl der Kernwaffenversuche in											
	USA		UdSSR		Groß- britannien		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1	-
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	-	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-	-
1986	-	14	-	0	-	1	-	8	-	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6

- a) Die Zahl der Kernwaffenversuche kann bei Verwendung unterschiedlicher Informationsquellen differieren
b) in der Atmosphäre
c) unterirdisch

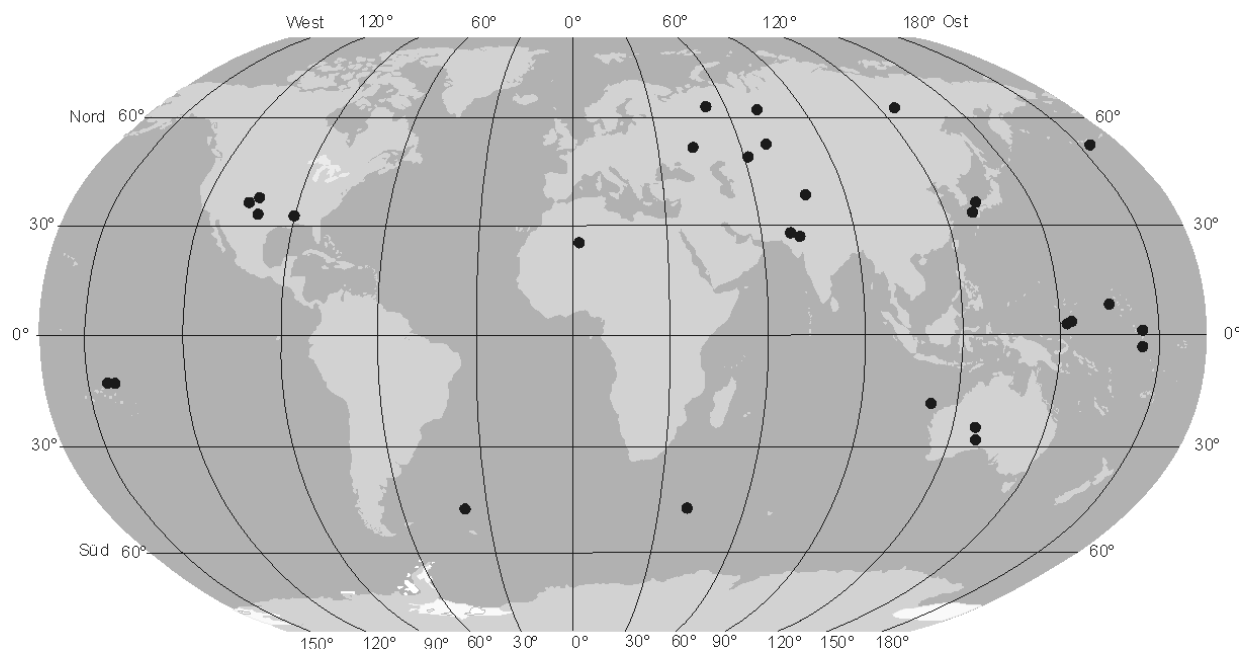


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - data of UNSCEAR)

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

Derzeit trägt mit 30 Jahren Halbwertszeit nur noch Cäsium-137 (Cs-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 beträgt zurzeit (2006) 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. $70 \mu\text{Sv}$, siehe Tabelle 1.2-1). 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. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil A - I - 1) beträgt im Vergleich dazu im Mittel $400 \mu\text{Sv}$ pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Tabelle 1.2-1 Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland
(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)

Jahr	externe Strahlenexposition (mSv/a)	interne Strahlenexposition (mSv/a)	gesamte Strahlenexposition (mSv/a)
1986	ca. $0,07^a$	ca. $0,04^b$	ca. $0,11$
1987	ca. $0,03$	ca. $0,04^c$	ca. $0,07$
1988	ca. $0,025$	ca. $0,015^d$	ca. $0,04$
1989	ca. $0,02$	ca. $0,01$	ca. $0,03$
1990	ca. $0,02$	$< 0,01$	ca. $0,025$
1991-1993	$< 0,02$	$< 0,01$	ca. $0,02^e$
1994	$< 0,02$	$< 0,01$	$< 0,02$
1995-1999	$< 0,015$	$< 0,001$	$< 0,02$
ab 2000	$< 0,01$	$< 0,001$	$< 0,015$

- 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

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland zurzeit eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis von weniger als 15 μSv . 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 μSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering.

Literatur

- [1] Fielitz U 2005: „Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben St.S 4324

1.3 Kerntechnischen Anlagen - Allgemeine Angaben (Nuclear facilities - general data)

Der aktuelle Bestand kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland ist in Teil B - II -1.3 dargestellt. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 47 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen sind hier Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 300 μSv über Luft bzw. Wasser, für die Schilddrüsendosis 900 μSv pro Jahr.



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

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

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Atomkraftwerken 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 Atomkraftwerken“ 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 aus kerntechnischen Anlagen und dem Endlager Morsleben sind in Teil B - II -1.3.1 zusammengefasst.

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

Die Notwendigkeit zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt ergab sich ursprünglich als Folge der erforderlichen Untersuchungen des radioaktiven Fallout der Kernwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren. Zur Umsetzung der Verpflichtungen des Euratomvertrags von 1957 und im Zuge der großtechnischen friedlichen Nutzung der Kernenergie wurde die Überwachung ausgeweitet und zunehmend gesetzlich geregelt, zusätzlich wurde ab 1990 - nach der Wiedervereinigung – die Überwachung der bergbaulichen Altlasten in den neuen Bundesländer integriert.

Nach Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren und dem großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung in Deutschland in den 60er Jahren ist zusätzlich zur Überwachung der Umweltradioaktivität die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen bezüglich Emissionen und Immissionen von Radionukliden gefordert. Die einzelnen Messaufgaben sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von 1993 festgesetzt.

Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt erfolgt zum Schutz der Bevölkerung und soll eine Beurteilung ermöglichen, in welchem Maße der Mensch und die Umwelt ionisierender Strahlung durch Kontaminationen ausgesetzt sind.

Überwachung der Umweltradioaktivität

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

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

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

- in Lebensmitteln,
- in Futtermitteln,
- in Trinkwasser, Grundwasser und in oberirdischen Gewässern (außer Bundeswasserstraßen),
- in Abwässern, im Klärschlamm, in Abfällen,
- in und auf dem Boden sowie
- in Pflanzen.

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

Zur Erfüllung der Anforderungen des „weitmaschigen Überwachungsnetzes“ (sparse network) der EU [1] ist ein ergänzendes Messprogramm ausgewiesen. Dazu wird Deutschland für die Probenentnahme in vier geographischen Regionen (Nord, Mitte, Süd und Ost) eingeteilt. Das „weitmaschige Überwachungsnetz“ soll für jede Region und für jedes Probenmedium zumindest eine für diese Region repräsentative Messstelle oder Probenentnahmestelle umfassen. An diesen Orten sollen hoch empfindliche Messungen durchgeführt werden, die ein klares Bild über die tatsächlichen Ni-

veaus und Trends der Aktivitätswerte vermitteln. Die zu untersuchenden Umweltmedien sind Luft (Aerosolpartikel) und Gammaortsdosisleistung, Oberflächenwasser, Trinkwasser, Milch und Gesamtnahrung.

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

Nach § 48 Abs. 1 StrlSchV ist u. a. dafür zu sorgen, dass die Ableitung radioaktiver Stoffe überwacht und nach Art und Aktivität spezifiziert wird (Emissionsüberwachung). Zu diesem Zweck werden die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser erfasst. Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition in der Umgebung des Emittenten ermittelt. Die Überwachung von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Spezifikation nach Art und Aktivität ist Grundlage für die Beurteilung der Einhaltung der maximal zulässigen Aktivitätsabgaben. Die Emissionsüberwachung muss sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb (§ 47 Abs.1 StrlSchV) als auch für den Störfall/Unfall eine Beurteilung erlauben, ob die Dosisgrenzwerte oder Eingreifrichtwerte der Strahlenschutzvorsorge und des Katastrophenschutzes überschritten werden. Für eine schnelle Verfügbarkeit von Messwerten zur Abschätzung radiologischer Auswirkungen werden auch hier automatisch arbeitende Messeinrichtungen eingesetzt.

Ergänzend zu den Messungen zur Überwachung der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen werden Messungen in der Umgebung durchgeführt (Immissionsüberwachung). Sie dienen als zusätzliche Kontrolle der Einhaltung von Dosisgrenzwerten und damit indirekt auch der Ableitungen. Die hierzu erforderlichen Nachweisgrenzen für Dosisleistungsmessungen und Radionuklidbestimmungen sind abhängig von den Dosisbeiträgen durch äußere und innere Bestrahlung zur Gesamtdosis festzulegen. Bei der Immissionsüberwachung werden die Umweltmedien Luft, Niederschlag, Boden, Bewuchs, Milch, Oberflächenwasser der Binnengewässer, Fische, Wasserpflanzen, Grund- und Trinkwasser und pflanzliche Nahrungsmittel beprobt und gemessen.

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

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

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

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

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

Die Nachweisgrenze ist somit ein Charakteristikum des Messverfahrens, einschließlich der Messeinrichtung. Sie hängt von verschiedenen Parametern der Messeinrichtung ab. Dazu gehören das Ansprechvermögen des Detektors, die räumliche Anordnung von Messpräparat und Detektor (Messgeometrie), das Messverfahren, wie z. B. Menge oder Anteil der Probe im Messpräparat und die Messdauer. Sie ist auch abhängig von den Unsicherheiten der einzelnen Beiträge zum Wert der Messgröße. Die Nachweisgrenze eines Messverfahrens erlaubt die Entscheidung, ob das Messverfahren den Anforderungen des Messzweckes genügt.

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

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

Literatur

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

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

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

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

Zur kontinuierlichen Überwachung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) betreibt das BfS ein automatisches Messnetz mit ca. 2150 Messstellen. Zusätzlich wird an 12 Stationen die Luft kontinuierlich bezüglich natürlicher Alpha-Aktivität, künstlicher Beta-Aktivität und gasförmiger radioaktiver Jodisotope überwacht (ABI-Messnetz, **Alpha-Beta-Iod**). Weiterhin verfügt das BfS über 6 Messfahrzeuge, die mit Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet sind. Diese werden zur nuklidspezifischen Bestimmung der Beiträge der Bodenaktivität (natürlichen und insbesondere künstlichen Ursprungs) zur Gamma-Ortsdosisleistung an den Messstellen (Sondenstandorte) des ODL-Messnetzes eingesetzt. Im Ereignisfall dienen sie zur schnellen Ermittlung der Aktivität frisch auf dem Boden deponierter Radionuklide.

Das Radioaktivitätsmessnetz des DWD umfasst 40 Messorte. Dort werden nuklidspezifisch messende Gamma-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der aerosolpartikelgebundenen Radionuklide und Messgeräte zur Erfassung der schwebstoffgebundenen künstlichen Alpha- und der künstlichen Beta-Aktivität sowie Probenentnahmesysteme für gasförmiges Jod, Aerosolpartikel und Niederschlag betrieben. Zusätzlich sind 39 der Stationen dieses Messnetzes mit stationären Messsystemen zur In-situ-Gamma-Spektrometrie ausgerüstet. An 20 dieser Messstationen werden gamma-spektrometrisch die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jods und schwebstoffgebundener Radionuklide bestimmt sowie die Radioaktivität im Niederschlag ermittelt. Im Intensivbetrieb stehen Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung.

Detaillierte Angaben zu den in Deutschland betriebenen Messnetzen und Messdaten finden sich im Internet unter www.bfs.de/ion/imis bzw. www.dwd.de/de/WundK/Umweltinformationen/index.htm.

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

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

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

Die bilanzierten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden in verschiedene Nuklidgruppen zusammengefasst. Dies sind die Gruppen radioaktive Edelgase, Schwebstoffe (Halbwertszeit > 8 Tage), I-131, Kohlenstoff-14 (C-14)

($^{14}\text{CO}_2$ -Anteil) und Tritium (H-3). Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuclidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Strontium-89 (Sr-89) und Sr-90 sowie die Alphastrahler Plutonium-238 (Pu-238), -239 und -240, Americium-241 (Am-241) und Curium-242 (Cm-242) und -244.

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

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



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

Meerwasser

Die Kontamination von Nord- und Ostsee durch künstliche Radionuklide unterscheidet sich vom terrestrischen Bereich hinsichtlich der Quellen, der langen Transportwege und der besonderen Mechanismen ihres Verhaltens im marinen Milieu.

Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cäsium-137 (Cs-137) bzw. Cäsium-134 (Cs-134), Strontium-90 (Sr-90), Technetium-99 (Tc-99), Tritium (H-3), Plutonium-(239+240) (Pu-(239+249)), Plutonium-238 (Pu-238) und Americium-241 (Am-241) untersucht (aktuelle Messergebnisse sind in Teil B - II - 2.2.1 dieses Berichts enthalten). Auf Grund der sehr geringen Konzentrationen im Meerwasser müssen die Radionuklide vor der Messung teils sehr aufwändig aus großvolumigen Proben durch chemische Verfahren von der Matrix abgetrennt, und von begleitenden verhältnismäßig hohen Konzentrationen natürlicher Radionuklide gereinigt werden.



In Nord- und Ostsee können künstliche Radionuklide aus folgenden Quellen nachgewiesen werden:

- Globaler Fallout aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre,
- Ableitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 und
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Atomkraftwerken 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 größer als ein Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Atomkraftwerk 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 Atomkraftwerken 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 hin führten dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen für fast alle Radionuklide extrem stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu deutlich geringeren Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch den Transport bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab und hat heutzutage nahezu die Hintergrundkonzentration des globalen Fallouts im Wasser des Nordatlantiks erreicht.

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

wo der Ein- und Auström weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt jedoch auch hier die Cs-137-Aktivitätskonzentration deutlich ab.

Sedimente

Sedimente reichern Stoffe aus der Wassersäule an. Sie sind damit eine wesentliche Senke für den Verbleib der in das Meer eingetragenen Schadstoffe. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich auch radioaktive Stoffe durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen nur langsam reversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule vermindert und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten können die abgelagerten Radionuklide aber auch resuspendiert werden und somit in die Wassersäule zurückgelangen.

Das Sediment vor allem der Irischen See, aber auch in geringerem Maße der kontinentalen Küste, ist durch Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen von La Hague und Sellafield in den siebziger Jahren stark kontaminiert worden. Durch natürliche Vorgänge wie Stürme und Bioturbation, aber auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei werden abgelagerte Radionuklide wieder in die Wasserphase und anschließend wieder in Lösung gebracht. Diesen Vorgang bezeichnet man als Resuspension. Der Eintrag resuspendierter Sedimente der Irischen See in die Nordsee ist seit Ende der 90er Jahre eine deutlich stärkere Quelle für Cs-137 und Transurannuklide als die vergleichbaren Einleitungen der Anlage Sellafield und stellt für Letztere mit Abstand die stärkste Quelle im Weltozean dar.



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

Tabellen 2.2-1 und 2.2-2 geben einen Überblick über die spezifische Cs-137-Aktivität in Wasser und Sediment der Nord- und Ostsee der Jahre 2001 - 2005.

Tabelle 2.2-1 Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentration (Bq/m³) im Wasser der Nord- und Ostsee in den Jahren 2001 - 2005
(Mean values of Cs-137-activity concentration (Bq/m³) in the water of the North- and Baltic Sea in 2001 - 2005)

Jahr	Cs-137 (Bq/m ³)	
	Nordsee (Deutsche Bucht)	Westliche Ostsee
2001	3,3	45,7
2002	3,4	41,4
2003	3,5	36,8
2004	3,4	37,0
2005	3,2	34,3

Tabelle 2.2-2 Bereiche der spezifischen Cs-137-Aktivität (Bq/kg TM) in den Oberflächensedimenten von Nord- und Ostsee in den Jahren 2001 - 2005
(Range of specific Cs-137-activity (Bq/kg TM) in the surface sediments of the North- and Baltic Sea in 2001 - 2005)

Jahr	Cs-137 (Bq/kg TM)	
	Nordsee	Ostsee
2001	1 - 15	2 - 140
2002	1 - 15	2 - 135
2003	1 - 15	1 - 127
2004	1 - 15	1 - 114
2005	1 - 15	2 - 116

Binnengewässer

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

Der radiologische Gütezustand der Gewässer wird von den Radionuklidgehalten in den Kompartimenten Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment geprägt, von denen auch die Wasserflora und -fauna beeinflusst werden. Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst und verfolgt werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Buhnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium (Senke) für radioaktive und andere Kontaminationen in den Gewässern zu betrachten. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten daher besonders angezeigt. Durch Resuspension oder Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwasserereignissen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Gewässerbereiche möglich. Dies kann wiederum über Schwebstoffmessungen verfolgt werden.

Bei den Radionukliden in Binnengewässern handelt es sich zum einen um Radionuklide natürlichen, d. h. kosmogenen und primordialen, Ursprungs: Tritium (H-3), Beryllium-7 (Be-7), Kalium-40 (K-40) sowie die Nuklide der Thorium- und Uran-Zerfallsreihen. Zum anderen werden künstliche Radionuklide nachgewiesen: H-3 stammt neben dem natürlichen Anteil aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotope verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) wurden hauptsächlich durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl 1986 in die Gewässer eingetragen. In geringem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte Kobalt-58 (Co-58) und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen sowie das vergleichsweise kurzlebige Jod-131 (I-131) aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen auf.

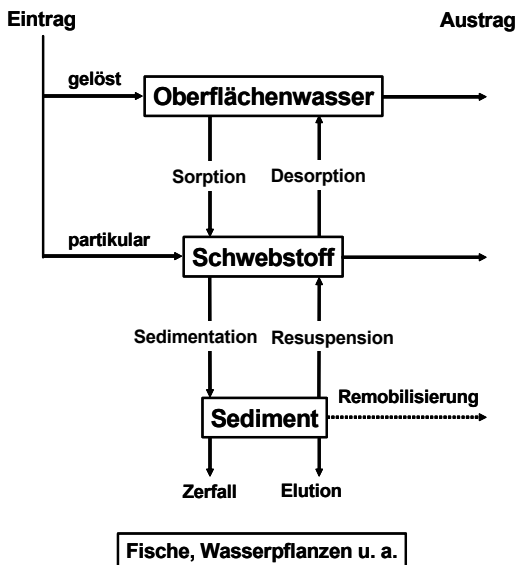


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
von radioaktiven (und anderen) Stoffen in Fließgewässern
(Simplified modell to the change and transportbehavior of ra-
dioactive (and other) substances in rivers)

Die natürlichen Radionuklide unterliegen im Allgemeinen keinen kurzfristigen Veränderungen und bedürfen daher nicht der ständigen Überwachung, obwohl diese derzeit den Hauptanteil an der Strahlenexposition durch Radionuklide in der Umwelt beitragen. Im Rahmen der o. g. Überwachungsaufgaben werden daher besonderes die künstlichen Radionuklide regelmäßig überwacht, um ihre zeitlichen Veränderungen und ihre möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu verfolgen. Die diesbezüglichen Ergebnisse für die jährliche Berichterstattung sind in Teil B - II - 2.2 dieses Berichts jeweils für Überwachung nach dem StrVG bzw. der REI zusammengefasst und erläutert.



2.3 Böden (Soils)

Die Wanderung der Radionuklide Cäsium-137 (Cs-137) und Strontium-90 (Sr-90) in den Boden hinein erfolgt nur langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort gehen auf Probe-nahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 ist durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaf-fenversuche stammt.



In Teil B - II - 2.3.1 werden Messwerte von als Weiden oder Wiesen genutzte Böden, von Ackerböden und Waldböden erhoben und wiedergegeben.

In der Vegetationsperiode werden verschiedene Pflanzenproben gamma-spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund stehen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination des pflanzlichen Materials geht leicht zurück, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die radioökologische Situation nach wie vor durch die zurückliegen-den Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall 1986 geprägt. Die aktuellen Messwerte aus der Umgebung kerntechnischer Anlagen sind in Teil B - II - 2.3.2 zusammengefasst.

2.4 Lebensmittel, GUND- und Trinkwasser (Foodstuffs, groundwater, and drinking water)

Grundwasser und Trinkwasser



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

Die Überwachung von Grundwasser wird im Rahmen des RMP an ca. 60 Probenentnahmestellen (vorwiegend Was-serwerke) und im Rahmen der REI an ca. 150 Probenahmeorten vorgenommen. Untersucht werden im Rahmen der REI vorrangig Grundwässer aus Notbrunnen oder Grundwassermessstellen, die in der Regel nicht für die Trinkwasser-gewinnung herangezogen werden. Die Auswahl der Probenahmeorte berücksichtigt geologische Gegenheiten und ins-beondere die unterschiedliche Beeinflussung der Grundwässer durch Niederschlag und Oberflächenwasser.

Die Trinkwasserüberwachung wird an Reinwässern sowie an ungeschützten und geschützten Rohwässern aus Was-serwerken vorgenommen. Reinwasser ist das vom Wasserwerk an den Verbraucher abgegebene Trinkwasser, das aus der Reinigung von Rohwasser resultiert. Ungeschütztes Rohwasser ist Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen und Tal-sperren. Geschützte Rohwässer sind Karst- und Kluftgrundwasser einschließlich Stollenwasser, mit aufbereitetem oder nicht aufbereitetem Oberflächenwasser angereichertes Grundwasser und Porengrundwasser. Im Rahmen des RMP zum StrVG werden ca. 80 Reinwässer untersucht, die durch Aufbereitung ungeschützter und geschützter Rohwässer aus jeweils ca. 40 Probenahmeorten entstehen. Darüber hinaus werden ca. 50 Rohwasserproben untersucht. Im Rah-men der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) werden zusätzlich jeweils an ca. 20 Probenahmeorten Rein- und Rohwasserproben analysiert.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden ist in Grund- und Trinkwasser wesentlich niedriger als in pflanzlichen Nahrungsmitteln und im Boden. Die Radionuklidkonzentrationen der beiden Gammastrahlung emittierenden Nuklide Co-60 und Cs-137 liegen bei Grund- und Trinkwasser sehr häufig unterhalb der durch das gammaspectrometrische Messverfahren bedingten Nachweisgrenze von ca. 0,003 Bq/l. Andererseits können die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Sr-90 und H-3 mit hohem radioanalytischen Aufwand bestimmt werden. Zur Charakterisierung des Aktivitätsniveaus dieser Radionuklide in Grund- und Trinkwasser wurden in Tabelle 2.4-1 die für den Zeitraum 1990 - 2004 gemittelten Medianwerte zusammengestellt.

Tabelle 2.4-1 Aktivitätskonzentrationen ausgewählter Radionuklide in Bq/l als mittlere Medianwerte in Grund- und Trinkwasser (Zeitraum 1990 – 2004)
(Average median activity concentration of selected radionuclides (Bq/l) in ground- and drink-ing water)

K-40	Co-60	Cs-137	Sr-90	H-3	Rest-Beta	G-Alpha
Bq/l						
0,15	< 0,004	< 0,003	0,003	1,7	< 0,1	0,06

Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) werden von den Messstellen der Bundesländer Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer und der Meere sowie in entsprechender importierter Ware ermittelt. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) ergänzt.

Die Ergebnisse hieraus werden im Teil B - II - 2.4.5 dargestellt. Dort sind Cäsium-137(Cs-137)-Zeitreihen ab 1986 für Fische aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern grafisch dargestellt, getrennt für Nord-, Süd- und Mitteldeutschland sowie in Tabellen die dazugehörigen statistischen Kennzahlen für das aktuelle Jahr. Ebenso findet man dort die entsprechenden grafischen Darstellungen und Kennzahlen für Karpfen und Forellen und für Fische aus Nordsee und Ostsee, wobei nicht mehr zwischen Regionen unterschieden wird. Weiterhin werden tabellarisch für das aktuelle Jahr die statistischen Kennzahlen für Cs-137 in Garnelen und Miesmuscheln von der Nordseeküste, sowie in Importproben von Süßwasser- und Meeresfisch, Krusten- und Schalentieren und Fischerzeugnissen dargestellt. In einer weiteren Tabelle finden sich die Ergebnisse für die Auswertung der Strontium-90(Sr-90)-Messwerte in Fischen, Krusten und Schalentieren. Getrennt nach Nordsee und Ostsee werden für das aktuelle Jahr, ggf. auch nachgetragene Werte aus vorangegangenen Jahren, die Messergebnisse der Leitstelle an Fischen, Krusten- und Schalentieren in Tabellen gezeigt. Hier sind neben Cs-137 und Sr-90 auch die Ergebnisse von alphaspektrometrischen Bestimmungen von Plutonium-(239+240) (Pu-(239+240)), Plutonium-238 (Pu-238) und Americium-241 (Am-241) dargestellt.



Die Daten der Aktivitätskonzentrationen in Fischen und Wasserpflanzen, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (nach REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern erhalten wurden, werden im Kapitel B - II - 2.4.6 dargestellt. Dabei dienen Wasserpflanzen als Indikatoren für im Fließgewässer vorhandene künstliche Radionuklide, die aus Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen stammen. Die für Fische und Wasserpflanzen erhaltenen Daten werden jährlich, nach Fließgewässer, kerntechnischer Anlage und Radionuklid gruppiert, zusammengefasst und die statistischen Daten tabellarisch dargestellt.

Zum besseren Verständnis des zeitlichen Verlaufs von Cs-137 in Süßwasserfischen nach Tschernobyl wurden von der Leitstelle effektive Halbwertszeiten ermittelt, mit denen die Cs-137-Aktivitätskonzentrationen in Fischen aus Flüssen und Seen Deutschlands abnimmt [1]. Bis Anfang der 90er Jahre wurde eine Abnahme mit einer kürzeren effektiven Halbwertszeit T_1 , danach eine längere effektive Halbwertszeit T_2 beobachtet.

Tabelle 2.4-2 Effektive Halbwertszeiten der Cs-137-Aktivitätskonzentration in Fischen aus Flüssen und Seen (Effective half-life of Cs-137-activity-concentration in fish from rivers and lakes)

Parameter	Mittelwert		Median	
	Seen	Flüsse	Seen	Flüsse
T_1 (Jahre) :	0,85	0,65	0,63	0,61
T_2 (Jahre) :	11	9,0	6,4	6,3

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 langfristig gesehen maßgeblich das zeitliche Verhalten in beiden Gewässerarten, damit auch in den Fischen, steuert.

Literatur

- [1] Kanisch G 2005: „Effektive Halbwertszeiten von Cs-137 in Fischen aus Binnenseen und Fließgewässern“. Kapitel 13. In: Trugenberger-Schnabel et al (Hrsg.): 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

Lebensmittel

Für Lebensmittel liegen die nach dem Tschernobylunfall deponierten Cäsium-137(Cs-137)-Kontaminationen auf einem sehr niedrigen Niveau. Über die Jahre betrachtet verändern sich die Aktivitätskonzentration nur noch äußerst geringfügig. Wegen der kürzeren Halbwertszeit ist Cäsium-134 (Cs-134) nicht mehr in Lebensmitteln nachweisbar. Auf einem sehr niedrigen Niveau befinden sich ebenfalls die Strontium-90(Sr-90)-Aktivitätskonzentrationen.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten, Wildspisepilze, Wildbeeren und Blütenhonig. Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln. Die Ursache hierfür ist in der höheren Verfügbarkeit des Cs-137 in Waldböden (organisches Material) zu suchen.

Die Milchproben, an denen die Messungen vorgenommen werden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammel tanks von Molkereien, so dass Mittelwertbildungen sinnvoll erscheinen.

Zusätzliche Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt werden, fließen ebenfalls in die Berichterstattung ein.

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

Die aktuellen Daten hierzu finden Sie in Teil B - II - 2.4.7.

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

Die Leitstelle für Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe ist nach § 11 Abs. 4 Nr. 4 StrVG unter anderem für die Zusammenfassung, Aufbereitung und Dokumentation der Radioaktivitätsmessdaten der genannten Produktgruppen zuständig. Die Leitstelle überwacht routinemäßig vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt hierbei auf dem gammaspektrometrisch messbaren Radionuklid Cäsium-137 (Cs-137), einem Falloutbestandteil der oberirdischen Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl. Die untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammen mehrheitlich aus verschiedenen europäischen Ländern. Tabakerzeugnisse werden stichprobenartig überprüft. Allerdings ist hier Cs-137 von untergeordneter Bedeutung. Das natürliche Radionuklid Polonium-210 (Po-210) liefert den Hauptbeitrag zur Strahlenexposition durch Rauchen. Bedarfsgegenstände werden auf Anfrage auf mögliche Kontaminationen untersucht.

Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen von Cs-137, Kalium-40 (K-40) und gegebenenfalls weiterer Radionuklide in den untersuchten pflanzlichen Proben (Arzneimittelpflanzen, Tees, Tabak und Tabakerzeugnisse verschiedener Produktionsstufen usw.) werden jährlich tabellarisch zusammengefasst (s. Teil B - II - 2.5). Die gemessenen Aktivitäten des Radionuklids Cs-137 weisen je nach Art und lokalen Gegebenheiten, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, erhebliche Variabilitäten auf. Hohe spezifische Aktivitäten werden etwa in Islandmoos aus den durch Tschernobyl-Fallout betroffenen Gebieten Europas gemessen. In der Regel werden in den gammaspektrometrisch untersuchten Pflanzenproben außer Cs-137 keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 schwanken entsprechend des Kaliumgehalts der untersuchten Pflanzenproben.

Bei der Herstellung eines Arzneimittels aus der Pflanze wird der Gehalt an Cs-137 durch die erforderlichen Arbeitsschritte in der Regel reduziert. Die Strahlenexposition, die aus der Anwendung von Arzneimitteln resultiert, ist als sehr gering ($<10 \mu\text{Sv/a}$) einzuschätzen.

2.6 Abwasser und Klärschlamm (*Waste water and sludge*)

Im Rahmen der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) sind auch kommunale bzw. häusliche Abwässer und die bei der biologischen Abwasserreinigung in Kläranlagen anfallenden Klärschlämme zu untersuchen. Beide Umweltmedien sind im aquatischen Bereich neben Oberflächengewässern sowie Grund- und Trinkwässern von Bedeutung, da zwischen ihnen intensive Wechselwirkungen bestehen. Beispielsweise werden die in den Kläranlagen gereinigten Abwässer in natürliche Gewässer als Vorfluter abgeleitet, wobei diese Wässer ggf. als Uferfiltrat wiederum als Trinkwasser genutzt werden.

Das Routinemessprogramm sieht die Überwachung von etwa 90 Abwasserreinigungsanlagen in Deutschland vor. Untersucht werden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und Klärschlämme. Vorzugsweise untersucht werden konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. als teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme. Vorwiegend erfolgen gammaspektrometrische Untersuchungen (Cäsium-137 (Cs-137), Jod-131 (I-131), Kobalt-60 (Co-60), Kalium-40 (K-40), Technetium-99m (Tc-99m)). Darüber hinaus werden über radiochemische Verfahren Strontium-90 (Sr-90) sowie Plutonium- und Uranisotope bestimmt. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.6 dokumentiert.

Abwässer und Klärschlämme sind radioökologisch von besonderer Bedeutung, da sich in der Umwelt befindliche künstliche und natürliche Radionuklide sehr stark anreichern können. Dies zeigte sich nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl. Unmittelbar nach dem Unfall wurde das gesamte Spektrum der freigesetzten, mit der Luft nach Mitteleuropa verfrachteten und dem Fallout bzw. Washout infolge von starken Niederschlägen auf der Erdoberfläche abgelagerten Spalt- und Aktivierungsprodukte nachgewiesen (z. B. I-131, Ruthenium-103 (Ru-103), Ruthenium-106 (Ru-106), Cer-139 (Ce-139), Tellur-132 (Te-132), Cs-134, Cs-137, Strontium-90 (Sr-90), Co-60, Co-57). Die festgestellten Aktivitätskonzentrationen (z. B. in Berlin) in der Größenordnung von mehreren 10^5 Bq/kg im Klärschlamm variierten je nach dem elementarem (chemischen) Charakter und der Halbwertszeit der Radionuklide in weiten Grenzen, vergl. [1-5]. Das Isotopenverhältnis der Cäsiumisotope Cs-134 und Cs-137 betrug seinerzeit 0,5 zu 1.

Dieses Verhältnis beträgt im Jahr 2005 nur noch 0,00013 zu 1, da Cs-134 mit einer Halbwertszeit von ca. 2 Jahren wesentlich schneller zerfällt als Cs-137 (Halbwertszeit 30 Jahre). Gegenwärtig sind für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung, wobei die Kontaminationen teilweise und bei letzterem Nuklid sogar hauptsächlich durch den Fallout aus der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1975 bedingt sind. Die mittleren Medianwerte für Klärschlamm betragen im Zeitraum 2000 – 2004 in Deutschland für Cs-137 5,3 Bq/kg TM und

für Sr-90 2,6 Bq/kg TM. Die Maximalwerte betragen 190 Bq/kg TM bzw. 14 Bq/kg TM. Die entsprechenden Werte lagen für Abwasser bei <0,033 Bq/l, 0,0054 Bq/l, 0,05 Bq/l und 0,26 Bq/l.

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge starker Niederschläge Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. Die höchsten Cs-137-Kontaminationen in Süddeutschland zeigten die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg). In der Zeit von 2000 bis 2004 verringerten sich die Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage von 140 auf 98 Bq/kg TM. Mit einem weiteren Rückgang ist zu rechnen.

Neben den beiden erörterten künstlichen Radionukliden werden stets K-40, Uranisotope und gelegentlich I-131 und das sehr kurzlebige Tc-99m nachgewiesen.

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 der regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Maximalwerte in den Jahren 2000 – 2004 lagen im Klärschlamm im Mittel z. B. für K-40 bei 900 Bq/kg TM und für U-234 und U-238 bei 150 bzw. 120 Bq/kg TM.

Das künstliche Radionuklid I-131 wird hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzt und gelangt mit den Ausscheidungen der Patienten in das Abwasser. Die mittleren Medianwerte für Klärschlamm betragen im Zeitraum 2000 – 2004 42 Bq/kg TM und die Maximalwerte im Mittel 2800 Bq/kg TM.

Literatur

- [1] Gans I, Rühle H, Bünger Th und Beckmann D 1986: „Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung des Reaktorunfalls in Tschernobyl“, Bundesgesundheitsblatt 29, 305-314
- [2] Gans I, Abelman S, Bünger Th, Fusban H-U, Rühle H, Rughöft S, Viertel H 1991: „Langfristige Auswirkung des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf Abwasser und Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland“, Korrespondenz Abwasser 38, 711-721
- [3] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 1998: „Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 7, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York
- [4] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 1988: „Radionuklide in Wasser-Schwebstoff-Sediment-Systemen und Abschätzung der Strahlenexposition, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission - Band 9, Gustav Fischer Verlag Stuttgart New York
- [5] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.) 1995: „Radioaktivität in Abwasser und Klärschlamm“, ATV-Merkblatt M 267 vom August 1995, Kapitel 4 – 6, Hennef

2.7 Reststoffe und Abfälle (Residues and wastes)

Bei vielen häuslichen, kommunalen und gewerblichen Tätigkeiten, industriellen und sonstigen technischen Prozessen einschließlich Verbrennungsvorgängen fallen Reststoffe und Abfälle an. Letztere sind durch Ablagerung auf Deponien schadlos zu beseitigen, jedoch ist auf Grund der abfallrechtlichen Vorschriften in der Regel eine vorherige Behandlung (z. B. thermische Verwertung von Hausmüll oder Klärschlamm, Kompostierung organischer Abfälle) vorzunehmen oder zu prüfen, inwieweit diese Stoffe (z. B. Bauschutt, Glas, Metallschrott, Papier) oder einzelne Bestandteile wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Reststoffe und Abfälle sind daher stets im Zusammenhang zu betrachten, weil nahezu alle Abfälle zu wieder verwertbaren Reststoffen werden können.

In der Überwachung der Umweltradioaktivität durch die amtlichen Messstellen der Länder nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) werden nur solche Reststoffe und Abfälle untersucht, die von radioökologischer Bedeutung sein können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Flugaschen / Filterstäube aus Klärschlamm- und Müllverbrennungsanlagen sowie die in diesen Anlagen bei der Rauchgasreinigung anfallenden Schlämme zu berücksichtigen. In den bei der Verbrennung von Klärschlamm anfallenden Flugaschen findet eine sehr starke weitere Aufkonzentrierung fast aller im Klärschlamm enthaltenen Radionuklide statt. Dies zeigten die Messergebnisse an Filterstäuben in Berliner Klärschlammverbrennungsanlagen nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl, vgl. hierzu Kap. 2.6 und die dort zitierte Literatur.

Entsprechend des Routinemessprogramms werden in Deutschland Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll (Umweltbereiche: Filterasche/Filterstaub, Schlacke, feste Rückstände und Abwässer aus der Rauchgaswäsche) überwacht. Weiterhin werden oberflächennahe Grund- und Sickerwässer von Hausmülldeponien sowie aus Kompostierungsanlagen der als Produkt abgegebene Kompost untersucht. Die Messergebnisse des Berichtsjahres werden in Teil B - II - 2.7 dokumentiert.

Im Wesentlichen erfolgen nur gammaspektrometrische Untersuchungen (Cäsium-137 (Cs-137), Jod-131 (I-131), Kalium-40 (K-40)). Im Sickerwasser von Deponien wird darüber hinaus auch Tritium (H-3) bestimmt.



Die höchsten Cs-137-Kontaminationen treten östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. Die mittleren Medianwerte für Flugasche/Filterstaub betragen im Zeitraum 2000 – 2004 in den niedriger belasteten Gebieten Deutschlands für Cs-137 25 Bq/kg TM. In den höher belasteten Gebieten Bayerns lag der Wert bei 240 Bq/kg TM. In zahlreichen Proben wurde auch das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit mittleren Maximalwerten von 120 Bq/kg TM nachgewiesen.

Die Beprobung des Kompostes ergab im Zeitraum 2000 – 2004 in den niedriger belasteten Gebieten Deutschlands für Cs-137 mittlere Medianwerte von 9 Bq/kg TM und Maximalwerte im Mittel von 36 Bq/kg TM. Im Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien lag der Maximalwert für Cs-137 im Mittel bei 2 Bq/l. Tritium wurde in etwa 80% der untersuchten Proben mit mittleren Maximalwerten von etwa 670 Bq/l bestimmt.

2.8 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung (*Monitoring of incorporation among the population*)



Nach dem Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cäsium-137 (Cs-137) und Cäsium-134 (Cs-134)-Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind im Teil B - II - 2.8 zusammengefasst.

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

In der Bundesrepublik Deutschland begann die gesetzlich geregelte Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen vor etwa vier Jahrzehnten. In der ehemaligen DDR begann die gesetzliche Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen im Jahr 1957. Seit der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten werden etwas über 300.000 Personen überwacht.

Eine Ausdehnung des überwachten Personenkreises erfolgte mit der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM in nationales Recht durch Novellierung der Strahlenschutzverordnung mit Wirkung zum 1. August 2001 und der Änderung der Röntgenverordnung zum 1. August 2002. Durch die Novellierungen ist auch die Überwachung von Personen vorgeschrieben, die am Arbeitsplatz einer erhöhten Exposition durch kosmische oder natürliche terrestrische Strahlung ausgesetzt sind, z. B. des fliegenden Personals sowie von Arbeitskräften in Wasserwerken oder im Bergbau. Hierdurch nahm die Anzahl der überwachten Personen um weitere 30.000 zu.

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in vier Bereiche:

1. Bei Personen, die bei genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und effektive Dosen von mehr als 1 mSv/a erhalten können, ist die Körperdosis zu ermitteln. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter. Dieser Personenkreis kann sowohl bezüglich der Anzahl (zurzeit ca. 314.000 Überwachte) als auch auf Grund der seit vier Jahrzehnten praktizierten Überwachung als der traditionelle Bereich der beruflichen Strahlenschutzüberwachung angesehen werden.
2. Überwachungspflichtig ist 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.
3. Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurde die Überwachung bei Arbeiten in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen für Personen, bei denen die jährliche effektive Dosis 6 mSv überschreiten kann, eingeführt. Dies betrifft z. B. die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, oder Beschäftigte in Schauhöhlen und Wasserwerken.
4. Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z. B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt.

Die Meldungen aus diesen vier Bereichen werden zentral im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz zusammengeführt und dort u. a. auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte personenbezogen ausgewertet. Der Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv.

1. Personendosisüberwachung (Monitoring of body dose)

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von sechs behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl der überwachten Personen betrug in den letzten Jahren ca. 314.000, davon im Bereich Medizin ca. 241.000.



Die Summe der Jahresdosiswerte dieser Überwachten (Kollektivdosis) betrug im Jahr 2004 42 Personen-Sv. Damit ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten von 0,13 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist zu beachten, dass beim größten Teil aller Überwachten (ca. 84%) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter liegen. In diesen Fällen setzen die Messstellen den Wert Null fest. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 52.000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,81 mSv. Im Jahr 2004 haben 12 Personen den Jahresgrenzwert von 20 mSv überschritten.

Aktuelle Daten über die berufliche Strahlenexposition sind im Teil B - III - 1 enthalten.

2. Überwachung des fliegenden Personals (Air crew monitoring)



Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis des Flugpersonals und geben diese Werte über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. Beispielsweise wurden in Deutschland im Jahr 2004 ca. 30.000 Personen überwacht, die Kollektivdosis betrug 58 Personen-Sv. Damit ergab sich eine mittlere Jahresdosis von 1,95 mSv. Das fliegende Personal zählt damit zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland. Der höchste Wert der Jahresdosis 2004 betrug 5,7 mSv, es kam also zu keiner Überschreitung des Jahresgrenzwertes von 20 mSv. Eine detaillierte Auswertung für fliegendes Personal wird regelmäßig im Strahlenschutzregister durchgeführt und erscheint als separater Bericht des BfS.

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

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

Nach § 95 der StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2) und für betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt und die Körperdosis der Beschäftigten berechnet.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durchführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachte Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

Beispielsweise wurden im Jahr 2004 die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition für 744 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen Personen waren ca. 86% in den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH beschäftigt. Die Kollektivdosis betrug 0,5 Personen-Sv, davon wiesen 73 Überwachte eine effektive Jahresdosis von 0 mSv auf. Die mittlere Jahresdosis für alle 744 Überwachten betrug 0,62 mSv. Im Jahr 2004 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv. Die höchste jährliche effektive Dosis wurde mit 12,4 mSv für einen Beschäftigten in einer Schauhöhle ermittelt.



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

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Danach wurden von den meldenden Messstellen ca. 2.000 Personen im Jahr 2004 überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,37 Personen-Sv. Im Jahr 2004 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv infolge einer Inkorporation.

Die jährlich gemessenen Daten der Inkorporationsmessstellen sind im Teil B - II - 4 dieses Berichts enthalten.



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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

In der diagnostischen Medizin werden bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung einer Untersuchung als auch bezüglich der Qualität ihrer Durchführung hohe Anforderungen gestellt. Nach den Strahlenschutzgrundsätzen der Röntgenverordnung (RöV) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist weiterhin in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe („alternative“ Diagnoseverfahren) die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat es die Europäische Union in der Patientenschutzrichtlinie (PatSRL) 97/43/EURATOM den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die im Jahre 2002 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.



Die aktuellen Daten zu Häufigkeit und Dosis von Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen sind in Teil B - IV - 1.1 bzw. 1.2 dargestellt. In Teil B - IV - 1.3 erfolgt eine strahlenhygienische Bewertung der Daten. In Teil B - IV - 1.4 wird abschließend eine Abschätzung der Häufigkeit alternativer bildgebender Diagnoseverfahren gegeben.

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. 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.

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 Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören auch die Angiographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patienten – vermieden werden können.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper 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 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 (MRT) mit keinem anderen radiologischen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass bei einer klinisch indizierten CT-Untersuchung ein daraus resultierendes strahlenbedingtes Risiko gegenüber dem Nutzen für den Patienten in den Hintergrund tritt.

Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die 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 Patienten durchgeführten Untersuchungen ermittelt wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten „Normalpatienten“.

Tabelle 1.1-1 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik an 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 ± 5 kg)

Untersuchungsart	Effektive Dosis in mSv
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	< 0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,3
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 - 1,2
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

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

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 vertreten durch die Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV) und durch den Verband der privaten Krankenversicherung (PKV). Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. Häufigkeiten und kollektive Dosen von Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Auftrag der Bundeswehr durchgeführt wurden, wurden ebenfalls abgeschätzt und werden bei den in Teil B - IV - 1.1 präsentierten Gesamtzahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis berücksichtigt.

Ärztliche Leistungen werden über so genannte Leistungspositionen abgerechnet, 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 Kategorien zusammengefasst.

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

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

Für die Analyse der Daten wurde ein standardisiertes Verfahren entwickelt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit Trendanalysen 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.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (*Nuclear medicine, diagnostics*)

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer radioaktiven Markierung mit geeigneten Messgeräten, in der Regel mit einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Nuklid Technetium-99m (Tc-99m) in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Substanzen, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers mit hoher räumlicher Auflösung bildlich darzustellen. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das gegebenenfalls in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Röntgendiagnostik werden für den diagnostischen, ambulanten, kassenärztlichen Bereich vollständige Datensätze bezüglich der Abrechnungen nuklearmedizinischer Untersuchungsleistungen von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) verwendet. Die Gesamthäufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen von privaten ambulanten und stationären Patienten werden aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Die Häufigkeit der Einzeluntersuchungen der privaten Patienten und die fehlenden Daten der stationären Kassenpatienten werden auf der Basis von relativen Häufigkeitsdaten der Untersuchungsarten abgeschätzt, die im Rahmen einer Erhebung an 14 Kliniken und 10 Praxen in Deutschland ermittelt wurden.

Die kollektive effektive Dosis pro nuklearmedizinischer Radiotracer-Applikation und die per caput effektive Dosis werden nach ICRP-Publikation 80 bestimmt. Mittlere effektive Dosiswerte für diese Untersuchungen wurden aus den Angaben von 14 Kliniken und 10 Praxen bezüglich der verwendeten Radiopharmaka und applizierten Aktivitäten abgeschätzt.

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



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

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



1.4 Alternative Untersuchungsverfahren (*Alternative examination procedures*)

Bei den so genannten alternativen Untersuchungsverfahren – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – steht neben der Endoskopie die Sonographie und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder. 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. 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 CT.

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



1.5 Qualitätssicherung (Quality assurance)

Mit Inkrafttreten der novellierten StrlSchV und RöV im Jahre 2001 bzw. 2002 wurde die rechtliche Basis für verschiedene Maßnahmen geschaffen, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

So wird beispielsweise nachdrücklich gefordert, dass vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen durch einen fachkundigen Arzt die Feststellung zu erfolgen hat, dass der gesundheitliche Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Der Fachausdruck hierfür ist die so genannte „rechtfertigende Indikation“. Die korrekte Feststellung der rechtfertigenden Indikation wird in regelmäßigen Abständen von den so genannten „ärztlichen Stellen“ (ÄS) überprüft. Mittel- und langfristig erwartet das BfS, dass durch diese Maßnahme die Anzahl ungerechtfertigter Röntgenuntersuchungen reduziert werden kann.

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

Durch die Pflicht, Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen zu befragen – wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze dienen soll – sowie radiologische Bilder an nachbehandelnde Ärzte weiterzugeben, sollen Wiederholungsuntersuchungen vermieden werden. Leider haben sich die Erwartungen an die Einführung eines Röntgenpasses bisher noch nicht erfüllt, da derzeit der Röntgenpass nur auf Wunsch des Patienten vom Arzt auszufüllen ist.

Die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material („Seltene-Erden-Folien“), Hochfrequenzgeneratoren, Belichtungsautomatik und gepulster Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. CT und interventionelle Radiologie sind zwar dosisintensive radiologische Verfahren, stellen aber durch eine wesentlich genauere und umfangreichere Diagnosestellung bzw. durch den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die einzelnen Patienten dar. Die „Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie“ beschreiben, welche Bildqualität für eine bestimmte Untersuchung erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die ÄS überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer ÄS ist zu ersehen, dass leichte und insbesondere schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ÄS kontinuierlich seltener geworden sind.

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

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

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

2.1 Strahlentherapie (*Radiotherapy*)

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik 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 einzzeitig 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, so genannte ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megaelektronenvoltbereich erzeugt werden.

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.

Gegebenenfalls sind aktuelle Daten in Teil B - IV - 2 dargestellt.



2.2 Nuklearmedizinische Therapie (*Therapy with radiopharmaceuticals*)

Die Radionuklidtherapie nutzt die Möglichkeit, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid I-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Weitere wichtige Anwendungen der nuklearmedizinischen Therapie sind

- die Radiosynoviorthese, d. h. ein Therapieverfahren zur weitgehenden Wiederherstellung der ursprünglichen Gelenkinnenhaut durch lokale Strahlenanwendung (z. B. bei Gelenkerkrankungen mit rezidivierenden Gelenkgüssen) sowie
- die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen.

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen 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.

Gegebenenfalls sind aktuelle Daten in Teil B - IV - 2 dargestellt.



3. **Herzschrittmacher** (*Pacemakers*)

Seit 1977 werden keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, nachdem nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Funktionsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

Eine Notwendigkeit, derzeit noch im Patienten implantierte Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien (nur noch Plutonium-238) aus Gründen der Strahlenexposition vorzeitig zu explantieren, ist nicht gegeben.

Dem Bundesamt für Strahlenschutz sind alle Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen schriftlich zu melden. Fernerhin fordert das Bundesamt für Strahlenschutz mit Zustimmung der Genehmigungsbehörden der Länder Erfahrungsberichte bei allen Kliniken, die Explantationen von Schrittmachern mit Radionuklidbatterien durchführen, an.

Alle gemeldeten Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen sind in Teil B - VI - 3 zusammengefasst.



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) des Probanden dient sowie
- bei der klinischen, wissenschaftlichen Forschung an Probanden, die eine Abweichung von anerkannten und standardisierten Methoden oder Hilfsmitteln darstellt.

Die Genehmigungspflicht ergibt sich daraus, dass im Unterschied zur etablierten Krankenversorgung (Heilbehandlung) bzw. dem Heilversuch der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn zur Wirksamkeit bestimmter Mittel oder Methoden im Vordergrund steht.

Da sich im Rahmen der Antragstellung bzw. des Genehmigungsverfahrens 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.



Aktuelle Daten sind in Teil B - IV - 4 dargestellt.

4.1 **Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an gesunden 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 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 Probanden vorzunehmen.

4.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung gemäß § 23 StrlSchV an 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 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 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 ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der medizinischen Krankenversorgung (rechtfertigende Indikation) durchgeführt und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungsbedürftig.

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

Rechtsgrundlagen

Nach § 3 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). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach §23 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Atomgesetzes sind radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabecquerel übersteigt.

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

Verfahren

§ 2AtG unterscheidet bei den radioaktiven Stoffen zwischen Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen.

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 sonstiger radioaktiver Stoffe in den Geltungsbereich dieser Verordnung aus einem Nicht-EU-Staat und die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Die Einfuhr ist nach § 20 Abs. 1 StrlSchV 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.

Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit der Änderung der Strahlenschutzverordnung durch das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 18./19. August 2005 (BGBl. I S. 2365) werden bei den umschlossenen radioaktiven Stoffen zusätzlich solche unterschieden, die hochradioaktiv sind. Die Grenze für die Unterscheidung ist vom entsprechenden Radionuklid abhängig und wird in der neu eingeführten Spalte 3a in Tabelle 1 in Anlage III zur Strahlenschutzverordnung angegeben. Beispielsweise gilt eine Cobalt-60-Strahlenquelle ab einer Aktivität von 4 GBq als hochradioaktiv.

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 der Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung und die Anzeigen wurden dem BAFA direkt zugeleitet. Mit dem Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 sind nur noch Anzeigen nach §20 Abs. 3 dieser Verordnung für Verbringungen der dort genannten Kernbrennstoffe aus anderen EU-Mitgliedstaaten erforderlich. Diese sollen dem BAFA innerhalb einer Woche nach erfolgter Verbringung direkt übersendet werden.

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 Ausdrücke 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 (ABI. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der 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. In Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). 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.

Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen (ABI. L346 v. 22. Dezember 2003)

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 Mitgliedsstaaten zur Einrichtung eines Systems, das es ihnen ermöglicht, von einzelnen Weitergaben von Strahlenquellen angemessen Kenntnis zu erhalten.

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

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität zum Zeitpunkt des In-Verkehr-Bringens eine gesetzlich vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1 -Wertes: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

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 (ABI. L 35 vom 12. Februar 1992)

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

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 diene 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.

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

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



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

Für den Transport radioaktiver Stoffe hat der Gesetzgeber im Rahmen des Atom- und Gefahrgutrechts umfassende Regelungen erlassen. Zweck der Vorschriften ist es, die mit der Beförderung radioaktiver Stoffe verbundenen Gefahren, insbesondere die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung für Leben, Gesundheit und Sachgüter auszuschließen bzw. auf das zulässige Maß zu reduzieren.

Aktuelle Angaben über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe sind in Teil B - V - 2 enthalten.



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

Die Strahlenschutzverordnung trifft gemäß §2 Abs. 1 Regelungen für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen mit einer Teilchen- oder Photonengrenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt. Die Röntgenverordnung (RöV) gilt für Röntgeneinrichtungen und Störstrahler, in denen Röntgenstrahlung mit einer Grenzenergie von mindestens 5 Kiloelektronvolt erzeugt werden kann und bei denen die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 1 Megaelektronvolt begrenzt ist.

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

3.1 Anwender radioaktiver Stoffe (Users of radioactive sources)

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

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

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



3.2 Bestand radioaktiver Abfälle (Stock of radioactive waste)

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

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

Zukünftig sind darüber hinaus auch abgebrannte Brennelemente – insbesondere aus Leichtwasserreaktoren - und solche Abfälle zu berücksichtigen, die bei der Konditionierung dieser Brennelemente für die direkte Endlagerung anfallen werden. Ebenso ist der aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente zurückzunehmende radioaktive Abfall zu berücksichtigen.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Teil B - V - 3.2 enthält die zusammengefassten aktuellen Daten für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle.



3.3 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen (Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe 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 Strahlung.

Unter diese Regelungen fallen eine große Zahl von Erzeugnissen, die vorwiegend in Wissenschaft und Technik verwendet werden. Die in diesen Produkten eingesetzten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik 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 Dichtmessungen von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Die in der Materialprüfung Beschäftigten gehören zum Kreis der beruflich strahlenexponierten Personen. Für Werkstoffprüfungen ist Iridium-192 (Ir-192) das weitaus am häufigsten verwendete Radionuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 (Co-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 Terabecquerel.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit Gammastrahlern (Co-60 und Cs-137) mit einer Aktivität bis zu 20 Gigabecquerel. Die Messung beruht auf der von der Dichte abhängigen Absorption der ionisierenden Strahlung. Quelle und Detektor sind im Allgemeinen so gut abgeschirmt, dass praktisch kein Kontrollbereich entsteht. Außerdem sind die Geräte meistens an schwer zugänglichen Stellen eingebaut, die von Arbeitsplätzen weit entfernt sind, so dass keine erhöhte Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

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

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Störstrahlern

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der verwendeten Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der Verbreitung der Erzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht. 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 so genannten 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.

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (*Exceptional events subject to reporting*)

Die besonderen Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntengeräten werden jährlich im Teil B - V - 4 dieses Berichts zusammengestellt.



VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

Einleitung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze, ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische (im Frequenzbereich von 0 bis 100 kHz) bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz) sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV) Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) und die infrarote Strahlung (760 nm bis 1 mm) gehören (Abb. 1.1).

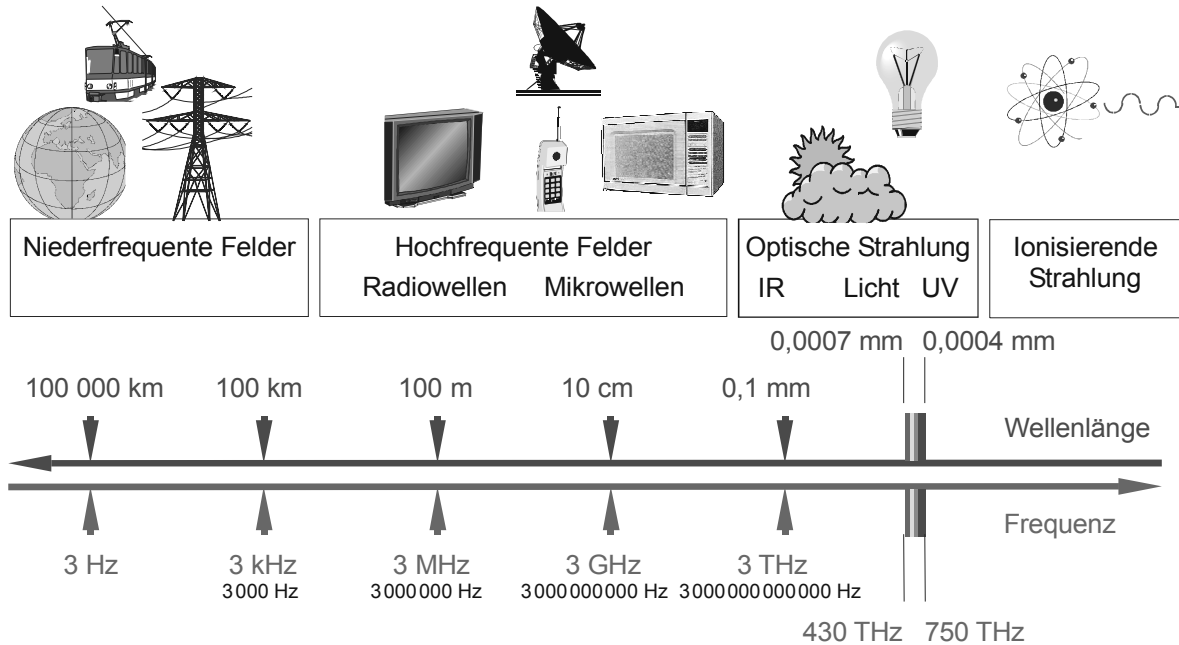


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nichtionisierenden Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Im Falle der hochfrequenten Felder kann dies bei Werten über den gesetzlich festgelegten Grenzwerten zu Temperaturerhöhungen im Organismus führen. Die optische Strahlung liegt im Frequenzspektrum an der Grenze der nichtionisierenden Strahlung zur ionisierenden Strahlung. In diesem Bereich treten zunehmend auch molekularbiologische Wirkungen auf.

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

1.1 Statische Felder
(Static fields)

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst elektrische Felder, die z. B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und Magnetfelder, wie z. B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichsströmen. In Feldern oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind für Funkenentladungen vor allem elektrostatische Aufladungen verantwortlich, und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Bisher konnten keine gesundheitlich relevanten Wirkungen statischer elektrischer Felder gefunden werden. Dies erklärt, weshalb derzeit keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T (Tesla). Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5 T-Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7% verringern kann. Akute Schädigungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Konservative Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z. B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z. B. Straßenbahnen), Magnetschwebbahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten wie z. B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magneheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 μ T) auf. Für den Menschen konnte eine derartige Wahrnehmung bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch: Nuclear magnetic resonance – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der NMR in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bis heute sind keine Schwellen für eine gesundheitliche Schädigung durch statische Magnetfelder bekannt. Untersuchungen bei Magnetfeldexpositionen bis 2 T konnten keine schädigenden Wirkungen belegen. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder deshalb als sicher [1]. Sie liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten.

Literatur

- [1] Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 18 „Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik“; Redaktion: Horst Heller, Bonn, 1998, 74 Seiten, ISBN 3-437-25579-7

1.2 Niederfrequente Felder (Low frequency fields)

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der Körperbehaarung, die einen relativ hohen elektrischen Widerstand hat. Dadurch wird eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen ($16\frac{2}{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. BImSchV (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997) sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (Tabelle 2.2-1). Sie sind abgeleitet von der Begrenzung der im menschlichen Körper induzierten elektrischen Stromdichte auf 2 mA/m², was der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht. Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 μ T begrenzt. Bisher gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für gesundheitsschädigende Effekte auf Grund einer Exposition durch magnetische Wechselfelder unterhalb von 100 μ T.

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (μ T)
16 $\frac{2}{3}$ Hz	10	300
50 Hz	5	100

Tabelle 1.2-1

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

(Limit values for fixed low frequency installations - 26th BImSchV)

In der Öffentlichkeit wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen. Vor allem der Zusammenhang zwischen der Exposition durch niederfrequente Magnetfelder und einem erhöhten Leukämierisiko für Kinder steht hier im Vordergrund. Eine Voraussetzung für die Entstehung von Krebs ist die Schädigung des Erbguts, der DNS (Desoxyribonukleinsäure). Substanzen, die solche Schäden hervorrufen, bezeichnet man als genotoxisch. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wirken niederfrequente Felder nicht genotoxisch. In zahlreichen Zell- und Tierstudien wurde untersucht, ob niederfrequente Magnetfelder einen indirekten Einfluss auf den Verlauf (Promotion) von Krebserkrankungen haben, indem sie Schädigungen der DNS begünstigen oder die Entwicklung der Krankheit beschleunigen. Die Bewertung der Studien ergibt, dass bislang kein solcher Einfluss nachgewiesen werden kann.

Im Jahr 2001 wurde eine epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von > 0,4 µT bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte (Epidemiologische Studie zu einer möglichen Assoziation zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von Leukämien im Kindesalter - sogenannte Michaelis-Studie). Dieser Expositionswert wurde allerdings in nur bei 3 von 514 in die Studie aufgenommenen, an Leukämie erkrankten Kindern und in der Vergleichsgruppe bei 3 von 1301 nicht erkrankten Kinder erreicht. Falls eine erhöhte Magnetfeldexposition tatsächlich eine der möglichen Ursachen für diese Krankheit ist und man die quantitativen Ergebnisse dieser Studie zu Grunde legt, könnte dieser Zusammenhang bei etwa 1% der kindlichen Leukämiefälle eine Rolle spielen.

Die Ergebnisse dieser und anderer epidemiologischer Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen Krebs und einer Magnetfeldexposition werden als wissenschaftlich begründeter Verdacht gewertet und erfordern eine weitere intensive wissenschaftliche Suche nach möglichen Zusammenhängen. Auf Grund der vorliegenden Befunde aus epidemiologischen Untersuchungen hat die WHO niederfrequente Magnetfelder wie auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase als möglicherweise krebserregend eingestuft.

Im Rahmen einer Studie, die im Zeitraum von Mai 1996 bis Juni 1997 zur „Erfassung der niederfrequenten magnetischen Exposition der Bürger in Bayern“ im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen durchgeführt wurde, zeigte sich, dass bei 24 h-Messungen für das magnetische Feld bei 50 Hz ein arithmetischer Mittelwert für alle untersuchten Personen von 0,101 µT und ein Medianwert von 0,047 µT erreicht werden (Tabelle 2.2-2). Es ergab sich weiterhin, dass die nächtliche Exposition auffällig höher lag, wenn sich das Messgerät in unmittelbarer Nähe z. B. eines Radioweckers befand. Aber auch in solchen Fällen wurde ein relativ geringer Medianwert von nur 0,146 µT erreicht (nicht in Tabelle 2.2-2 aufgeführt).

Alle in der Tabelle enthaltenen Werte liegen Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV (s. Tabelle 2.2-1). Eine Überschreitung wurde nur kurzzeitig, hauptsächlich während der Arbeit mit Maschinen beobachtet.

Die Ergebnisse der bayerischen Studie zeigen, dass die tatsächliche Exposition der Bevölkerung im Mittel unter 0,2 µT liegt, so dass eine dauerhafte Exposition in der Nacht mit 0,4 µT und mehr, wie in der Michaelis-Studie angegeben, ein eher seltenes Ereignis darstellt.

Tabelle 1.2-2 Magnetfeldexpositionen für die allgemeine Bevölkerung
(repräsentativ für die Siedlungsstruktur in Bayern) auf Grund der 50 Hz Stromversorgung
(Magnetic field exposures to the general public - representative for the structure of settlement in Bavaria - due to 50 Hz current supply)

Dauer bzw. Ort der Exposition	Anzahl Personen	Magnetische Flussdichte (µT)		
		Mittelwert	Median	95% Perzentil
24 h-Exposition	1.952	0,101	0,047	0,308
Exposition im Haus	1.941	0,090	0,063	0,215
Exposition während der Nacht	1.926	0,095	0,092	0,144
Großstadt, 24 h	370	0,115	0,061	0,314
ländlich, 24 h	432	0,077	0,035	0,261
Einfamilienhaus	1.227	0,092	0,059	0,218
Hochhaus	51	0,097	0,076	0,116
24 h-Daten: im Büro Tätige	624	0,107	0,049	0,338
Handwerker/Arbeiter	148	0,166	0,049	0,628
nicht Erwerbstätige	922	0,093	0,046	0,258
direkte Nähe zu 16 2/3 Hz Oberleitungen	190	0,156	0,102	0,436

Individuelle Personenmessung, arithmetischer Mittelwert über sekundliche Messungen

1.3 Hochfrequente Felder (High frequency fields)

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

Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode NMR werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst.

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als 1 °C konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperatureausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Damit werden nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesene gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen.

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

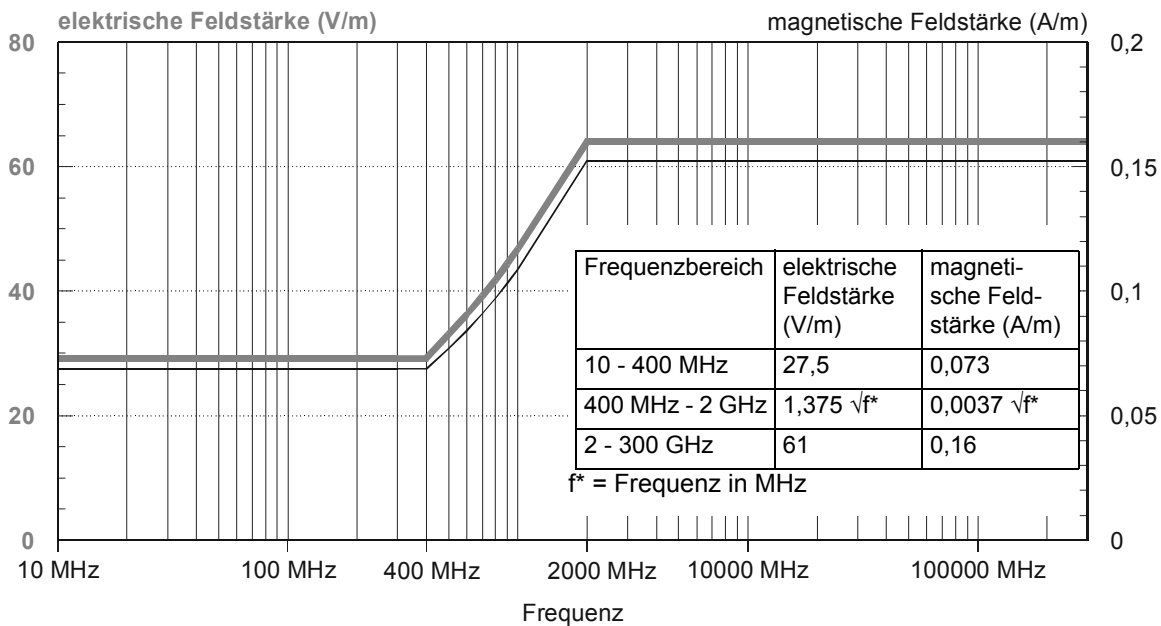


Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high frequency installations)

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA, vormals Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. 10% der im Rahmen des Bescheinigungsverfahrens neu erfassten Standorte werden einer stichprobenartigen Nachprüfung unterzogen. Es wird somit nicht nur vor der Inbetriebnahme, sondern auch während des Betriebes die Gewährleistung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern überprüft.

Die Bundesnetzagentur stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung (<http://emf.bundesnetzagentur.de/gisinternet/index.aspx>). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen, für die die BNetzA eine Standortbe-

scheinigung erteilte, möglich. Die BNetzA schreibt dazu: „Die EMF-Datenbank ist mehr als eine kartographische Darstellung von Standorten von Funkanlagen und EMF-Messreihen der BNetzA. Sie bildet darüber hinaus eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Zu diesem Zweck wurde von der BNetzA eigens eine Messvorschrift erstellt und mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Mit dieser gemeinsamen Messvorschrift wurde in Deutschland erstmals ein einheitlicher Qualitätsmaßstab für EMF-Messungen eingeführt. Feldstärkemessungen, die diesem Qualitätsmaßstab entsprechen, lassen sich nun miteinander direkt vergleichen und entsprechen sowohl den europäischen als auch den nationalen Anforderungen zur Bewertung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern. Um diesen Qualitätsanspruch zu gewährleisten, werden neben den Messreihen der BNetzA nur die von Landesumweltministerien beauftragten EMF-Messreihen in die EMF-Datenbank eingeladen. Mit der EMF-Datenbank ergänzt die BNetzA ihr bisheriges EMF-Monitoring. Dies entspricht auch einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission aus dem September 2001, wonach relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien.“

Während der thermische Effekt unumstritten ist, werden die sogenannten nicht-thermischen Effekte von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z. B. Veränderungen in der Ionenpermeabilität der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Bislang kann diesen Effekten jedoch weder ein Wirkungsmechanismus noch eine gesundheitliche Relevanz zugeordnet werden. Sie machen aber deutlich, dass wissenschaftlich nicht geklärte Wirkungsmechanismen dieser Felder existieren können. Das heißt, dass es Risiken geben könnte, die bisher noch nicht nachgewiesen sind. Die Notwendigkeit zur Vorsorge ist also eine Folge des sich ständig fortentwickelnden Erkenntnisstandes. Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich für die Umsetzung eines Vorsorgepaketes ein, das folgende Maßnahmen umfasst: Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition durch den Mobilfunk, Information der Bevölkerung und Koordinierung von Forschung.

1.4 Optische Strahlung (*Optical radiation*)

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete anthropogen bedingte Verringerung des Gesamt ozongehaltes könnte diesen Einfluss weiter erhöhen.

Die UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch das Ozon in der Stratosphäre und Troposphäre absorbiert. Diese Filterfunktion ist für die UV-Strahlung stark wellenlängenabhängig und setzt bei ca. 330 nm ein. Mit kleiner werdender Wellenlänge fällt die UV-Bestrahlungsstärke sehr stark ab (sogenannte UV-B-Kante). Unterhalb von ca. 290 nm ist die spektrale UV-Bestrahlungsstärke an der Erdoberfläche selbst im Sommer in unseren Breitengraden nicht mehr nachweisbar.

Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum anderen verschiebt sich die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, d. h. zusätzliche sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht den Erdboden. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, können auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial haben.

Auf den Menschen bezogen ist neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D₃-Synthese allerdings die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebskrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Ein vernünftiger „Umgang“ mit der Sonne ist geboten, um besonders das nachgewiesene Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten.

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

Solares UV-Monitoring

Seit 1993 unterhalten das BfS und das UBA ein UV-Messnetz an 4 Stationen - in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadttrand von München). Zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen wurde das Messnetz in den Folgejahren zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund (BAuA), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach (LfU Bayern) und 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/Neuherberg befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV-Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d. h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft 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/uv2/uvi/messnetz.html>). Von April bis September werden darüber hinaus für das nördliche, mittlere und südliche Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht (<http://www.bfs.de/uv/uv2/uvi/prognose.html>). Komplette Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner für Langzeitanalysen gespeichert.

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

Akute Wirkungen des kurzwelligen solaren UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der Hautkrebs.

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

Ob ein Sonnenbrand auftritt, hängt zu einen von der UV-Dosis und zum anderen von der Empfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Strahlung ab. Die Empfindlichkeit wiederum hängt im hohen Maße von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. Für Europäer gibt es eine Einteilung in vier verschiedene Hauttypen:

- Hauttyp I hat auffallend helle Haut mit Sommersprossen, blaue Augen und rötliche Haare. Im Hochsommer bekommt er während der Mittagszeit bereits nach 5 bis 10 Minuten einen Sonnenbrand; braun wird er niemals.
- Hauttyp II hat blonde Haare, graue, blaue oder grüne Augen. Zwar rötet sich seine Haut nach 10 bis 20 Minuten, wenn sie Sonne nicht gewöhnt ist, mit der Zeit wird er aber mäßig braun.
- Hauttyp III hat dunkelblonde Haare, graue oder braune Augen. Er kann sich ungebräunt 20 bis 30 Minuten in der Sonne aufhalten, bevor ein Sonnenbrand einsetzt. Nach wiederholten Bestrahlungen wird er fortschreitend braun.
- Hauttyp IV bleibt mit seiner hellbraunen Haut weitgehend vom Sonnenbrand verschont. Er hat meist dunkle Haare und braune Augen. Wenn seine Haut nicht sonnengewöhnt ist, rötet sie sich frühestens nach 40 Minuten.

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

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt die Tabelle 1.4-1. Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

Tabelle 1.4-1 Die Lichtempfindlichkeit steigernde Medikamente und chemische Stoffe (Pharmaceuticals and chemical substances increasing sensitivity to light)

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

Fototoxische Reaktionen können klinisch als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter geeigneten Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV

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

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. In Deutschland liegt nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention die Neuerkrankungsrate für Hautkrebs schätzungsweise bei 120.000 pro Jahr im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 330.000 pro Jahr. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird die UV-Belastung bei zunehmenden Aufenthalt im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II.

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

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20%. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

1.5 Grenzwerte (Limit values)

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden unter Berücksichtigung internationaler Erkenntnisse Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Kontinuierlich durchgeführte Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigen zum einen, dass Gesundheitsschäden bei Einhaltung der Grenzwerte nicht nachgewiesen werden können. Zum anderen zeigt sich, dass Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten von nieder- und hochfrequenten Feldern unterhalb der gültigen Grenzwerte existieren. Nationale wie internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können.

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

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die BNetzA nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

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

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



TEIL B AKTUELLE DATEN UND DEREN BEWERTUNG

(CURRENT DATA AND EVALUATION)

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT *(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Natürliche Umweltradioaktivität (*Natural environmental radioactivity*)

Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede. Diese sind bedingt durch die unterschiedlichen Gehalte des Erdbodens an Uran, Thorium und Kalium-40 (terrestrische Strahlung), durch die unterschiedliche Meereshöhe (kosmische Strahlung), durch die unterschiedlichen Konzentrationen des radioaktiven Edelgases Radon in der Atemluft und die regional unterschiedliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser. Dies führt, wie in Teil A - I erläutert, insgesamt zu einer jährlichen Exposition von etwa 2 bis 3 mSv. Gegenüber den regionalen Schwankungen sind die Unterschiede der Exposition von Jahr zu Jahr gering. Im Berichtsjahr wurden keine Untersuchungen unternommen, die die natürliche Komponente der Strahlenexposition weiter differenzieren.

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

2.1 Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie (*Residues of mining and industry*)

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Emissions- und Immissionsituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau) beruht.

Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH.

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

In Tabelle 2.1.1-1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2006 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen und mit der Zeit abnehmen.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2005 und 2006 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben in den Jahren 2005 und 2006 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Ergebnis der fortschreitenden Verwitterung untertägiger Grubenfelder haben sich die Ableitungen mit Abwetter bzw. Abluft insgesamt im Vergleich zum Vorjahr weiter verringert. Die gesamten Ableitungen sowohl von Rn-222 als auch der langlebigen α -Strahler werden wie auch schon im Vorjahr im Wesentlichen von den beiden Standorten Schlema/Alberoda und Königstein verursacht.

Tabelle 2.1.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2006 (Messwerte der Wismut GmbH)
(*Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2006 – Values measured by the Wismut GmbH*)

Zeitraum	Fortluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Radon-222 in TBq/a *		Langlebige α Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1.201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)
2006	6,2	80,3	(268,0)	6,53	(78,3)

* Genehmigungswerte in Klammern

1. Hier sind im wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint

Tabelle 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre in 2005 und 2006 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2005 and 2006 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebssteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher		Abwetter- bzw. Abluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}^*$		Ableitung radioaktiver Stoffe			
					Rn-222 in TBq/a *		Langlebige α -Strahler in MBq/a *	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Schlema/Alberoda	1	2	1,455	1,280	72 (130)	66 (100)	3,5 (7)	2,5 (5,7)
Pöhl	1	1	0,416	0,416	0,2 (0,5)	0,17 (0,4)	-** (0,8)	-** (0,5)
Dresden-Gittersee	1	1	0,12	0,11	0,07 (1,6)	0,08 (1,6)	0,16 (1,6)	0,03 (1,6)
Königstein	5	4	5,9	4,4	33 (166)	14 (166)	11 (70,5)	4 (70,5)
Ronneburg	-	-	-	-	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
Seelingstädt	-	-	-	-	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emissionen mit Konzentrationen unter der Nachweisgrenze wurden nicht bilanziert

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle 2.1.1-3 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten und weisen insgesamt eine rückläufige Tendenz auf.

Die in den Jahren 2005 und 2006 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2.1.1-4 zusammengestellt. Während 2006 die Menge des abgeleiteten Radium-226 etwa auf Vorjahresniveau blieb, stieg die Menge des abgeleiteten Uran insgesamt im Vergleich zum Vorjahr wieder leicht an. Die im Jahr 2006 gegenüber 2005 erhöhte Uranableitung in Zwickauer Mulde, Elbe und Weiße Elster ist auf die zu behandelnden Wassermengen beim Flutungsverlauf im Raum Schlema/Alberoda (Zwickauer Mulde), auf das Betriebsregime bei der Flutung der Grube Königstein (Elbe) und auf die Betriebsaufnahme der Wasserbehandlungsanlage Ronneburg (Weiße Elster), die jedoch die Pleiße entlastet, zurückzuführen.

Tabelle 2.1.1-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2006 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters during the period from 1998 to 2006 – Values measured by the Wismut GmbH)

Zeitraum	Abwassermenge in $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Uran in t/a*		Radium-226 in GBq/a*	
1998	14,7	3,8	(12,8)	4,8	(14,8)
1999	14,7	3,8	(9,4)	2,7	(13,6)
2000	16,1	4,1	(11,3)	3,6	(15,4)
2001	14,3	2,8	(13,1)	0,7	(16,7)
2002	18,4	4,5	(8,4)	0,8	(7,0)
2003	14,6	3,1	(8,2)	0,3	(6,8)
2004	13,9	2,8	(8,2)	0,2	(6,7)
2005	14,8	2,2	(8,0)	0,3	(6,7)
2006	16,3	2,4	(9,0)	0,3	(7,9)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2005/2006
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the years
2005/2006 - Values measured by the Wismut GmbH)

VORFLUTER Betriebssteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge ¹⁾ in 10 ⁶ m ³ /a*		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a *		Ra-226 in GBq/a *	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006
ZWICKAUER MULDE	7,983 (-)	9,537 (-)	1,925 (5,416)	2,142 (6,197)	0,15 (3,833)	0,1224 (4,529)
Schlema/Alberoda	6,804 (-)	8,517 (-)	1,692 (5,241)	1,992 (6,022)	0,144 (3,570)	0,121 (4,266)
Crossen	1,051 (-)	0,89 (-)	0,230 (-)	0,147 (-)	0,002 (-)	0,009 (-)
Pöhl	0,128 (-)	0,13 (-)	0,003 (0,175)	0,003 (0,175)	0,004 (0,263)	0,0005 (0,263)
ELBE	4,138 (5,869)	4,139 (5,869)	0,039 (1,708)	0,046 (1,708)	0,134 (2,278)	0,138 (2,278)
Dresden-Gittersee	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
Königstein	4,138 (5,869)	4,139 (5,869)	0,039 (1,708)	0,046 (1,708)	0,134 (2,278)	0,138 (2,278)
PLEIßE	0,201 (0,250)	0,084 (0,1)	0,0307 (0,075)	0,011 (0,03)	0,0127 (0,038)	0,003 (0,038)
Ronneburg	0,201 (0,250)	0,084 (0,1)	0,0307 (0,075)	0,011 (0,03)	0,0127 (0,038)	0,003 (0,038)
WEIßE ELSTER	2,44 (2,485)	2,514 4,595	0,233 (0,782)	0,206 (1,128)	0,003 (0,534)	0,012 (1,023)
Ronneburg (WBA- Probebetrieb ²⁾)	0,066 (0,185)	0,491 (2,295) ²⁾	0,0023 (0,092)	0,016 (0,438) ³⁾	0 (0,074)	0,001 (0,523) ³⁾
Seelingstädt	2,374 (2,3)	2,023 (2,3)	0,231 (0,69)	0,19 (0,69) ⁴⁾	0,0033 (0,46)	0,011 (0,46) ⁴⁾

* 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) Genehmigter Durchsatz der Wasserbehandlungsanlage (WBA) von 350 m³/h x 24 h x 62 Betriebstagen (Probebetrieb) und 560 m³/h x 24 h x 132 Betriebstagen
- 3) Der Wert wurde rechnerisch aus der genehmigten Wassermenge pro Tag multipliziert mit der Maximalkonzentration und den aktiven Betriebstagen ermittelt
- 4) Errechnet aus dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (0,3 mg/l bzw. 0,2 Bq/l) und der genehmigten Wassermenge (2,3 Mio. m³)

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

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

Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

Zur Überwachung der Luft werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ Messstellen zur Ermittlung der Radon-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messstellen gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die aus den deponierten Materialien (vor allem industrielle Absetzanlagen und

Halden) freigesetzte Radon-222-Menge kann dabei in der Größenordnung der jährlichen Ableitungsmengen nach Tabelle 2.1.1-2 liegen.

In Tabelle 2.1.2-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2005 / 2006 bis Sommer 2006 zusammengefasst. Die teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration resultieren aus der Lage einiger Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen.

Tabelle 2.1.2-1 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2005/06 und Sommer 2006; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2005/06 and summer 2006; 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 2005/2006					
Schlema/Alberoda	67	9	51	7	170
Pöhla	8	8	0	0	20
Seelingstädt	24	20	4	0	56
Crossen	35	19	16	0	76
Königstein	11	11	0	0	22
Gittersee	15	14	1	0	43
Ronneburg	35	34	1	0	32
Sommer 2006					
Schlema/Alberoda	68	13	36	19	165
Pöhla	8	7	1	0	40
Seelingstädt	24	8	14	2	94
Crossen	36	6	30	0	74
Königstein	12	9	3	0	50
Gittersee	9	3	6	0	69
Ronneburg	34	14	20	0	49

In Tabelle 2.1.2-2 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich *nicht* beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte herangezogen werden.

Tabelle 2.1.2-2 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2006 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 - 2006 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 – 2006	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2006
Schlema/Alberoda	21	40	29	27	48	35
Pöhla	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	23	19	37	26
Crossen	16	35	25	17	37	25
Königstein	11	31	20	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	33
Ronneburg	14	40	25	20	37	28

Entsprechend der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ wurden von unabhängigen Messstellen im Auftrag der jeweiligen zuständigen Landesbehörde zusätzlich Kontrollmessungen an ausgewählten Messpunkten des von der Wismut GmbH betriebenen Messnetzes zur Überwachung der Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten überein.

Auch durch das Bundesamt für Strahlenschutz wurden seit 1991 in den Bergbaugebieten umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt.

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Konzentrationswerten von 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. Messtechnisch nachweisbare, bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten vor allem in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Die Beseitigung bzw. Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung aus solchen Hinterlassenschaften ist eines der Ziele der Wismut-Sanierung.

Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

Eine 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 an Messstellen vor und nach der betrieblichen Einleitung vorgenommen.

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

Tabelle 2.1.2-3 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete in 2005 und 2006 (Messwerte der Wismut GmbH)
(*Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2005 and 2006 - Values measured by the Wismut GmbH*)

Betrieb	Probenahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Radium-226 in mBq/l	
			2005	2006	2005	2006
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,015	0,015	23	83
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,065	0,044	13	17
	Elbe Rathen	k-0028	0,001	0,001	11	18
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,017	0,015	14	20
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,051	0,080	16	18
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	12	13
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,007	0,010	16	14
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	0,001	0,001	10	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165	0,019	0,027	19	18
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,008	0,008	14	14
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,009	0,010	14	13
	Helmsdorfer Bach	M-204	0,18	0,17	15	16
	Zinnborn	M-232	0,34	0,375	85	96
Thüringer Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	0,002	< 10	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,003	0,005	< 10	< 10
	Lerchenbach	E-369	0,11	0,11	< 10	< 10
	Fuchsbach unterhalb IAA	E-383	0,028	0,052	< 10	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,005	0,007	< 10	< 10
Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,038	0,032	16	25
	Sprotte	s-609	0,006	0,004	< 10	< 10
	Wipse	e-437	0,015	0,023	< 10	10
	Weißer Elster	e-419	0,005	0,004	< 10	< 10

Die im Jahr 2006 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weißer Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Veränderungen auf. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Niederschlagsmengen im Jahr 2006 deutlich geringer ausfielen als im langjährigen Mittel, so dass die Ableitungen teilweise zu etwas höheren Konzentrationen in den kleineren Bächen führten.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 13 µBq/l für Radium-226 ermittelt. Diese

Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht. 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.

In kleineren Bächen, die eine geringe Wasserführung aufweisen, wird das o. a. geogene Niveau im Unterlauf von Wismut-Einleitungen etwa bis zum Faktor 3 (Radium-226: von Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) bis zu 96 mBq/l) oder zwei Größenordnungen (Uran: Werte zwischen 4 und 375 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).

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut-Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis etwa zum Dreifachen erhöht sind (1 - 10 µg/l). Mit Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) und bis zu 18 mBq/l liegen die Radium-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

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

2.2 Radon in Gebäuden (Radon in buildings)

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden in den vergangenen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m³. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu 10.000 Bq/m³ festgestellt. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt wesentlich vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse an insgesamt 2.346 Messpunkten wurde eine bundesweite Übersichtskarte der regionalen Verteilung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erstellt (siehe Abbildung 2.2-1).

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

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

Bei einer Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m³ und in Abhängigkeit von der Bauweise und dem Bauzustand sind erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden häufiger zu erwarten. Überdurchschnittlich häufig werden erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern älteren Baujahres gefunden, insbesondere dann, wenn die Häuser keine Fundamentplatte oder Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührten Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter auftreten. In den betreffenden Regionen sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Insbesondere bei Radonkonzentrationen in der Bodenluft über 100 kBq/m³ ist auch bei neu errichteten Gebäuden ohne Radonschutzmaßnahmen häufig mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ zu rechnen. Tabelle 2.2-1 zeigt die auf der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft (Stand 2006) beruhende Abschätzung der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen oberhalb von 100 Bq/m³.

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

Von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Innenräumen ist in Deutschland das in Wasser gelöste Radon, welches bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird.

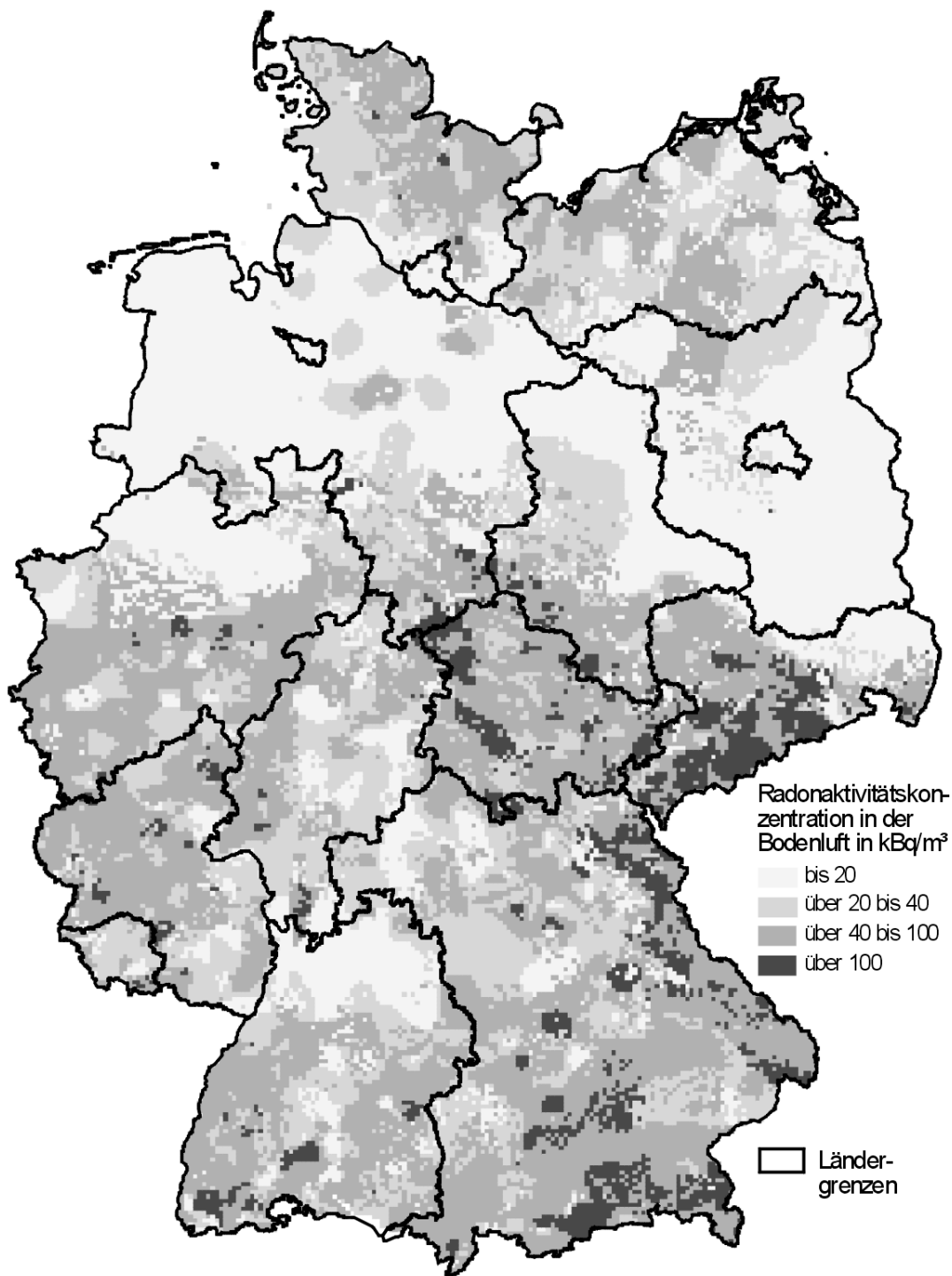


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth)

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

Tabelle 2.2-1
Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen

(Estimated number of one- and two-family houses with radon concentration above various threshold values in living rooms)

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

Untersuchungen und Ergebnisse

Wegen der zunehmenden Anwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich ist die von diesen Materialien ausgehende Strahlenexposition von speziellem Interesse für die Bevölkerung. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e.V. eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. In der Abbildung 2.3-1 sind die in Naturwerksteinen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 zusammengestellt. Die Materialgliederung erfolgt nach petrographischen Gesichtspunkten. In der Gruppe „Granite“ sind z. B. die Sorten Kösseine, Branco Micaela, Branco Sabina, Paradiso Bash, Verde Maritaca, Nova Venezia, Giallo, Imperial White, Kashmir White, Multicolor Rosso, Rosa Beta, Rosa Porrino, Pan Xi, Fürstensteiner Granit, Tittlinger Grobkorn, Tittlinger Feinkorn, Prünst und Gramlet zusammengefasst.

Im Handel werden aus Erwägungen, die sich an den speziellen Anwendungen, der Verarbeitung und Pflege der Materialien orientieren, nicht immer petrographisch korrekte Bezeichnungen verwendet. Zum Beispiel handelt es sich bei „Granit“ nicht immer um Granite, da diese Bezeichnung auch für Gneise, Diorite, Granodiorite und sogar gabbroide Gesteine verwendet wird. Für die Anwender, deren Materialauswahl im Wesentlichen nach dem Verwendungszweck und aus ästhetischen Gesichtspunkten erfolgt, ist dies jedoch von untergeordnetem Interesse.

Wie die Abbildung verdeutlicht, variiert die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmageschiebe in Folge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten.

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Äquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund 80 nSv/h. 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 sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentrationen in Wohnungen sind.

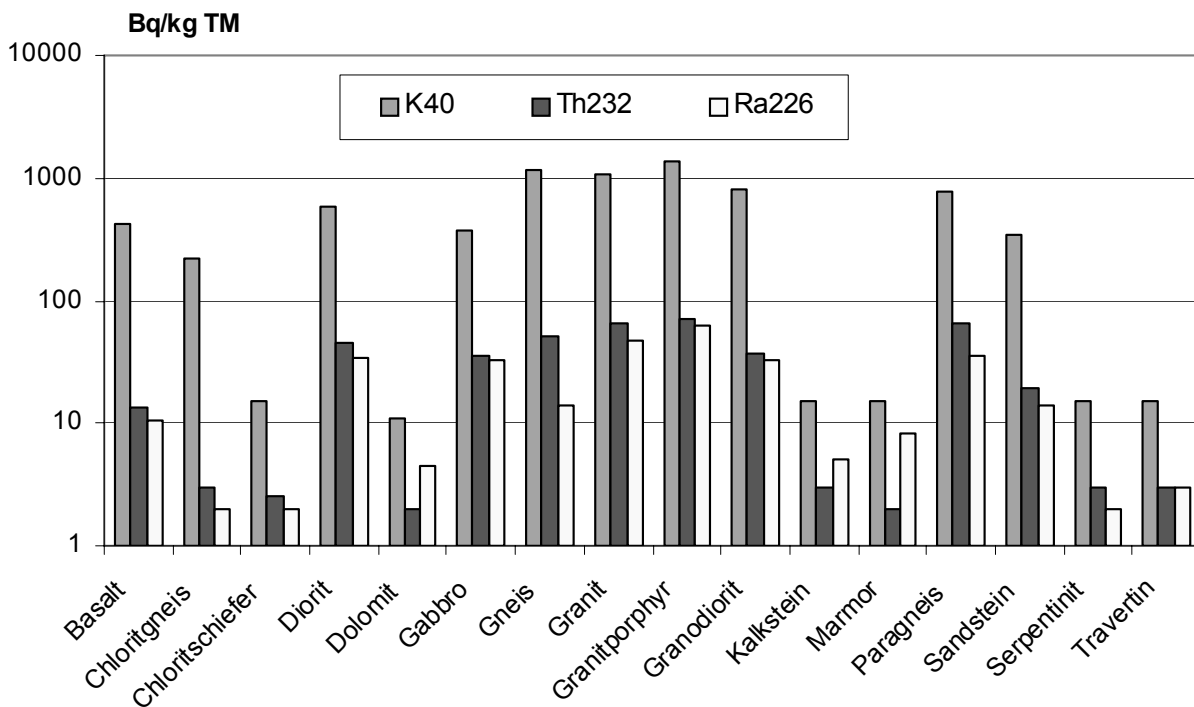


Abbildung 2.3-1 Medianwerte der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide aus Naturwerkstein in Bq/kg (TM)
(Medians of specific activity of natural radionuclides in natural stone in Bq/kg TM)

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel und von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

1. Quellen künstlicher Radioaktivität (Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche (Nuclear weapons tests)

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Strontium-90 und Cäsium-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden.

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1980 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Sie betrug 2006 weniger als 0,01 mSv.

Nach langjährigen Bemühungen der internationalen Staatengemeinschaft wurde am 24. September 1996 der Vertrag über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) zur Unterzeichnung aufgelegt. Er verbietet nukleare Versuchsexplosionen und soll die Weiterentwicklung und Verbreitung dieser Waffen verhindern. Die Vertragsorganisation mit Sitz in Wien (CTBTO) baut zurzeit mit Hilfe der Signatarstaaten ein weltweites Überwachungssystem mit einem Netz von 321 Messstationen (Internationales Messnetz, IMS) auf.

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 automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit für den Nachweis von aerosolpartikelgebundener Radioaktivität sowie auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Der Probenentnahmezeitraum dieser kontinuierlichen Überwachungssysteme beträgt jeweils 24 Stunden. Die Daten beider Messsysteme der Radionuklidstation werden per Satellitenverbindung alle 2 Stunden an das internationale Datenzentrum der Vertragsorganisation in Wien übermittelt.

Das Ende 2004 von der CTBTO zertifizierte Messsystem für den Nachweis der aerosolpartikelgebundenen Radioaktivität (RASA) ist offizieller Bestandteil des IMS. Somit stehen die Daten allen Signatarstaaten zur Verfügung. Im Jahr 2006 befand sich das System im Routinebetrieb. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide in den Tagesproben nachgewiesen. Es stammt überwiegend aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl, gelangt durch Resuspension in die Atmosphäre und wird dann auf dem Filtermaterial abgeschieden. Die nachgewiesenen Aktivitätskonzentrationen liegen, wie auch in den Wochenproben (s. Kap. 2.1) im Bereich weniger Microbequerel pro Kubikmeter.

Das Edelgasmesssystem SPALAX befindet sich noch im Testbetrieb. Abb. 1.1-1 zeigt das Gammaspektrum einer Tagesprobe, in der mehrere Xenonisotope nachgewiesen werden konnten. Die Messungen in 2006 bestätigen die Ergebnisse der Vorjahre: neben einem permanenten Untergrund der Xe-133-Aktivitätskonzentration in der Größenordnung von 1 mBq/m³ wurden auch einige kurzzeitige Erhöhungen nachgewiesen. In diesen Proben wurden, zusätzlich zum Xe-133, auch kleine Aktivitätskonzentrationen der Isotope Xe-131m, Xe-133m und Xe-135 von bis zu einigen Millibequerel pro Kubikmeter gemessen. Bei erhöhten Messwerten und/oder dem Nachweis mehrerer Xenonisotope in einer Probe ist es in einigen Fällen - abhängig von den meteorologischen Verhältnissen - möglich, unter Zuhilfenahme dieser Isotopenzusammensetzung und von Trajektorienrechnungen den Emittenten zu bestimmen. Die Bestimmung der Isotopenzusammensetzung ist Grundlage für die Unterscheidung zwischen Emissionen aus kerntechnischen Anlagen und Kernwaffenversuchen. Diese Diskriminierungstechnik wird zurzeit weiterentwickelt, auch unter Zuhilfenahme der an der Station Schauinsland erhobenen Daten. Die bisher mit dem Xenonmessnetz gesammelten Daten zeigen, dass die Hauptemittenten von radioaktivem Xenon derzeit Isotopenproduktionsanlagen (z. B. Chalk River Kanada, Fleurus in Belgien) sind und nicht, wie bisher angenommen, die Kernkraftwerke.

Zehn Jahre nach der Auflegung des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen durch die Vereinten Nationen sorgte die Bekanntgabe der Durchführung eines unterirdischen Kernwaffentests durch die Demokratische Volksrepublik Korea (Nordkorea) am 9. Oktober 2006 weltweit für große Besorgnis. Dieses Ereignis in Nordkorea war die erste Bewährungsprobe für das Internationale Messnetz der CTBTO. Die seismologischen Stationen identifizierten zweifelsfrei eine Explosion und ermöglichten die genaue Lokalisierung des Explosionsortes. Allerdings ergaben die Daten eine geringe Explosionsstärke, so dass Zweifel bestanden, ob es sich tatsächlich um eine nukleare Explosion gehandelt hatte. Diese Frage kann nur mit Radioaktivitätsmessungen beantwortet werden. Die bereits installierten Messstationen des IMS für partikelgebundene Radioaktivität kommen dabei jedoch nicht in Frage, da bei unterirdischen Explosionen primär die radioaktiven Edelgase in die Atmosphäre gelangen. Die entsprechenden Edelgasmesssysteme waren zum Zeitpunkt der Explosion in der Region jedoch noch nicht installiert. Bisher sind erst 10 der geplanten 40 Edelgasmesssysteme im IMS operationell. Einzig eine Station im Norden Kanadas war in der Lage, eine geringe Menge Xe-133 zu detektieren, die mit dem Ereignis auf Grund konsistenter meteorologischer Ausbreitungsrechnungen in Zusammenhang gebracht werden kann. Höhere Aussagekraft haben dagegen Xenonmessungen, die von einem schwedisch-südkoreanischen Team nach der Ankündigung des Tests mit mobilen Systemen, unabhängig vom IMS der CTBTO, auf der koreanischen Halbinsel durchgeführt wurden. Deren gemessene Isotopenverhältnisse geben klare Hinweise auf den nuklearen Charakter der Explosion. Diese und weitere Informationen über U.S.-amerikanische Messungen, die im Detail jedoch nicht bekannt gegeben wurden, bestätigen die Vermutung, dass es sich bei der Explosion am 09.10.2006 in Nordkorea um einen Kernwaffentest gehandelt hat. Dieses Ereignis zeigt, dass das geplante und zur-

zeit im Aufbau befindliche Messnetz der CTBTO für Radioxenon in der Lage sein wird, solche Ereignisse in Zukunft nachzuweisen und mit hoher Priorität weiter ausgebaut werden muss.

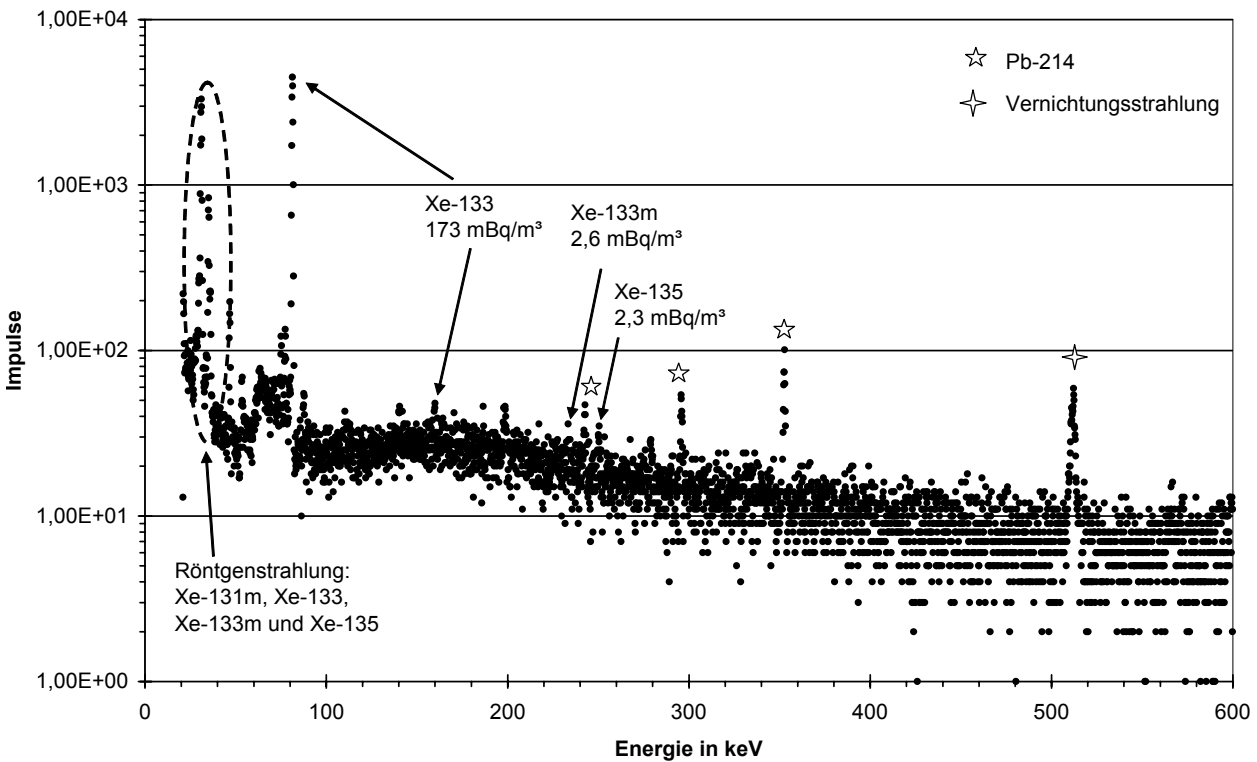


Abbildung 1.1-1 Gammaspektrum einer Tagesprobe des Edelgasmesssystems SPALAX an der Messstation Schauinsland mit mehreren Xenonisotopen
(Gamma-ray-spectrum of a daily sample containing several Xenon isotopes analyzed with the noble gas measuring system SPALAX at Schauinsland measuring station)

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

Im Jahr 2006 sind Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,3 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv pro Jahr durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von bis zu 40, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq pro Kilogramm Frischmasse zu verzeichnen.

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten auch weiterhin häufig den Höchstwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Bericht für das Jahr 2004 wurden Werte für die Kontamination von Reh- und Wildschweinfleisch aus dem Bayerischen Wald angegeben, einer der am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

In Abbildung 1.2-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland.

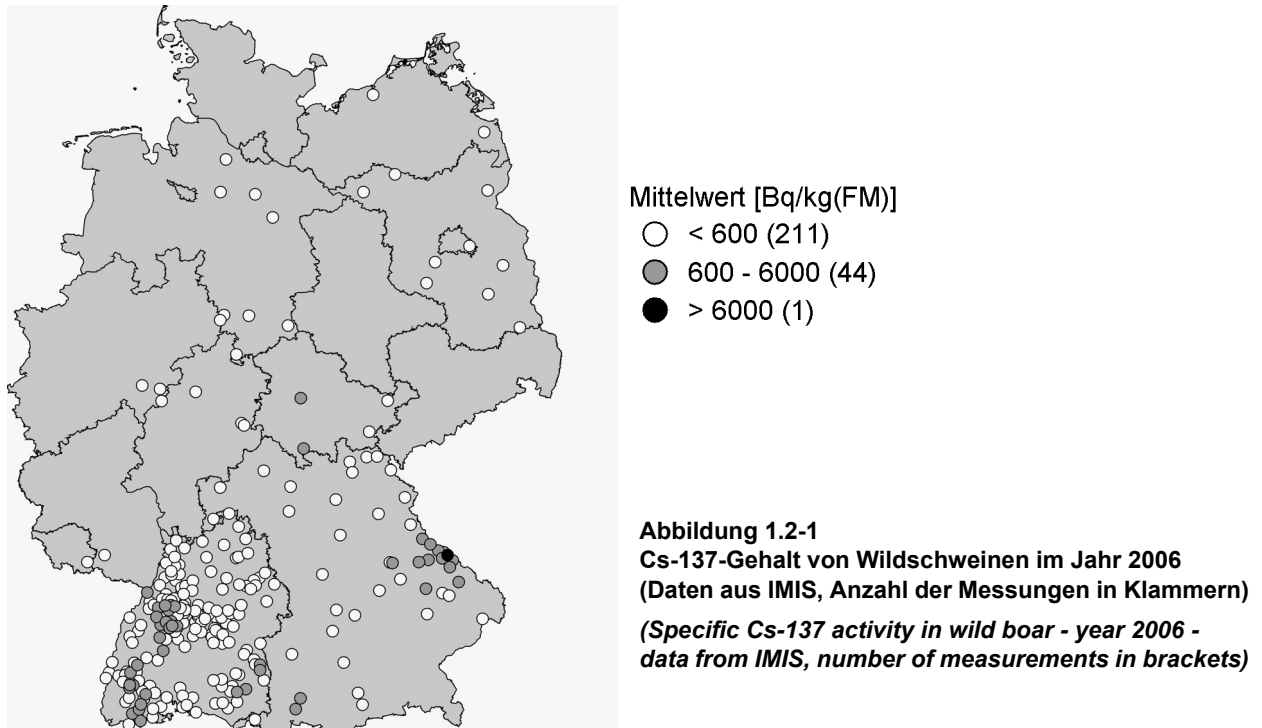
In Bayern liegt der Mittelwert von 93 Messungen an Wildschweinen bei 1.070 Bq/kg, die Werte reichen bis 17.000 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 49 Messungen bei 21 Bq/kg mit einem Höchstwert von 550 Bq/kg (vgl. "Tabelle 2.4.7-8 Wild, Inland und Einfuhr" auf Seite 197).

Auch in Thüringen und Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Für Thüringen ergibt sich ein Mittelwert von 470 Bq/kg und ein Maximalwert von 900 Bq/kg

(vier Messungen). In Baden-Württemberg liegt der Mittelwert bei 360 Bq/kg und der Maximalwert bei 5.400 Bq/kg (429 Messungen). In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 110 Bq/kg und ein Maximalwert von 440 Bq/kg gemessen.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und 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 dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1.000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv. Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln lässt sich durch das individuelle Ernährungsverhalten reduzieren. Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte deshalb auf den Verzehr von vergleichsweise hoch kontaminierten Pilzen und Wildbret verzichten (www.bfs.de/de/ion/papiere/speisepilze.html).



1.3 Kerntechnische Anlagen (Nuclear facilities)

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 2006 folgende kerntechnische Anlagen:

- 17 in Betrieb befindliche Atomkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21.336 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 167 TWh und einem Anteil von 26% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 31% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2006. Die Atomkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim haben den Betrieb beendet.
- 5 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt ca. 58 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Hanauer Betriebe RD Hanau GmbH (vormals NUKEM GmbH) und SIEMENS AG sind abgerissen und wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen, die Berichterstattung wurde eingestellt.
- 13 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald für abgebrannten Brennstoff (ZAB) Lubmin, Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord (ZLN) Rubinow (Nasslager), Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A), AVR-Behälterlager im Forschungszentrum Jülich, Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G), Standort-Zwischenlager in den Kernkraftwerken Biblis, Brunsbüttel, Grafenrheinfeld, Grohnde, Krümmel, Lingen, Neckarwestheim und Obrigheim (Nasslager).
- 1 Interimslager für abgebrannte Brennelemente in Philippsburg.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) nimmt seit 2006 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an (Tabelle 1.3-3).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Atomkraftwerke, der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, des Hahn-Meitner-Instituts Berlin, Garching, sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 2006 in den Kapiteln 2.1.5 und 2.2.4 sind getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2006 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 1.3.1 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2006 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.3-4 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 1.3-1 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)**

Standort kerntechnische Anlage	Bezeichnung	Typ a)	elektr. Brutto- leistung (MW)	Bruttostrom- erzeugung 2006*) (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Kahl	VAK	SWR	16	0	1960/1985	Main
Karlsruhe	MZFR	D ₂ O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	KKR	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	KRB-A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Jülich	AVR	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	KWL	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	KWO	DWR	357	0	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	KNK II	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Würgassen	KWW	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Stade	KKS	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Greifswald 1 - 5	KGR 1-5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Biblis A	KWB A	DWR	1225	848	1974	Rhein
Biblis B	KWB B	DWR	1300	1005	1976	Rhein
Neckarwestheim 1	GKN 1	DWR	840	762	1976	Neckar
Brunsbüttel	KKB	SWR	806	711	1976	Elbe
Isar 1	KKI 1	SWR	912	809	1977	Isar
Unterweser	KKU	DWR	1410	1248	1978	Weser
Philippsburg 1	KKP 1	SWR	926	823	1979	Rhein
Grafenrheinfeld	KKG	DWR	1345	1137	1981	Main
Krömmel	KKK	SWR	1402	1209	1983	Elbe
Hamm-Uentrop	THTR-300	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	KRB-II-B	SWR	1344	1212	1984	Donau
Grohnde	KWG	DWR	1430	1329	1984	Weser
Gundremmingen C	KRB-II-C	SWR	1344	1262	1984	Donau
Philippsburg 2	KKP 2	DWR	1458	1318	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	KMK	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	KBR	DWR	1440	1345	1986	Elbe
Isar 2	KKI 2	DWR	1475	1416	1988	Isar
Emsland	KKE	DWR	1400	1343	1988	Ems
Neckarwestheim 2	GKN 2	DWR	1395	1327	1988	Neckar

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

*) Daten aus Atomwirtschaft, atw 2/2007

Tabelle 1.3-2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung *) (MW)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München	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 1.3-3 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 31.12.2006)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36.887 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 1,18 E14 Bq (Vorjahr: 1,2 E14 Bq)

Tabelle 1.3-4 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

1.3.1 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen (Radiation exposure from nuclear facilities)

Die für das Jahr 2006 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 2.1.5 bzw. 2.2.4 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend des Entwurfs vom 13.05.2005 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (8/2004): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.3.1-1 bis 1.3.1-6 angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 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 1.800 μSv pro Jahr betragen.

Tabelle 1.3.1-1 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2006 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 von 1 bis 2 Jahren) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle 1.3.1-1 zeigt als höchsten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 5 μSv (unter 2% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Kernkraftwerk Philippsburg, sowie für Kleinkinder 8 μSv (unter 3% des Dosisgrenzwertes). Der höchste berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 9 μSv (1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In Tabelle 1.3.1-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken 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 1.000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der höchste Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt jeweils für Erwachsene 1 μSv (0,3% des Grenzwertes) und 1,7 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$ für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,6% 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 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 , am Rhein bei 0,1 μSv bzw. 0,2 μSv und an der Donau bei 0,4 bzw. 0,6 μSv . Diese Dosiswerte ergeben sich auch für das kritische Organ (rotes Knochenmark). Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Die in Tabelle 1.3.1-3 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 2006 als höchsten Wert 11 μSv (rund 4% des Grenzwertes) für Erwachsene und 19 μSv (rund 6% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Hahn-Meitner-Institut Berlin auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 18 μSv (2% des Grenzwertes) ebenfalls beim Hahn-Meitner-Institut Berlin.

In Tabelle 1.3.1-4 wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das Abwasser aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf und Geesthacht angegeben. Im Jahr 2006 wurde mit 5 μSv der höchste Wert der effektiven Jahresdosis für Erwachsene beim Forschungszentrum Rossendorf berechnet.

Tabelle 1.3.1-1 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in Mikrosievert
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air, expressed in microsievert)

Kerntechnische Anlagen	Oberer Wert ^{a)}		
	der effektiven Dosis		der Schilddrüsendosis für Kleinkinder in μSv
	für Erwachsene in μSv	für Kleinkinder in μSv	
Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rheinsberg ^{b)}	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lingen	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Obrigheim	0,7	1	1
Stade	< 0,1	< 0,1	0,1
Würgassen	0,1	0,2	0,2
Greifswald ^{b)}	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Biblis A, B	0,7	1	1
Neckar 1, 2	1	2	2
Brunsbüttel	2	3	3
Isar 1, 2	3	4	5
Unterweser	0,1	0,2	0,2
Philippsburg 1, 2	5	8	9
Grafenrheinfeld	0,2	0,4	0,4
Krümmel	2	3	3
Gundremmingen A, B, C	4	6	6
Grohnde	0,4	0,7	0,6
Hamm-Uentrop	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	0,5	0,8	0,8
Emsland	0,2	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 Atomkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

Tabelle 1.3.1-2 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in Mikrosievert
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Kerntechnische Anlagen	Oberer Wert der effektiven Dosis	
	für Erwachsene in μSv	für Kleinkinder in μSv
Kahl	<0,1	<0,1
Gundremmingen A, B und C	0,3	0,3
Obrigheim	0,1	0,1
Stade	<0,1	<0,1
Würgassen	<0,1	<0,1
Biblis A und B	0,2	0,4
Neckar 1 und 2	0,7	1,2
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	0,2	0,4
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1
Brokdorf	<0,1	<0,1
Emsland	1,0	1,7
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

Tabelle 1.3.1-3 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis in μSv		der Schilddrüsendosis in μSv
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) *	2,4	3,5	3,6
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	1,6	2,3	1,8
Forschungszentrum Rossendorf (FSR) *	0,4	0,8	0,6
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht *	0,1	0,2	0,3
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	11	19	18
Garching, FRM I und FRM II	0,5	0,5	0,3

*) Entnommen aus den Jahresberichten 2006 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

Tabelle 1.3.1-4 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abwasser*)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert	
	der effektiven Dosis für Erwachsene in μSv	
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	<0,1	
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	<2	
Forschungszentrum Rossendorf	5	
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	<1	

*) Entnommen den Jahresberichten 2006 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich und Rossendorf

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau sind in Tabelle 1.3.1-5 die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft angegeben.

In den Hanauer Betrieben, die inzwischen abgerissen sind und alle im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen wurden, fand keine Überwachung und Bilanzierung radioaktiver Stoffe mit den Ableitungen mehr statt. Damit wird die Berichterstattung über diese Anlagen eingestellt.

Tabelle 1.3.1-5 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

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

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Tabelle 1.3.1-6 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in μSv
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 1.3.1-7 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2006 0,14 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,41 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1,12 μSv ; dies sind ca. 0,05%, 0,1% bzw. 0,4% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,31 μSv für Erwachsene, 1,1 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 3,5 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 2006 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.3-1-7 Strahlenexposition im Jahr 2006 in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser (Vorjahreswerte in Klammern)
(*Radiation exposure in the surroundings of the Morsleben final repository in the year 2006 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water*)

	Abluft Oberer Wert in μSv		Abwasser Oberer Wert in μSv der effektiven Dosis *
	der effektiven Dosis *	der Organdosis *	
Erwachsene	0,14 (0,13)	0,31 (0,27)	< 0,1 (< 0,1)
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,41 (0,37)	1,1 (1,0)	< 0,1 (< 0,1)
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	1,12 (1,01)	3,5 (3,1)	< 0,1 (< 0,1)

* berechnet nach dem Entwurf vom 13.05.2005 der AVV zu § 47 StrlSchV

Bewertung

Die für 2006 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 deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2006 deutlich unter 10 μSv pro Jahr.

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

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

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

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes für IMIS (ZdB) bereitgestellt.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS, dem DWD, der PTB und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - durchgeführt. Die erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS, sondern auch für die Berichterstattung gegenüber der EU bereitgestellt.

Im vorliegenden Bericht kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und die Tabellen stellen repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in den Leitstellen verfügbar.

Ergebnisse der Routinemessungen

Sowohl die Messwerte der γ -Ortsdosisleistung als auch die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind auch im Jahr 2006, 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.

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

Monitoring

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

Als über 17 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivitätskonzentration der Luft resultierte für das Jahr 2006 ein Wert von 0,7 mBq/m³ (2005: 0,7 mBq/m³). Der Wert liegt innerhalb des Schwankungsbereichs der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der Luft.

Edelgase

Die im BfS durchgeführten Messungen des radioaktiven Xenons ergaben keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xenon-133 an den 7 deutschen Probenentnahmestationen lagen, wie schon in den vergangenen Jahren, zwischen 1 und 100 mBq/m³ Luft. Als Beispiel ist in Abbildung 2.1.1-1 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration des radioaktiven Xenonisotops Xe-133 in Freiburg dargestellt.

Nachdem der Grundpegel von Krypton-85 über lange Zeit mit ca. 30 mBq/m³ Luft pro Jahr leicht angestiegen ist, ist nun ein Abflachen der Kurve zu beobachten (siehe Abbildung 2.1.1-2). Der jährliche Anstieg wurde dadurch hervorgerufen, dass die Freisetzungsrates von Kr-85 größer war als seine durch die Halbwertszeit von 10,76 Jahren bestimmte Zerfallsrate. In den letzten Jahren war jedoch der Entlass von Kr-85 durch Wiederaufbereitungsanlagen nicht mehr ansteigend, wie in den Jahren zuvor, sondern weitgehend konstant. Der Medianwert für den Probenentnahmestort Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen – betrug, gemittelt über die letzten Jahre, 1,5 Bq/m³ Luft. Kurzzeitige Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen für Kernbrennstoffe (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. In den kommenden Jahren ist jedoch wieder mit dem Anstieg des Grundpegels zu rechnen, da in Rokkasho (Japan) eine Wiederaufbereitungsanlage in Betrieb genommen wird. Die Kapazität dieser Anlage wird mit der von La Hague/Frankreich vergleichbar oder noch größer sein, so dass entsprechende Emissionen zu erwarten sind.

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 sehr klein.

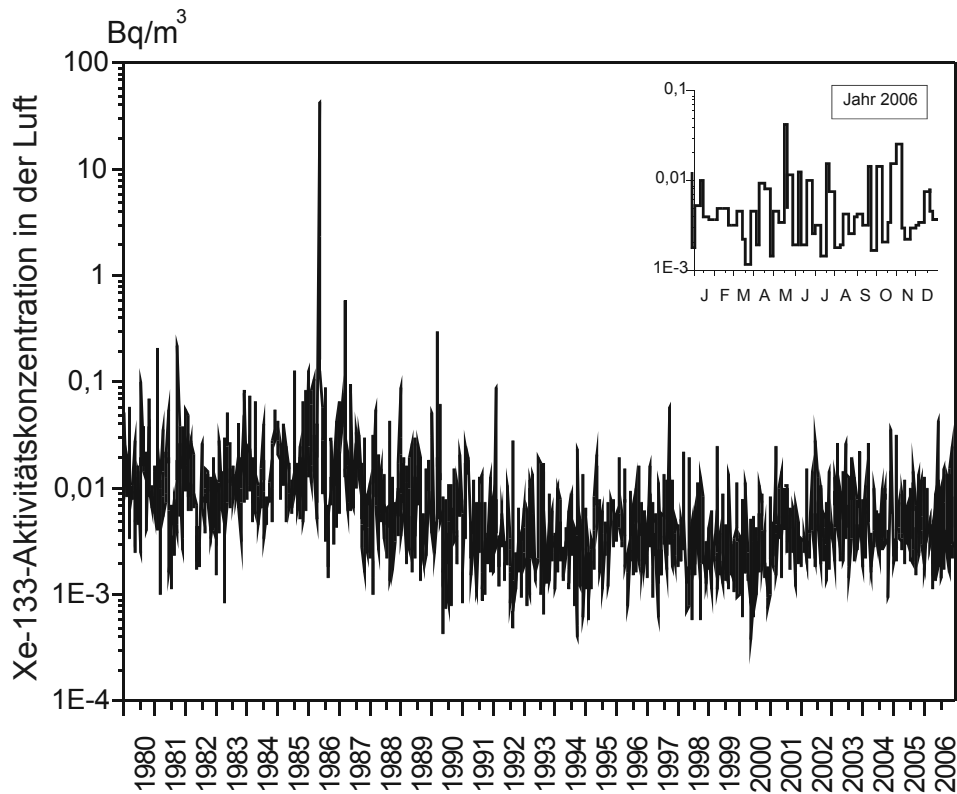


Abbildung 2.1.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location in Freiburg)

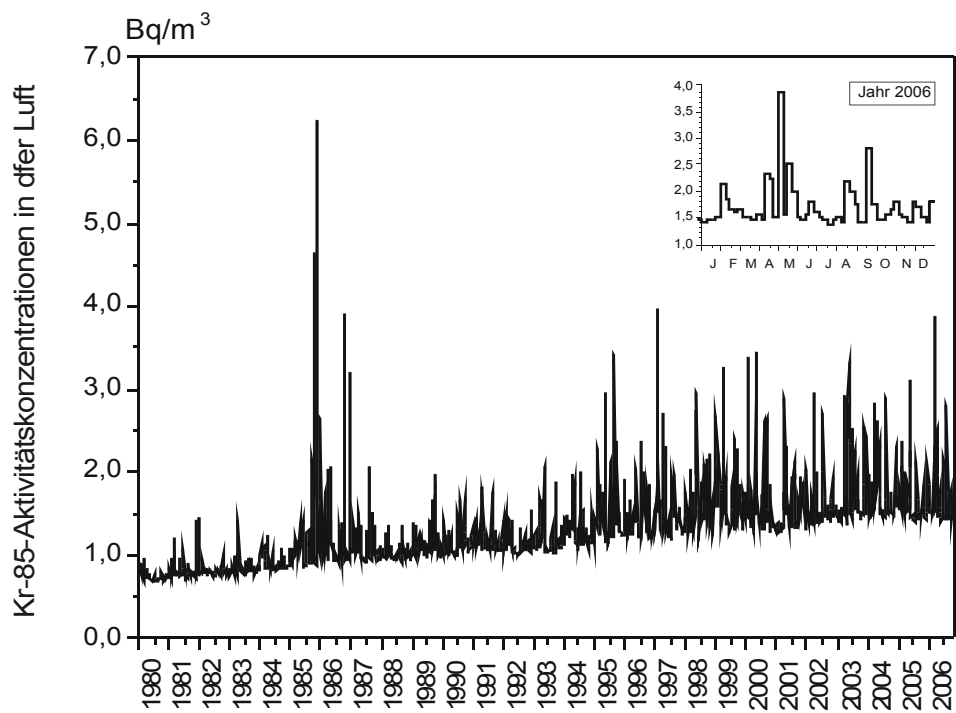


Abbildung 2.1.1-2 Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

Gammaspektrometrie

Für spurenanalytische Messungen werden wöchentlich beaufschlagte Staubfilter zunächst γ -spektrometrisch ausgewertet. In Tabelle 2.1.1-1 werden exemplarisch die Messergebnisse des DWD für Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg, des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Es handelt sich um Monatsmittelwerte und die daraus abgeleiteten Jahresmittelwerte.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Offenbach und Berlin werden in Abbildung 2.1.1-3 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich hier mit Werten zwischen 0,1 und 1,7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und das kosmogene Be-7 mit Werten zwischen 2,2 und 9,1 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt im üblichen Schwankungsbereich. An allen Messstationen zeigten sich in den Monaten Mai, Juni und Juli deutlich höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des Be-7 als in den übrigen Monaten. Dieser Effekt ist auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückzuführen und damit auf einen stärkeren Eintrag des Be-7 aus der oberen Atmosphäre in die bodennahe Luft.

Die Messungen des GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg zeigen ähnliche Aktivitätskonzentrationen wie im vorangegangenen Jahr. Die Aktivitätskonzentration für Cs-137 lag im Jahresmittel bei 1,06 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (s. Tabelle 2.1.1-1b). Die regional unterschiedlich starke Deposition nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl spiegelt sich immer noch in den beobachteten Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 in der bodennahen Luft wider.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 unterhalb 0,4 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 2.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Dieser Wert liegt im Rahmen der üblichen Schwankungen der Werte der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten vereinzelt, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen in der Gegend um Tschernobyl erklärbar. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei 0,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Messwerte für Be-7 in den Wochenproben lagen zwischen 2 und 10 mBq/m^3 , innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens. Auf Grund der Lage der Station (1200 m ü. N.N.) können hier höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des kosmogenen Be-7 erreicht werden als bei niedriger gelegenen Stationen.

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

a) Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt
Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
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
2005 *)	3300	0,3	10	0,43	434
2006 *)	3810	0,5	11	0,58	438
Januar	3220	0,3	9,8	1,2	1150
Februar	2390	0,2	4,9	0,51	340
März	3200	0,3	5,7	0,41	353
April	3730	0,5	9,9	0,29	252
Mai	5500	0,9	21	2,3	406
Juni	5290	0,8	10	0,31	328
Juli	5760	0,9	17	0,53	536
August	2300	0,4	7,4	0,18	259
September	4200	0,4	20	0,58	635
Oktober	3990	0,3	13	0,49	618
November	3290	0,2	7,1	0,27	314
Dezember	2330	0,2	6,2	0,18	188

*) Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
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
2005 *)	2970	< 0,40	< 0,07	1,03	494
2006 *)	3010	< 0,29	< 0,07	1,06	431
Januar	1090	< 0,11	< 0,06	1,41	399
Februar	1490	< 0,16	< 0,05	1,38	347
März	2040	< 0,20	< 0,06	0,85	326
April	2790	0,33	< 0,05	0,53	223
Mai	3980	0,53	< 0,06	1,68	263
Juni	4390	0,59	< 0,07	0,57	383
Juli	5740	0,42	< 0,09	0,71	602
August	3290	0,31	< 0,09	0,36	278
September	3510	< 0,27	< 0,11	0,87	657
Oktober	3430	< 0,20	< 0,06	1,23	779
November	2710	< 0,18	< 0,08	1,61	519
Dezember	1670	< 0,15	< 0,05	1,50	392

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

*) Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

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

Zeitraum	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
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
2005 *)	2320	< 4,4	3020	0,4	2840	0,6	3080	< 2,8
2006 *)	2913	< 4,6	3910	0,5	3746	1,1	3932	< 3,4
Januar	2152	< 4,2	3859	1,7	2523	1,6	3537	< 3,7
Februar	2204	< 4,1	2777	0,6	2247	0,4	2356	< 3,2
März	2716	< 3,8	3884	0,5	2798	0,5	3048	< 3,1
April	2681	< 4,6	4864	0,2	3457	0,3	3483	< 2,8
Mai	4314	< 4,7	6582	1,3	9129	6,2	5112	< 3,3
Juni	3041	< 5,3	5019	0,2	5334	< 2,0	5450	< 3,2
Juli	2822	< 5,2	5215	0,2	5285	0,6	6094	< 3,7
August	2519	< 4,1	2757	< 0,3	2745	0,4	2865	< 3,6
Sept.	3779	< 7,3	3715	0,4	3396	0,6	4658	< 3,4
Oktober	3339	< 4,6	3411	0,2	3217	0,4	4432	< 4,4
November	2892	< 3,5	2548	0,3	2574	0,3	3586	< 3,6
Dezember	2506	< 3,4	2296	0,3	2254	0,1	2571	< 3,3

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

*) Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	
	Be-7	Cs-137
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
2005 *)	4050	< 0,35
2006 *)	4960	< 0,4
Januar	4490	0,33
Februar	3400	0,35
März	3130	0,48
April	4610	0,23
Mai	6210	0,71
Juni	6390	0,67
Juli	8260	0,53
August	4060	0,21
September	4940	0,39
Oktober	5450	0,32
November	4360	< 0,27
Dezember	4220	< 0,28

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

*) Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

- 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
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
2005 *)	1690	5,6	1652	4,9
2006 *)	1710	6,0	1660	6,5
Januar	1450	5,3	1450	6,2
Februar	1780	4,3	1790	5,0
März	1560	2,8	1550	3,0
April	1890	6,0	1910	8,4
Mai	2370	11,4	2150	3,8
Juni	1650	6,6	1560	8,2
Juli	1490	5,6	1480	5,9
August	1710	3,5	1690	5,2
September	1840	6,3	1720	7,0
Oktober	1560	5,3	1520	5,9
November	1590	9,9	1590	14,9
Dezember	1610	5,4	1530	5,0

*) Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

Im September 2006 wurde ein Hochvolumensammler mit einem Standard-Luftdurchsatz von ca. 750 m³/h auf dem Dach der BfS-Dienststelle in Freiburg installiert. Nach Beendigung der Testphase wird das Gerät in den kommenden Jahren Daten für einen direkten Vergleich der Aktivitätskonzentrationen auf dem Schauinsland mit denen im ca. 1000 m tiefer gelegenen Freiburg liefern.

Auch in Braunschweig liegen die Messergebnisse im Bereich der Werte, die in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden (vgl. auch Abbildung 2.1.1-5). In der Abbildung ist in der Woche 18 erneut ein deutliches Beispiel zu sehen, wie in Folge einer Ostwind-Wetterlage durch den Eintrag von Bodestaub aus Osteuropa der Anteil an Cs-137 im Vergleich zum K-40 ansteigt. Der Anstieg ist dadurch erklärbar, dass dieser Boden stärker mit Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall kontaminiert ist als der Boden in Norddeutschland.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Strontium-90, Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben radiochemisch analysiert. Für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen 8 und 336 nBq/m³ ermittelt. Diese Messwerte für das aerosolgebundene U-238 liegen im Bereich der natürlichen Schwankungen. Für Pu-(239+240) wurden keine Werte oberhalb der Nachweisgrenze gemessen, die Nachweisgrenzen lagen zwischen 3 und 60 nBq/m³. Die Aktivitätskonzentration des Sr-90 lag ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenzen, die mit Werten zwischen 6 und 800 µBq/m³ Luft bestimmt wurden. Das gleiche gilt auch für Am-241, hier ergaben sich Nachweisgrenzen zwischen 5 und 50 nBq/m³.

Die Messreihe der PTB (vgl. Abbildung 2.1.1-6) zeigt 2006 Aktivitätskonzentrationen der Plutonium-Nuklide Pu-(239+240) und Pu-238 im üblichen Schwankungsbereich, der tendenziell im Sommer etwas höhere Aktivitätskonzentrationen als im Winter aufweist. Die beobachteten Aktivitätskonzentrationen liegen in einem Bereich, in dem dosimetrische Betrachtungen nicht von Bedeutung sind. Auch das Aktivitätsverhältnis $A(\text{Pu-238}) / A(\text{Pu-(239+240)})$ liegt meistens mit Werten zwischen 5% und 33% im üblichen Schwankungsbereich. Auffällig ist ein im ersten Quartal 2006 beobachtetes Aktivitätsverhältnis (vgl. Abbildung 2.1.1-7), das in der zuerst analysierten Luftstaubprobe gemessen wurde. Bei den für Winterquartale typischen, sehr niedrigen Aktivitätskonzentrationen zeigte sich ein unerwartetes Aktivitätsverhältnis von 200% (statistische Messunsicherheit ca. 10% (k=2)). Im Zuge der Überprüfung dieses Befundes wurde die mit einem 2. Luftstaubsammler gleichzeitig entnommene Luftstaubprobe untersucht. Die Probe 2 weist ein übliches Aktivitätsverhältnis von 9% (statistische Messunsicherheit ca. 35%) auf. Eine Querkontamination der zuerst analysierten Probe mit Pu-238 aus anderen, in der fraglichen Zeit bearbeiteten Proben kann ausgeschlossen werden. Es ist daher anzunehmen, dass das auffällige Aktivitätsverhältnis auf dem Beitrag eines so genannten „heißen Teilchens“ mit vergleichsweise hoher Eigenaktivität beruht.

Dessen Herkunft konnte jedoch nicht geklärt werden, weil bei dem Probenentnahmezeitraum von einem Quartal keine zuverlässige Aussage aus Trajektorien oder Ausbreitungsrechnungen abgeleitet werden kann. Es kann zudem nicht davon ausgegangen werden, dass Pu-(239+240) und Pu-238 über den Probenentnahmezeitraum immer in einem konstanten Aktivitätsverhältnis im Luftstaub enthalten sind. Da Plutonium als Partikel oder an Partikel gebunden vorliegt, die individuell stark unterschiedliche Isotopen- und Aktivitätsverhältnisse aufweisen können, stellt sich durch das Auflösen der gesamten Luftstaubprobe zu Beginn des radiochemischen Trennungsganges das schließlich messbare mittlere Isotopen- und Aktivitätsverhältnis der Probe ein. Ein „heißes Teilchen“ kann daher prinzipiell nicht isoliert und weiter untersucht werden.

Seit 1990 wurden schon mehrfach Aktivitätsverhältnisse von bis zu 45% im Luftstaub gemessenen. Derartige Aktivitätsverhältnisse sind z. B. für Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl oder für Emissionen aus Wiederaufarbeitungsanlagen für Kernbrennstoffe typisch. Der Vergleich der damals erhaltenen Messergebnisse mit den zusätzlich analysierten Parallelproben deutet auch hier auf den möglichen Einfluss „heißer Teilchen“ hin. In allen Fällen blieb jedoch die Herkunft des quasi „zusätzlichen“ Pu-238 aus den vorgenannten Gründen letztlich unbekannt [1, 2].

Literatur:

- [1] Kolb W, Arnold D, Wershofen H: Multicorrelation Analysis as a Means to Source Discrimination of Radionuclides in Ground-Level Aerosols. Environmental Physics 20 (1), S. 5, ISSN 1392-4168, Vilnius, Litauen, 1998
- [2] Wershofen H, Arnold D: Radionuclides in Ground-level Air in Braunschweig - Report of the PTB Trace Survey Station for 1998 to 2003. PTB-Bericht Ra 45, ISBN 3 86599 431 7, ISSN 0341 6747, Braunschweig, November 2005

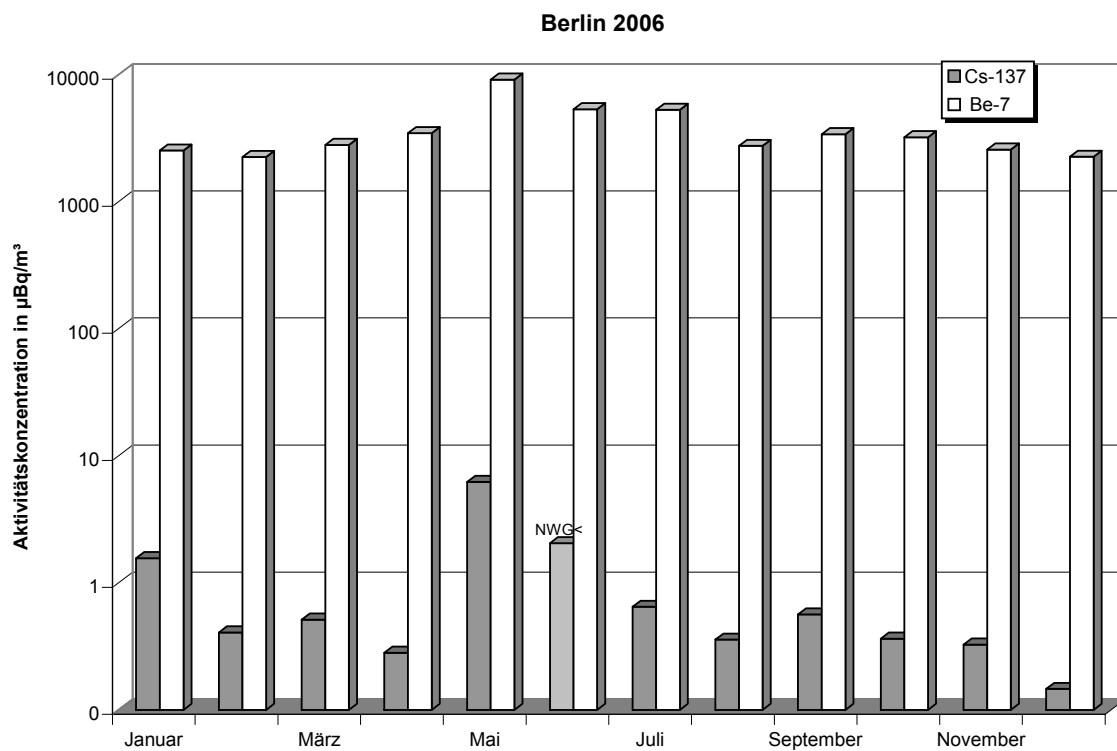
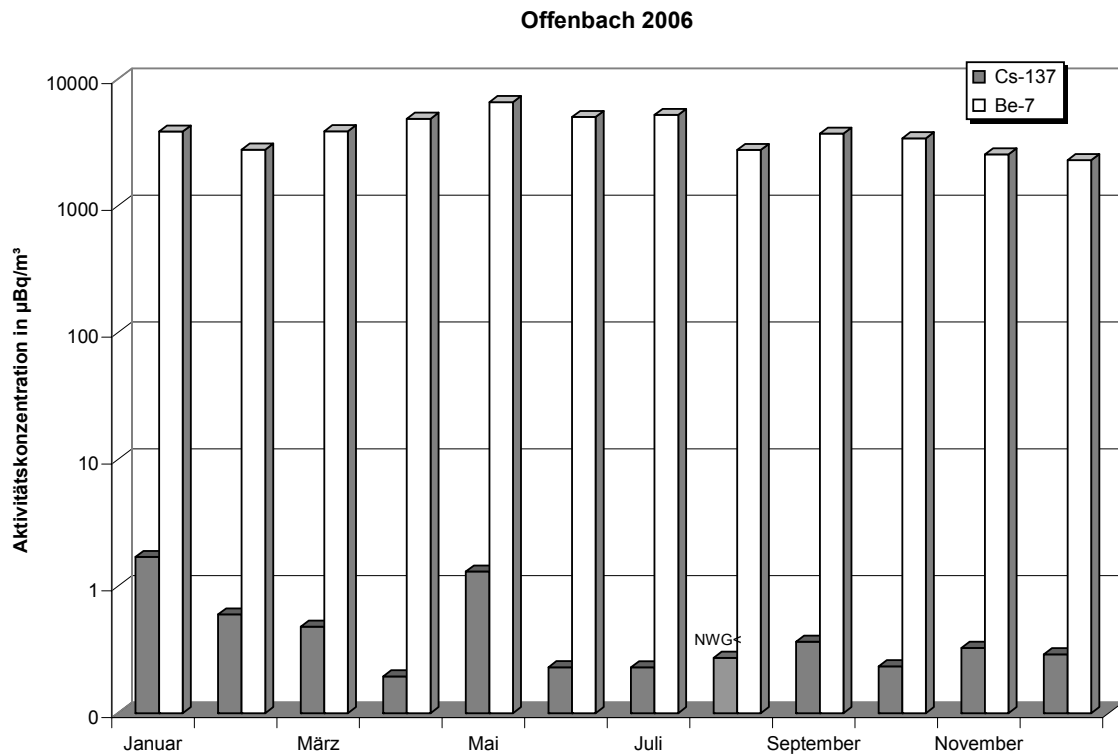


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2006 - DWD-Stationen Berlin und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2006 at the DWD stations in Berlin and Offenbach)

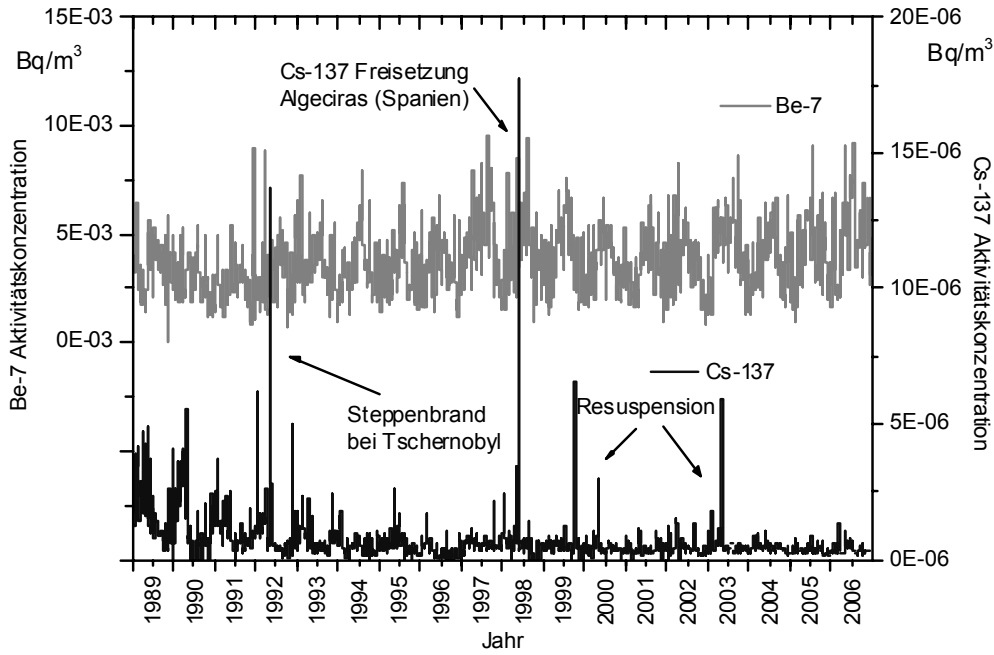


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmestort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level at Schauinsland measuring station)

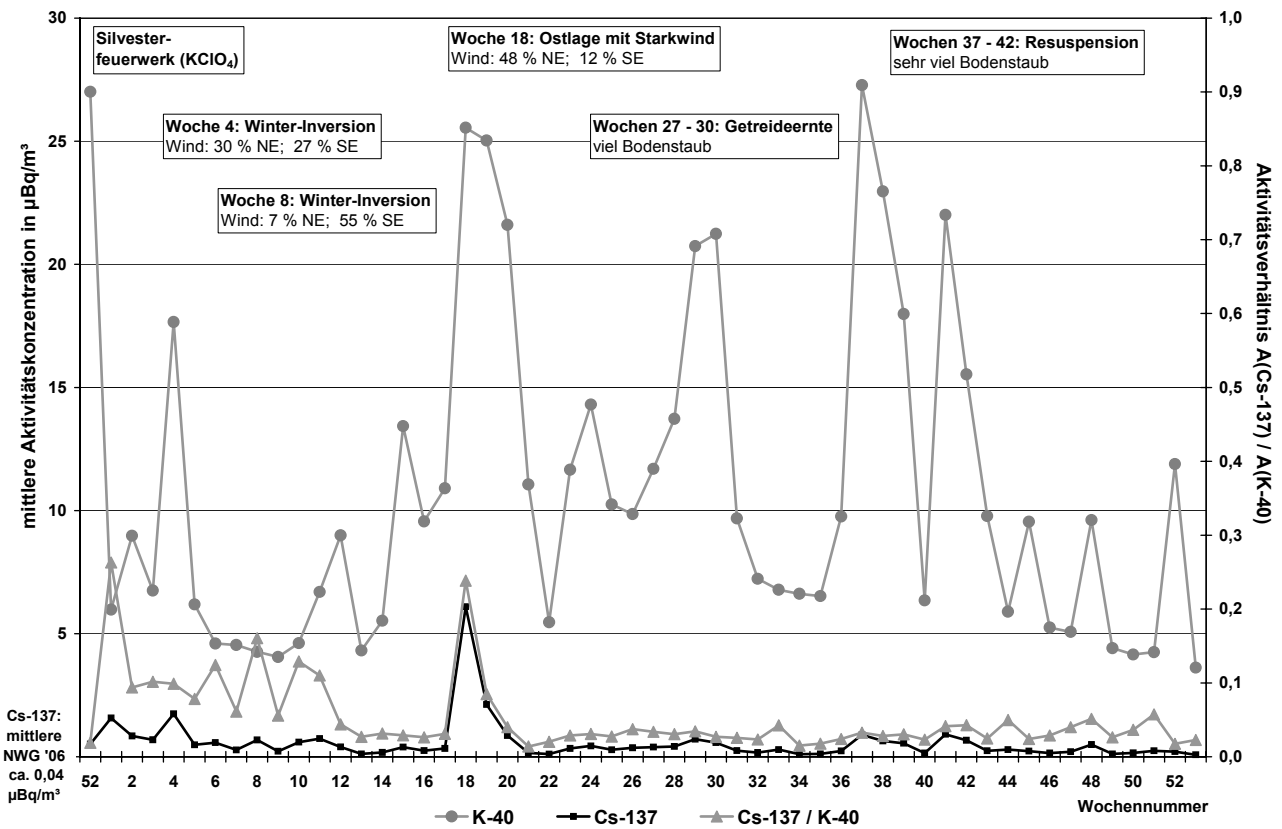


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2006 am Probenentnahmestort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2006)

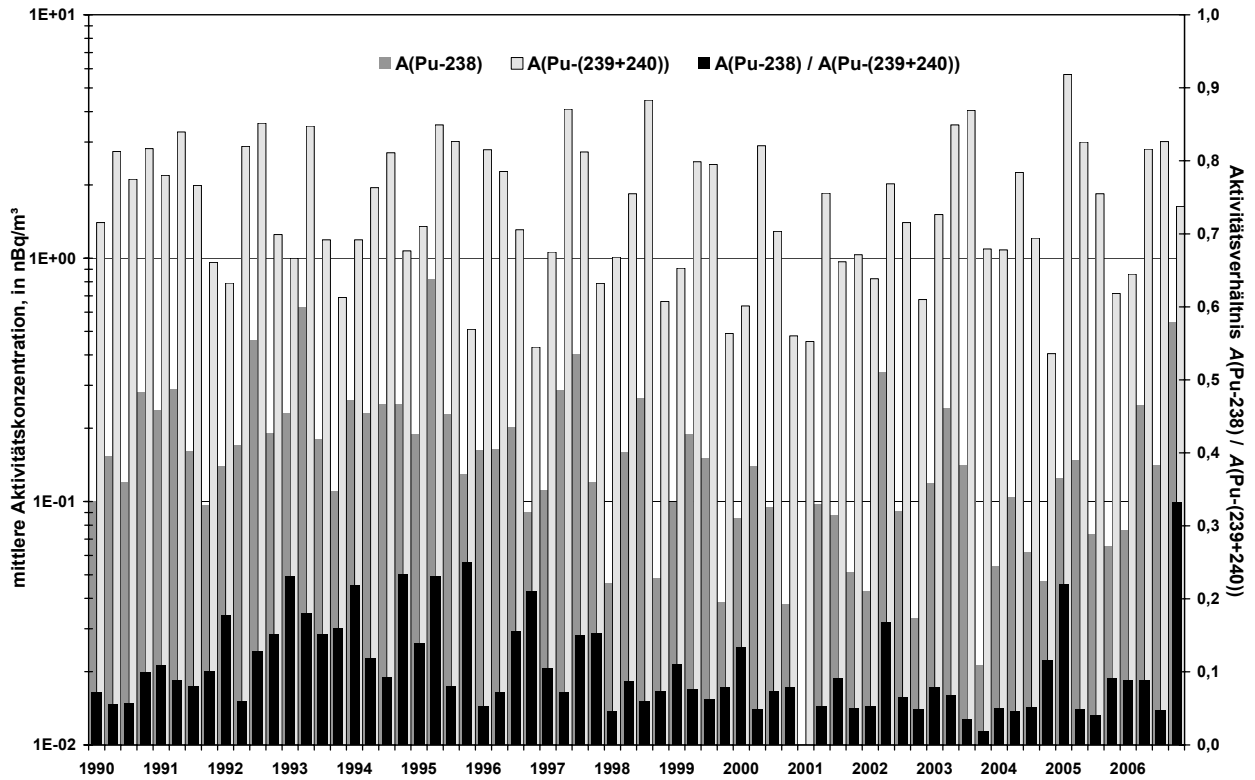


Abbildung 2.1.1-6 Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von Plutoniumisotopen in der bodennahen Luft 1990 bis 2006 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of plutonium isotopes in ground-level air at the sampling site Braunschweig 1990 to 2006)

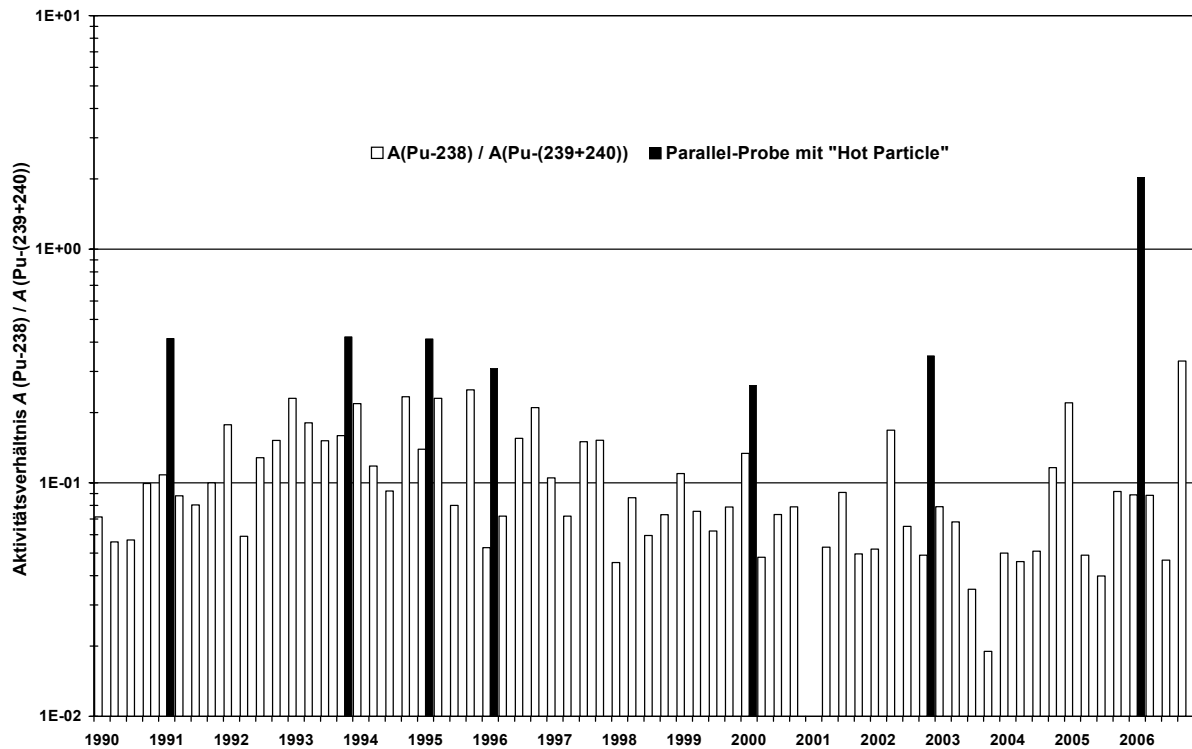


Abbildung 2.1.1-7 Aktivitätsverhältnis $A(\text{Pu-238}) / A(\text{Pu-(239+240)})$ in der bodennahen Luft von 1990 bis 2006 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity ratio $A(\text{Pu-238}) / A(\text{Pu-(239+240)})$ in ground-level air at the sampling site Braunschweig from 1990 to 2006)

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

Gesamt- β -Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2006 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 54 Bq/m^2 (2005: 58 Bq/m^2).

Die leichte Änderung gegenüber dem Vorjahr ist durch die Schwankungsbreite der Messunsicherheiten zu erklären. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt, im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 2.1.2-1 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2006 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 2.1.2-2.

Gammaspktrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen $0,2$ bis 20 mBq/l in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in den Tabellen 2.1.2-1a) und 2.1.2-1b) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2006 ähnlich denen im Jahr 2005. Abbildung 2.1.2-3 zeigt für die Messstationen Offenbach und Berlin die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 lagen die Nachweisgrenzen zwischen $0,01 \text{ Bq/m}^2$ und $0,16 \text{ Bq/m}^2$. An der Messstation Offenbach wurden im Mai $0,15 \text{ Bq/m}^2$ und im Oktober $0,02 \text{ Bq/m}^2$ gemessen. Diese Werte sind auf ausgewaschenen cäsiumhaltigen Staub zurückzuführen, der durch Resuspension in die Luft gelangt und über weite Strecken transportiert werden kann. Für kosmogenes Be-7 wurden Messwerte zwischen 9 und 207 Bq/m^2 anhand von Monatsproben ermittelt. In den Sommermonaten waren an einzelnen Messstationen, wie zum Beispiel auch Offenbach, eine erhöhte Aktivitätsdeposition zu verzeichnen, was sich sowohl auf die höheren Aktivitätskonzentrationen in der Luft als auch auf höhere Niederschlagsmengen zurückführen lässt.

Die im Jahr 2005 wieder aufgenommenen γ -spektrometrischen Messungen des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit zur Bestimmung der am Boden deponierten Aktivität wurde 2006 fortgesetzt. Die Monatsmittelwerte am Probenentnahmeort auf dem Gelände des GSF-Forschungszentrums in Neuherberg sind in Tabelle 2.1.2-2 zusammengestellt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, Tritium sowie die Nuklide von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Probenmenge für Sr-90 ca. $0,07$ bis $1,4 \text{ mBq/l}$, für Pu-(239+240)-Werte von $0,02$ bis $0,3 \text{ mBq/l}$, für Am-241 von $0,01$ bis $0,3 \text{ mBq/l}$ und für Tritium ca. $0,5 \text{ Bq/l}$. Natürlich vorkommendes, an Schwebstoff gebundenes U-238 wurde ausgewaschen und im Niederschlag mit Werten von $0,02$ bis $1,4 \text{ mBq/l}$ gemessen.

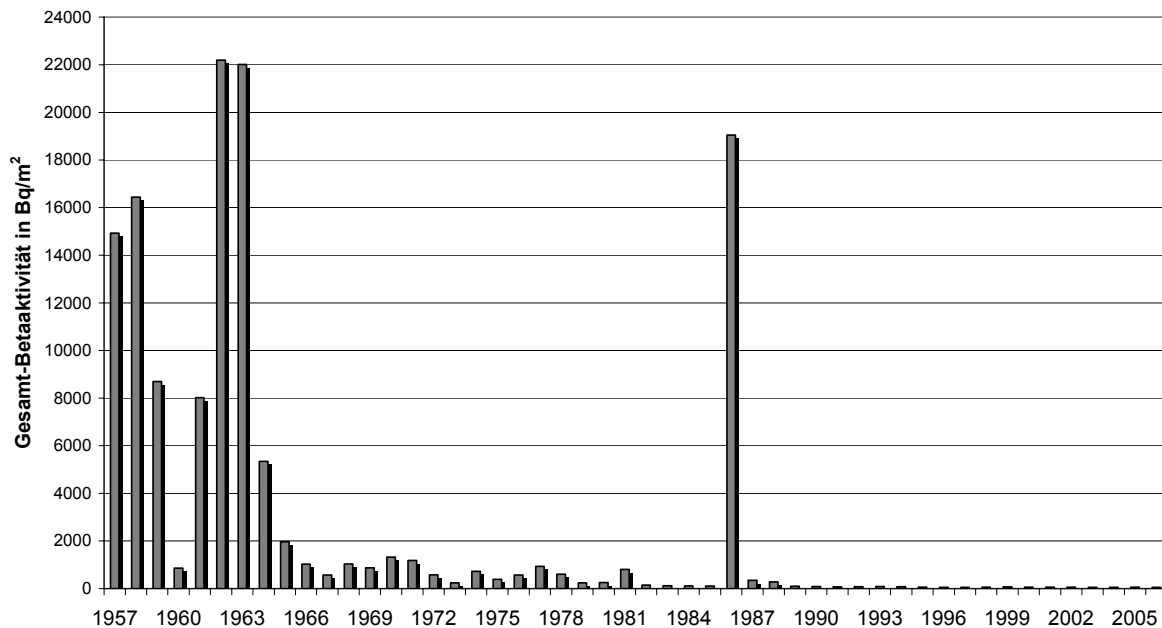


Abbildung 2.1.2-1 Langlebige Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2006
(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2006)

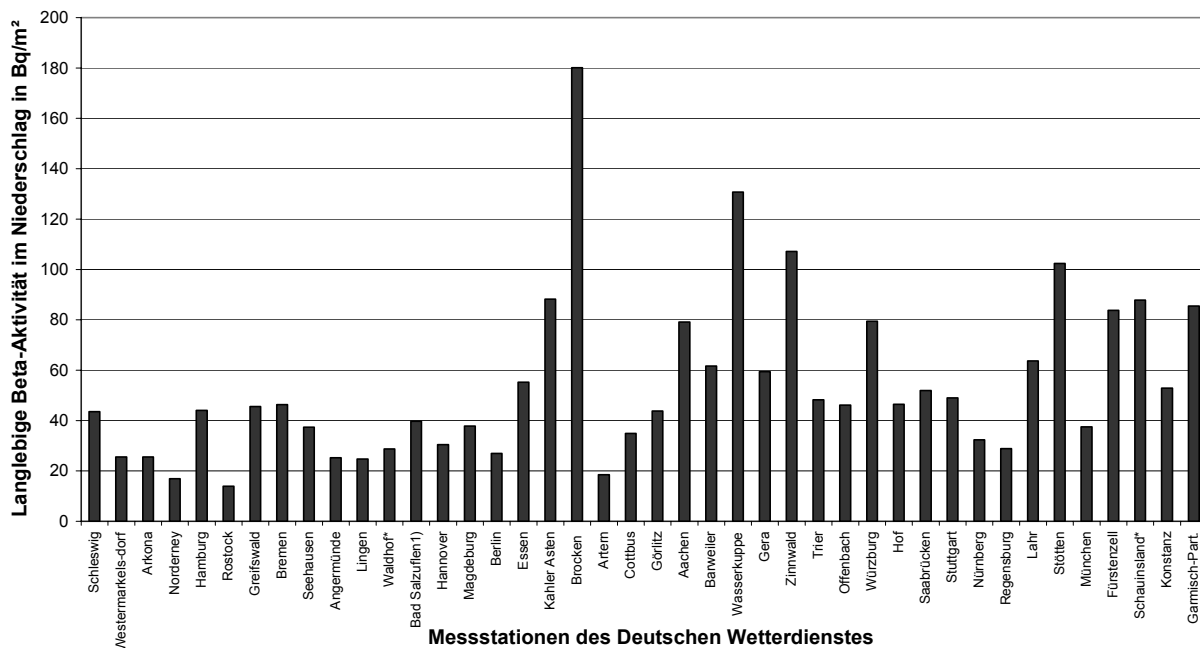


Abbildung 2.1.2-2 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2006 zugeführte langlebige Gesamt- β -Aktivität – stationsspezifische Jahressummen
(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2006)

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

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
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
2005	559,2	639	< 0,46	590,2	308	< 1,37
2006	620,3	860	< 0,56	451,5	361	< 1,56
Januar	18,8	20,6	< 0,03	20,7	34,6	< 0,16
Februar	27,4	30,8	< 0,04	42,9	88,4	< 0,24
März	64,5	43,8	< 0,04	29,7	17,3	< 0,09
April	45,5	62,9	< 0,04	45,5	18,6	< 0,11
Mai	94,1	152,7	0,15	61,3	37,0	< 0,13
Juni	23,8	63,3	< 0,06	11,9	12,7	< 0,08
Juli	96,1	207,6	< 0,06	56,4	29,8	< 0,16
August	96,2	132,4	< 0,04	75,7	59,3	< 0,16
September	10,5	18,5	< 0,03	13,7	9,3	< 0,09
Oktober	59,6	46,8	0,02	26,1	16,3	< 0,09
November	35,4	33,5	< 0,03	34,4	13,4	< 0,12
Dezember	48,4	47,1	< 0,03	33,2	24,3	< 0,11

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition in Bq/m ²		l/m ²	Deposition in Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
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
2005	716,4	787	< 0,84	763,1	669	< 1,08
2006	799,3	950	< 0,83	768,6	537	< 1,01
Januar	20,8	21,3	< 0,06	23,7	26,3	< 0,09
Februar	82,7	141,5	< 0,05	34,8	17,8	< 0,09
März	76,4	50,4	< 0,07	66,2	24,2	< 0,08
April	78,7	85,7	< 0,08	54,8	36,9	< 0,08
Mai	139,7	203,5	< 0,10	73,7	68,9	< 0,08
Juni	18,5	41,3	< 0,08	19,2	25,1	< 0,09
Juli	14,9	13,6	< 0,10	46,4	44,9	< 0,08
August	171,6	189,3	< 0,07	155,3	129,9	< 0,08
September	17,8	46,5	< 0,06	28,4	28,0	< 0,09
Oktober	46,9	36,6	< 0,06	114,3	48,4	< 0,08
November	70,3	63,8	< 0,07	71,5	60,5	< 0,08
Dezember	61,0	56,9	< 0,04	80,3	26,1	< 0,08

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

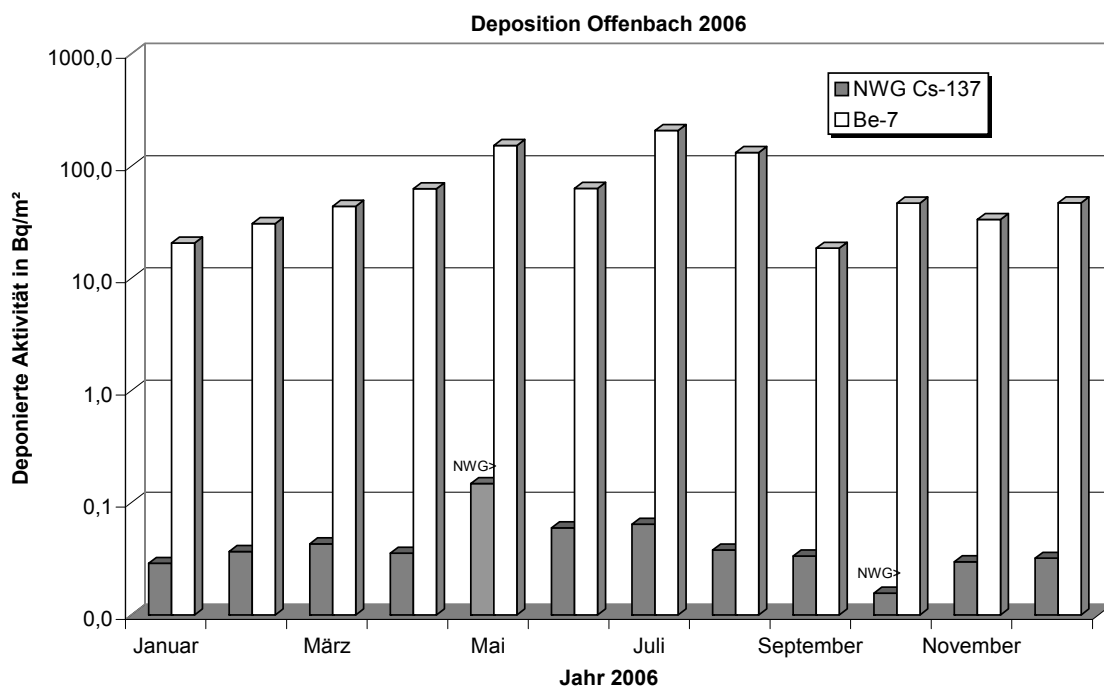
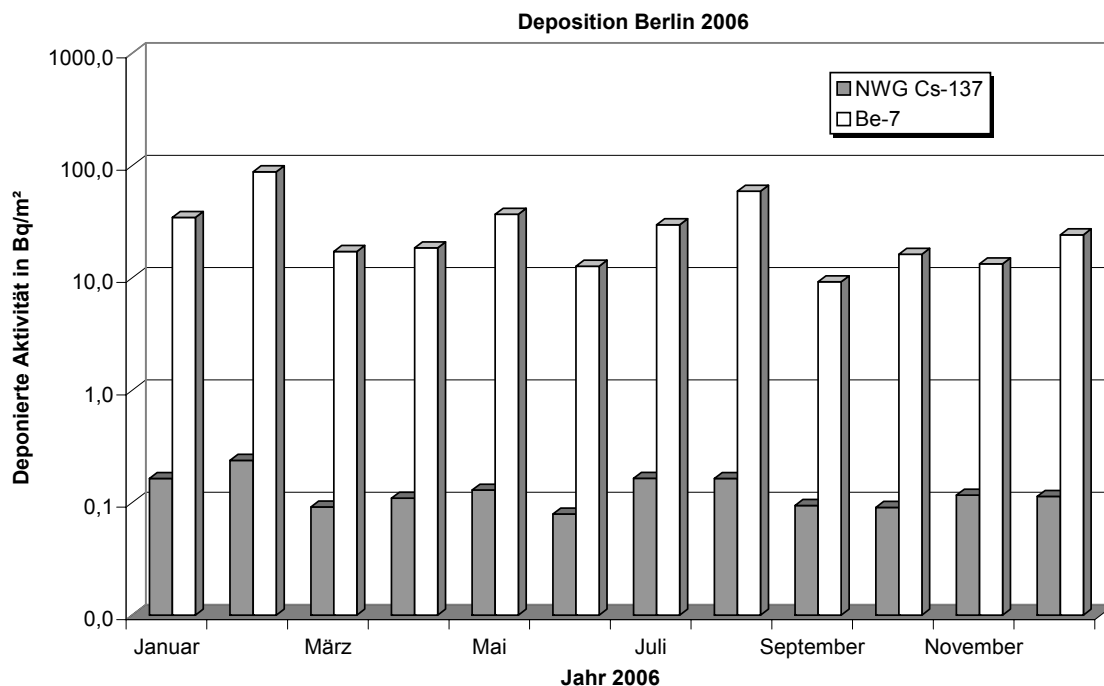


Abbildung 2.1.2-3 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2006
 DWD-Stationen Berlin und Offenbach
*(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2006 -
 DWD stations in Berlin and Offenbach)*

**Tabelle 2.1.2-2 Gesamtdeposition von Einzelnucliden
(Total deposition of individual nuclides)**

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

Zeitraum	München-Neuherberg		
	Deposition in Bq/m ²		
	l/m ²	Be-7	Cs-137
2005	n. b.	1536,2	0,49
2006	1109,1	2022	1,11
Januar	24,1	n. b.	n. b.
Februar	34,2	70,7	0,05
März	113,2	149	0,02
April	150,3	250	0,04
Mai	108,1	262	0,73
Juni	95,0	318	0,06
Juli	36,5	151	0,04
August	185,4	470	0,04
September	174,3	82,0	0,06
Oktober	72,9	88,4	0,03
November	63,5	101	0,02
Dezember	51,9	80,8	0,03

n. b.: nicht bestimmt

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung (Ambient gamma dose rate)

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung über Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr quasi unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,5 bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Spitzenwerte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden (vgl. auch Abbildung 2.1-10, Karte der mittleren γ -Ortsdosisleistung 2006). Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1.500 Höhenmeter.

Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurück zu führenden künstlichen Beiträge zur γ -Ortsdosisleistung (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten der ODL-Messstellen mit In-situ-Messfahrzeugen des Bundes und der Länder nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden aus der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Mit Hilfe der durchgeführten In-situ-Messungen lassen sich für eine eventuelle, frische Kontamination des Untergrundes/Bodens die Radionuklide und deren Aktivität schnell bestimmen.

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

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. Im laufenden Berichtsjahr 2006 ist eine umfangreiche, mehrjährige Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung und Datenfernübertragung im ODL-Messnetz angelaufen. Im Zuge der Modernisierung wird auch der Datenumfang nebst zusätzlich gemessenen Qualitätsparametern in den Sonden erweitert. Hierzu bedarf es eines Umbaus der vorhandenen Sonden im ODL-Messnetz, der durch das vorhandene Fachpersonal selbst bewerkstelligt wird. Seit 2006 werden auch erste autarke Sonden, ohne Strom- und festen Telekommunikationsanschluss, im ODL-Messnetz betrieben.

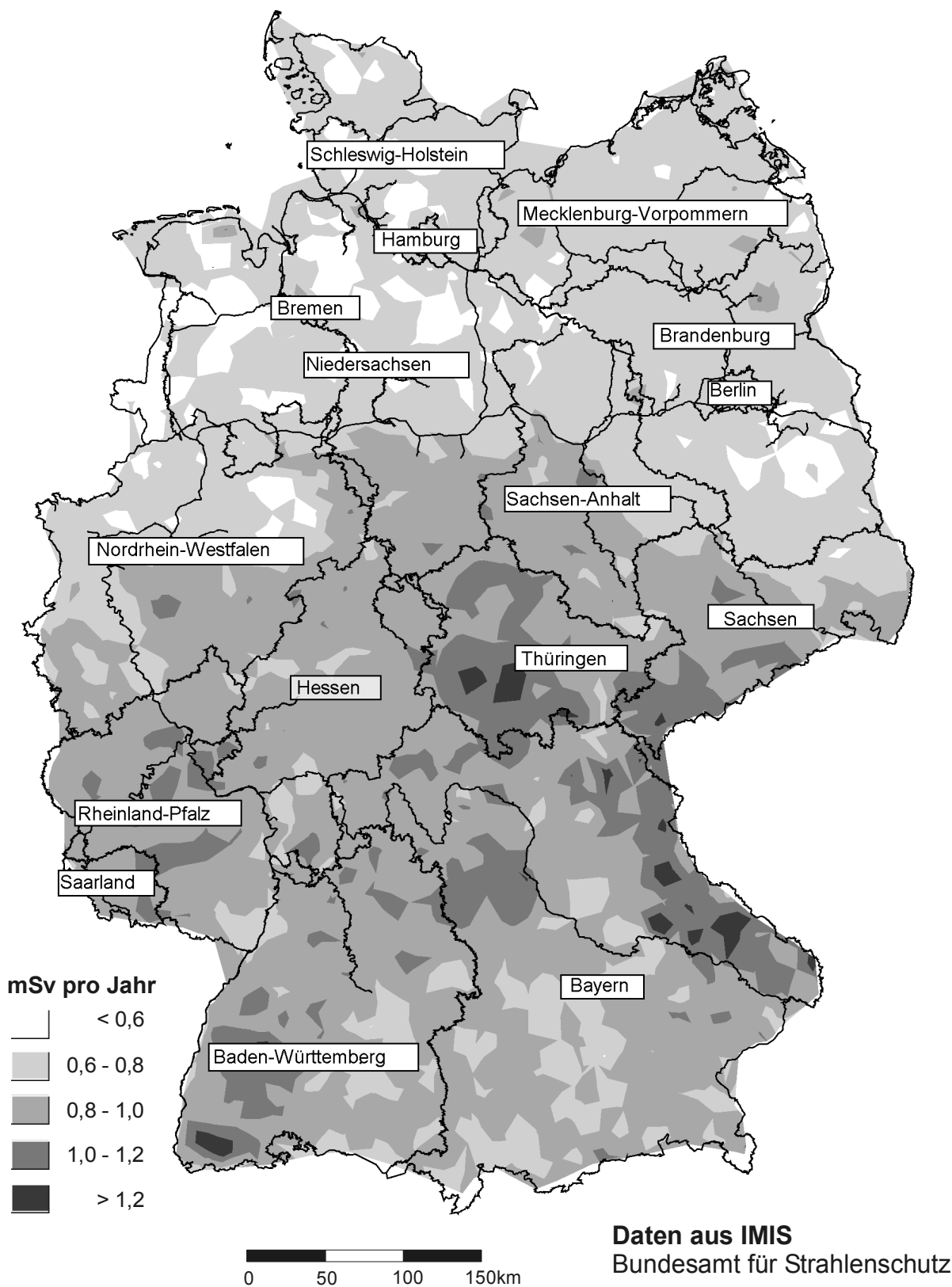


Abbildung 2.1.3-1 Mittlere γ -Ortsdosisleistung im Jahr 2006 in Deutschland
(*Mean ambient γ -dose rate in the area of Germany – year 2006*)

2.1.4 Luft und Niederschlag in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (*Air and precipitation from the surroundings of nuclear facilities*)

Gemäß der REI (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und von an Schwebstoff gebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für gasförmiges I-131 bei 5 mBq/m^3 und bei den an Schwebstoff gebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei $0,4 \text{ mBq/m}^3$.

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131 haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert (Tabelle 2.1.4-1). An einer Messstelle des Forschungszentrums Jülich wurden im 3. Quartal in zwei Sammelperioden $0,6 \text{ mBq/m}^3$ bzw. $0,4 \text{ mBq/m}^3$ nachgewiesen. Diese Werte liegen allerdings deutlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze. Als Ursprung der Aktivität werden Anwendungen von I-131 im nahe gelegenen Institut für Medizin angenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen der an Schwebstoff gebundenen künstlichen Radionuklide lagen 2006, wie im Vorjahr, an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen. Die Nachweisgrenzen für das Bezugsnuklid Co-60 sind in Tabelle 2.1.4-2 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Dosisleistung (Tabelle 2.1.4-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der Umgebungsäquivalentdosisleistung auf. Auch die Verlegung oder der Wegfall einzelner Messpunkte kann den über alle Messpunkte gemittelten Wert für die Umgebungsäquivalentdosisleistung beeinflussen. Zum Einen können stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes hierfür der Grund sein, zum Anderen bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes.

Im Falle des GKN Neckarwestheim zeigt hier der Austausch von Szintillationssonden durch Proportionalzählrohre im Jahre 2005 einen um einen Faktor von ca. 2 höheren Ortsdosisleistungswert, der auch im Berichtsjahr beobachtet wird.

Niederschlag

Gemäß REI ist die Aktivitätskonzentration des Niederschlags gammaspektrometrisch zu ermitteln. Aus den Aktivitätskonzentrationen und den Niederschlagsmengen wird die Deposition berechnet. Aus den Monatsdepositionen in Becquerel pro Quadratmeter werden Jahresmittelwerte gebildet und berichtet. Als Nachweisgrenze für die Aktivitätskonzentration im Niederschlag werden, bezogen auf Co-60, $0,05 \text{ Bq/l}$ gefordert. Die Niederschlagsmenge pro Monat liegt im Durchschnitt je nach Jahreszeit und Standort zwischen 10 und 100 Liter pro Quadratmeter und Monat, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen $0,5 \text{ Bq/m}^2$ und 5 Bq/m^2 resultieren können. Im Berichtsjahr liegen keine Messwerte oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen vor. In Tabelle 2.1.4-4 sind die Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst.

Im FZ Jülich wurde im 1. Quartal 2006 eine Deposition von $0,3 \text{ Bq/m}^2$ Cs-137 gemessen. Werte in dieser Größenordnung werden auch an den Messstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität nach StrVG bestimmt. Sie erklären sich aus der Resuspension von bereits deponierten Schwebstoff gebundenen Radionukliden und deren Verfrachtung mit dem Wind.

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

Probenahmestelle	N	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
		I-131 (mBq/m ³)						
BER Berlin	2	<0,2	<0,31	<0,32	[<0,22] ⁶	<0,33	[<0,32] ⁹	<0,26
KKB Brunsbüttel	2	[<0,2] ⁹	<0,2	<0,15	[<0,21] ³	<0,32	[<0,29] ⁹	<0,3
KBR Brokdorf	2	<0,54	<0,43	<0,40	[<0,35] ³	<0,39	[<0,36] ⁹	<0,39
KKK Krümmel	3	<0,36	<0,36	<0,39	[<0,38] ³	<0,37	[<0,39] ⁹	<0,36
GKSS Geesthacht	1	[<0,43] ⁶	<0,45	<0,43	[<0,24] ³	<0,24	[<0,24] ⁹	<0,24
KKS Stade	1	-	-	-	[<0,45] ⁶	[<0,41] ⁹	[<0,28] ⁹	*
KKU Unterweser	2	<2,00	[<2,00] ^{6,d}	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
KWG Grohnde	3		[<0,69] ⁹	<0,65	<0,58	<0,59	<0,61	<0,65
KKE Emsland	2		[<0,31] ⁹	<0,32	<0,32	<0,3	<0,32	<0,33
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	0,76**	0,72**	0,68**	1,2**	<2,0	0,36**	0,47**
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	[<0,65] ⁹	[<0,76] ⁹	-	[<0,74] ⁹	[<0,56] ⁶	[<0,7] ³	<0,66
KKP Philippsburg	4	<0,62	<0,64	[<0,53] ⁹	<0,53	<0,49	<0,49	<0,5
KWO Obrigheim	3	<0,85	<0,86	<0,82	<0,64	<0,37	<0,34	<0,18
GKN Neckarwestheim	2	<0,60	<0,59	[<0,61] ⁹	<0,6	<0,65	<0,73	<0,68
FZ Karlsruhe		*	*	*	*	*	*	-
KKI Isar	3	-	-	-	-	-	-	[<0,29] ⁹
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	-	-	-	[<0,5] ⁹
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	-	-	-	[<0,27] ⁹
KGR Greifswald	2	<0,27	[<0,76] [*]	*	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	<0,1	[<0,06] ⁹	<0,08	<0,06	<0,06	[<0,35] ⁶	+
KKR Rheinsberg		*	*	*	*	*	*	-
KMK Mülheim-Kärlich	2	*	*	*	*	*	*	*

N Zahl der Messstationen

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

** Jahreswert einer Messstelle, die Werte lagen sonst unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 2 mBq/m³

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

- keine Messwerte

* Messungen eingestellt

+ keine Messung im bestimmungsgemäßen Betrieb

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

Probenahmestelle	N	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
		Co-60 (mBq/m ³)						
BER Berlin	2	<0,08	<0,02	<0,02	[<0,02] ³	<0,02	[<0,02] ⁹	<0,02
KKB Brunsbüttel	2	[<0,06] ⁶	<0,06	<0,06	[<0,06] ³	<0,06	[<0,05] ⁹	<0,05
KBR Brokdorf	2	[0,19] ⁶	<0,19	<0,19	[<0,16] ³	<0,18	[<0,17] ⁹	<0,18
KKK Krümmel	3	[<0,08] ⁶	<0,07	<0,07	[<0,07] ³	<0,07	[<0,06] ⁹	<0,06
GKSS Geesthacht	1	[<0,19] ⁶	<0,18	<0,14	[<0,03] ³	<0,06	[<0,06] ⁹	<0,05
KKS Stade	1	-	-	-	[<0,28] ⁶	[<0,18] ⁹	[<0,15] ⁹	<0,26
KKU Unterweser	2	<0,40	[<0,40] ^{6,d}	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
KWG Grohnde	3	-	[<0,12] ⁹	<0,10	<0,11	<0,11	<0,12	<0,11
KKE Emsland	2	-	[<0,18] ⁹	<0,18	<0,17	<0,18	<0,18	<0,21
KWW Würgassen	2	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
FZ Jülich	3	<0,40	<0,40	<0,40	[<0,40] ³	<0,4	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,11	<0,05	-	-	-	-	-
KWB Biblis	3	[<0,21] ⁹	[<0,21] ⁹	-	[<0,22] ⁹	[<0,17] ⁶	[<0,18] ³	<0,2
KKP Philippsburg	4	<0,04	<0,04	[<0,04] ⁹	<0,04	<0,03	<0,03	<0,03
KWO Obrigheim	3	<0,08	<0,08	<0,08	<0,07	<0,05	<0,05	<0,06
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	[<0,14] ⁹	<0,14	<0,14	<0,15	<0,13
FZ Karlsruhe	3	<0,01	<0,01	[<0,01] ⁹	[<0,01] ⁹	[<0,01] ⁶	<0,008	<0,008
KKI Isar	3	-	-	-	-	-	-	[<0,21] ⁹
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	-	-	-	[<0,062] ⁹
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	-	-	-	[<0,14] ⁶
KGR Greifswald	2	<0,15	[<0,37]*	<0,37	[<0,03] ⁹	<0,002	<0,002	[<0,002] ⁹
VKTA Rossendorf	3	<0,02	[<0,02] ⁹	<0,02	<0,02	<0,002	[<0,002] ⁶	<0,002
KKR Rheinsberg	2	<0,10	<0,09	<0,10	<0,10	<0,09	<0,08	<0,08
KMK Mülheim-Kärlich	2	<0,16	0,15	<0,20	<0,20	<0,15	[<0,2] ⁶	<0,14

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

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

* Messungen eingestellt

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

**Tabelle 2.1.4-3 Umgebungsstrahlung bei Atomkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)**

(γ -Ortsdosisleistung in nSv/h, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
		γ -Ortsdosisleistung in nSv/h						
BER Berlin	2	71	71	71	[70] ^b	72	72	72
KKB Brunsbüttel	2	75	85	[83] ⁶	a	84	82	84
KBR Brokdorf	2	61	60	[60] ³	a	59	60	59
KKK Krümmel	3	53	56	[59] ⁶	a	59	57	58
GKSS Geesthacht	1	84	84	84	92 ^b	[82] ⁶	84	85
KKS Stade	1			[77] ⁹	[60] ^{6 y}	[59] ^{9 y}	87 ^{MT}	97
KKU Unterweser	2	87	[90] ⁶	90	89	93	94	98
KWG Grohnde	3		[88] ⁹	84	86	85	83	86
KKE Emsland	2		[65] ⁹	65	65	74	75	75
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	61	59	58	57	56	62 ^{MT}	79
THTR Hamm-Uentrop	2	89	88	87	86	85	85	86
KWB Biblis	3	[88] ⁹	[90] ⁹	a	[93] ⁹	94	[95] ³	96
KKP Philippsburg	4	105	100	[98] ⁹	[100] ⁹	103	106	105
KWO Obrigheim	2	70	70	82 ^{MT}	105	103	101	102
GKN Neckarwestheim	2	56	56	[55] ⁹	[55] ⁹	53	119 ^{MT}	119
FZ Karlsruhe	6	82	82	[81] ⁹	[80] ³	[81] ⁶	83	83
KKI Isar ^c	3	a	a	a	a	a	a	99
KKG Grafenrheinfeld ^c	3	a	a	a	a	a	a	104
KRB Gundremmingen II ^c	3	a	a	a	a	a	a	65
KGR Greifswald	20	71	77	81	80	81	81	84 ^j
VKTA Rossendorf	3	106	[109] ⁹	112	[111] ⁶	112	111	[115] ⁹
KKR Rheinsberg	4	99	99	98	98	94 ^z	87 ^z	84
KMK Mülheim-Kärlich	2	110	114	113	117	119	[125] ^{6MT}	127

N Zahl der Messstationen

a Daten liegen nicht vor

y Ersatzwert Sonde NLÖ unweit abgebauter Sonde

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

* Messungen eingestellt

j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsübewachungsprogramm

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

b zeitweise Messung mit ungeeichetem Leihgerät

c teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

MT Austausch des Messsystems

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

Probenahmestelle	Aktivität in Bq/m ² oder in Bq/l								
	N	2003 (Bq/l)	2003 (Bq/m ²)	2004 (Bq/l)	2004 (Bq/m ²)	2005 (Bq/l)	2005 (Bq/m ²)	2006 (Bq/l)	2006 (Bq/m ²)
BER Berlin	1		<0,05		<0,11		[<0,43] ⁹		[<0,28] ⁹
KKB Brunsbüttel	2		[<0,7] ³		<0,9		[<0,81] ⁹		<1,3
KBR Brokddorf	2		[<1,4] ³		<1,7		[<1,3] ⁹		<1,5
KKK Krümmel	4		[<0,28] ³		<0,37		[<0,37] ⁹		<0,44
GKSS Geesthacht	2		[<0,26] ³		<1,7		[<1,7] ⁹		<1,5
KKS Stade	2		<1,2		[<2,7] ⁹		[<2,2] ⁹		<1,7
KKU Unterweser	2	<0,05	+	<0,05	+	<0,05	+		<0,8
KWG Grohnde	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+		<2,0
KKE Emsland	2	<0,02	+	<0,03	+	<0,03	+		<0,68
KWW Würgassen	2	<0,006	+	<0,007	+	<0,006	+	<0,05	+
FZ Jülich	1	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	0,3(**)
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		[<0,82] ¹¹		[<0,68] ⁶		[<0,74] ³		<1,1
KKP Philippsburg	4		<1,1		<1,2		<1,2		<1,4
KWO Obrigheim	2		<1,5		<1,6		<1,3		<1,4
GKN Neckarwestheim	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+	0,04	+
FZ Karlsruhe	3		[<2,5] ⁹		[<1,2] ⁶		<2,7		<2,8
KKI Isar	-		-		-		-		[<2,7] ⁹
KKG Grafenrheinfeld	-		-		-		-		[<0,52] ⁹
KRB Gundremmingen II	-		-		-		-		[<3,3] ⁶
KGR Greifswald	2		<1,2		<2,3		<1,9		<1,8
VKTA Rossendorf	2		<0,25		<0,47		[<0,63] ⁶		[<0,38] ⁹
KKR Rheinsberg	2		<0,33		<0,26		<0,20		<0,19
KMK Mülheim-Kärlich	2		<0,53		<0,83		[<0,5] ⁶		<0,52

- keine Messwerte

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

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

N Zahl der Messstationen

* Messungen eingestellt

+ nur Konzentrationsangaben

** Cs-137

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

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 2.1.5-1 bis 2.1.5-8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft der Atomkraftwerke im Jahr 2006 sind in Tabelle 2.1.5-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Schwebstoffe (früher „Aerosole“, Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (C-14-Dioxid-Anteil) und Tritium aufgeführt. Die Jahresableitungen der Forschungsreaktoren, KNK und AVR sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 2.1.5-5). Die einzelnen in einer Nuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Nuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2006 abgeleiteten Edelgase ist aus Tabelle 2.1.5-2 zu ersehen. Tabelle 2.1.5-3 enthält die Zusammensetzung der schwebstoffgebundenen Radionuklide einschließlich der β -Strahler Sr-89 und -90 sowie der α -Strahler Pu-238, -239, -240, Am-241, Cm-242 und -244.

Tabelle 2.1.5-4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtableitungen für Edelgase, Schwebstoffe und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2006 mit $1,7 \cdot 10^{13}$ Becquerel kleiner gegenüber 2005 mit $2,8 \cdot 10^{13}$, die Summe der Jahresableitungen von Schwebstoffen ebenfalls mit $1,3 \cdot 10^8$ im Vergleich zum Vorjahr mit $1,5 \cdot 10^8$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2006 mit $2,3 \cdot 10^8$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $1,7 \cdot 10^8$ Becquerel. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle 2.1.5-5 sind die Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, dem Hahn-Meitner-Institut Berlin und der beiden Forschungsreaktoren Garching im Jahr 2006 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 2.1.5-6 angegeben.

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

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten α -strahlenden Schwebstoffe ermittelt (Tabelle 1.2-8). Die 2006 abgeleitete α -Aktivität 2006 der Anlagen in Lingen und Gronau beträgt $4,7 \cdot 10^4$ Becquerel. Die Stilllegungsarbeiten an den Hanauer Nuklearfabriken wurden im Laufe des Jahres 2006 beendet und die Anlagen der Siemens Brennelementwerk Hanau aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen, das Gelände kann jetzt konventionell genutzt werden. Dasselbe gilt für den Großteil des Geländes des Brennelementwerks RD Hanau GmbH (früher NUKEM-A), bis auf eine Teilfläche, auf der die Grundwassersanierung voraussichtlich noch mehrere Jahre dauern wird.

Die für das Jahr 2006 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 2.1.5-1 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 Teil B - II - 1.3.1 angegeben.

Tabelle 2.1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2006)

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

h) Betrieb beendet 2005

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Ableitungen von Anlagen mit beendetem Betrieb werden bis zum Ablauf der atomrechtlichen Genehmigung gemessen und berichtet. Die deutlich kleineren Ableitungswerte werden von restlichem radioaktivem Inventar sowie von Rückbau- und Dekontaminationsarbeiten verursacht.

C-14 wird in Tabelle 2.1.5-1 in Form von C-14-Dioxid angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag vernachlässigbar ist. Die Gesamtsumme an abgeleitetem C-14 über die Fortluft im Jahr 2006 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten etwa $5,5 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle 2.1.5-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2006
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2006)

	Kahl/ Rheinsberg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgassen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
Aktivität in Bq								
Ar-41							2,9 E10	3,8 E10
Kr-85m							1,3 E08	3,0 E07
Kr-85			1,6 E09				3,4 E11	
Kr-87							2,0 E08	
Kr-88							3,2 E08	2,1 E08
Kr-89								3,0 E08
Xe-131m							4,6 E09	1,1 E09
Xe-133m							1,8 E09	1,7 E09
Xe-133							1,3 E12	5,5 E10
Xe-135m							4,9 E08	1,2 E08
Xe-135							4,4 E10	3,1 E10
Xe-137								1,8 E08
Xe-138							1,5 E08	6,1 E07

	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmler	Gundremmingen B, C
Aktivität in Bq								
Ar-41	4,1 E11		3,9 E09	2,0 E11	2,7 E10	9,5 E10	9,2 E06	2,4 E11
Kr-85m			5,8 E09		3,1 E09			6,3 E07
Kr-85		1,3 E11	1,3 E11	1,1 E11			1,2 E10	1,9 E11
Kr-87			2,6 E09		1,6 E10		4,0 E07	2,5 E08
Kr-88			3,5 E11		7,5 E08		6,5 E07	7,8 E08
Kr-89			1,9 E11		2,9 E10			1,1 E09
Xe-131m	4,1 E09	7,8 E10	2,1 E09	6,6 E11			5,4 E09	1,6 E11
Xe-133m		2,9 E10	1,6 E10	8,2 E09			1,4 E10	7,5 E07
Xe-133	2,0 E09	4,7 E10	1,1 E12	1,4 E12	3,6 E11		6,5 E11	2,5 E10
Xe-135m		8,9 E10	1,0 E12		4,2 E11		2,8 E09	4,8 E10
Xe-135	2,2 E10	1,7 E12	4,8 E11	9,9 E11	3,9 E11		6,1 E10	6,2 E10
Xe-137			4,4 E11		4,0 E11			1,1 E11
Xe-138			2,4 E11		3,2 E11			9,5 E08

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

Tabelle 2.1.5-3 Ableitung radioaktiver Schwebstoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2006 in Becquerel (I-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2006 expressed in becquerel - I-131: Table 2.1.5-1)

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

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

	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter- weser	Philipps- burg 1	Grafen- rheinfeld	Krüm- mel	Gundrem- mingen B, C
Aktivität in Bq									
Cr-51			4,4 E06			1,1 E06	1,4 E05	1,6 E05	
Mn-54			2,3 E07			5,3 E05	1,8 E04	2,0 E06	
Fe-59			9,4 E05					1,3 E05	
Co-57									
Co-58			1,3 E06			9,9 E04	1,9 E05	1,7 E05	
Co-60		2,0 E05	2,6 E07		1,3 E05	1,8 E06	3,0 E06	8,9 E06	
Zn-65			1,7 E07			1,6 E06		1,0 E06	
Sr-89			5,8 E05			1,6 E06		3,1 E05	
Sr-90						3,7 E04		1,5 E04	
Zr-95			1,3 E05				1,3 E05		
Nb-95		2,2 E04	4,0 E05			7,2 E03	2,9 E05		
Ru -103						7,9 E03			
Ru-106						3,2 E04			
Ag -110m			4,2 E04						
Sn-113									
Sb-124			1,7 E05		1,1 E04				
Sb-125			2,3 E04						
Te-123m	1,7 E05								
Cs-134									
Cs-137			5,9 E06			1,1 E05		1,4E05	
Ba-140			6,6 E05			2,5 E06		7,6E04	
La-140			5,4 E05			1,7 E06			
Ce-141			6,7 E03			2,6 E04			
Ce-144						3,2 E04			
Eu-152									
Eu-154									
Eu-155									
Pu-238									
Am-241									
Pu-(239+ 240)									
Pu-241									
Cm -242									
Cm-244									

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

	Grohnde	Hamm-Uen- trop	Philippsburg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
Aktivität in Bq								
Cr-51			4,1 E04					
Mn-54			3,6 E03					
Fe-59								
Co-57								
Co-58			1,8 E04					
Co-60	4,6 E05		9,6 E04			6,0 E04	2,3 E04	4,9 E04
Zn-65								
Sr-89								
Sr-90								
Zr-95								
Nb-95			7,3 E03					1,5 E04
Ru -103								
Ru-106								
Ag -110m			1,6 E04			3,4 E04		
Sn-113								
Sb-124								
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134					8,0 E04			
Cs-137			3,7 E04		2,1 E06			
Ba-140								
La-140								
Ce-141								
Ce-144								
Eu-152								
Eu-154								
Eu-155								
Pu-238								
Am-241								
Pu-(239+ 240)								
Pu-241								
Cm -242								
Cm-244								

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

Tabelle 2.1.5-4 Ableitung radioaktiver Edelgase, von I-131 und Schwebstoffen (ohne I-131, einschliesslich Strontium und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in den Jahren 1996 bis 2006
(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and aerosols (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 1996 to 2006)

Jahr	Aktivität in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	Edelgase	I-131	Schwebstoffe	
1996	6,2 E13	3,4 E08	3,6 E08	18.459
1997	3,8 E13	3,0 E08	3,7 E08	19.451
1998	2,7 E13	1,8 E08	2,7 E08	18.460
1999	1,9 E13	2,5 E08	1,4 E08	19.374
2000	2,6 E13	2,2 E08	1,1 E08	19.371
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19.552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18.816
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18.847*
2004	2,8 E13	2,5 E08	8,3 E07	19.071*
2005	2,8 E13	1,7 E08	1,5 E08	18.612*
2006	1,7 E13	2,3 E08	1,3 E08	19.105*

*) Quelle: Atomwirtschaft

Tabelle 2.1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2006)

Forschungszentrum	Aktivität in Bq					
	Edelgase	Schwebstoffe a)	I-131	I-129	C-14	Tritium
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	9,8 E11	1,2 E07 b)	3,8 E06	1,1 E06	9,1 E10	1,8 E12
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,8 E11	2,2 E06	3,6 E05	-	1,5 E11	1,8 E11
Forschungszentrum Rossendorf	1,5 E10	2,4 E05	nn	nn	1,6 E08	9,2 E09
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	1,0 E12	7,6 E03	1,3 E05	-	4,7 E08	9,6 E10
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	6,5 E11	5,5 E05	7,2 E05	-	1,7 E10	8,6 E10
Garching, FRM I	-	nn	nn	-	1,3 E06	2,2 E09
Garching, FRM II	2,1 E11	nn	7,3 E03	-	3,5 E09	8,4 E10

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschliesslich Strontium und Alphastrahler

b) davon Alphastrahler: 1,26 E05 Bq

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2006)

Forschungsreaktor	Edelgase	Schwebstoffe	I-131	C-14	Tritium
	Aktivität in Bq				
Heidelberg *)	0	0	0	0	0
Mainz	1,4 E11	nn	nn	-	3,3 E06

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen

*) keine Fortluft mehr abgegeben

Die Jahresableitungen der Forschungsreaktoren FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin enthalten (Tabelle 2.1.5-5). Der Forschungsreaktor Heidelberg wurde Ende November 1999 abgeschaltet.

Tabelle 2.1.5-7 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2006 (Vorjahreswert in Klammern)
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility in the year 2006 - value of 2005 in brackets)

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	1,2 E10 (1,7 E10)
C-14	7,5 E08 (6,4 E08)
langlebige Aerosole	8,6 E05 (1,1 E06)
Radon-Folgeprodukte	3,2 E09 (5,1 E09)

Tabelle 2.1.5-8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances - α -activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2006)

Betrieb	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH ^{a)}	
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung ^{a)} Betriebsteil Uran-Verarbeitung ^{a)}	
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	3,2 E04

^{a)} Anlagen im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen, damit endet die Berichterstattung über radioaktive Ableitungen

2.2 Meerwasser und Binnengewässer (Seawater and inland water)

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

In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide beschrieben. Grundlage der Bewertung sind jährlich mehrere Überwachungsfahrten mit eigenen Forschungsschiffen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch des zeitlichen Trends der Kontamination möglich. Grundsätzlich werden die Radionuklide Cs-137 bzw. Cs-134, Sr-90, Pu-(239+240), Pu-238, Am-241 und Tritium untersucht. Da das BSH im Spätsommer 2006 ein neues Laborgebäude bezogen hat, lagen zum Redaktionsschluss eine Reihe von Ergebnissen noch nicht vor.

Meerwasser in der Nordsee

Die Probenahme zur Überwachung der Deutschen Bucht bzw. Nordsee erfolgte 2006 auf Fahrten im Januar, März, August und Oktober. Zusätzlich werden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

Die Zeitreihen in Abbildung 2.2.1-1 und 2.2.1-2 der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an den beiden Stationen seit 1961 bzw. 1980 lassen seit einigen Jahren nur noch sehr niedrige Werte erkennen. Der Grund dafür ist, dass aus den Wiederaufbereitungsanlagen Sellafield und La Hague nur noch sehr geringe Einleitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentrationen nur noch wenig über den Kontaminationswerten des Oberflächenwassers des Atlantiks. Dieses ist im Wesentlichen durch die Reste des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests der sechziger Jahre gekennzeichnet. Ein Eintrag von Cs-137 aus der Elbe ist nicht zu festzustellen, wie auch in Abbildung 2.2.1-3 zu erkennen ist. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristischen Nuklidverhältnis Cs-134/Cs-137 war in der deutschen Bucht zwei bis drei Jahre nach dem Unfall nicht mehr zu messen. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee ebenfalls nicht mehr nachweisbar (NWG ca. $0,2 \text{ Bq/m}^3$).

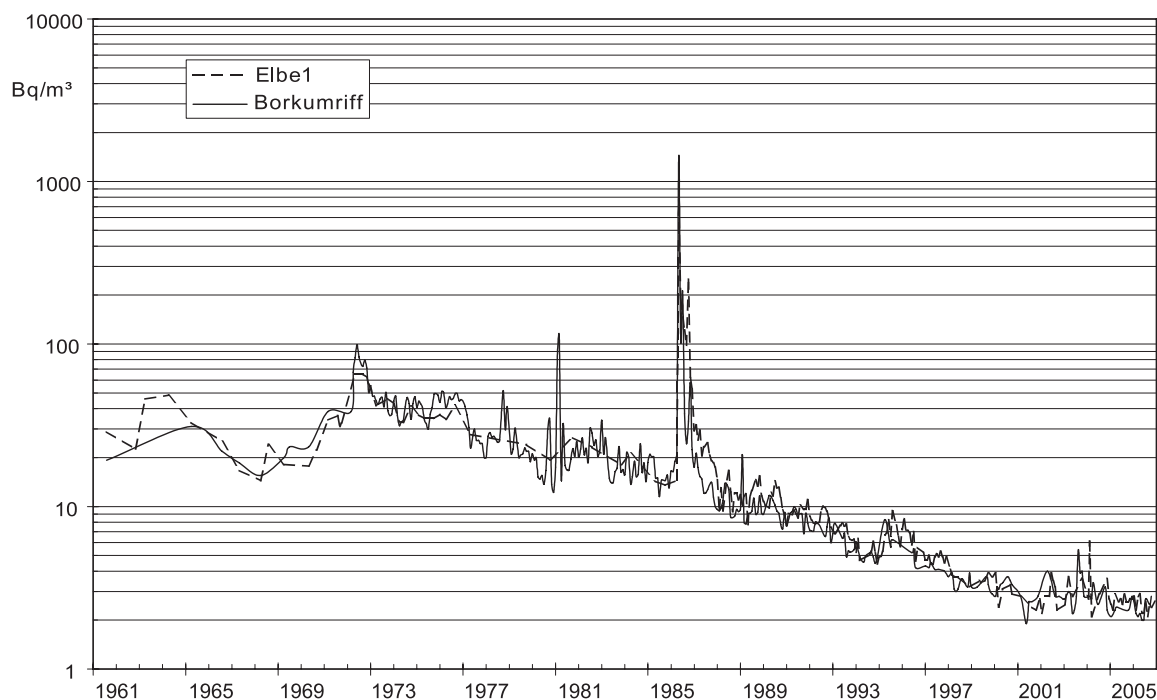


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961)

In den Abbildungen 2.2.1-3, 2.2.1-4 und 2.2.1-5 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche in der Deutschen Bucht im März, August und Oktober 2006 dargestellt. Die Konzentrationen überstreichen einen Bereich von $1,8 \text{ Bq/m}^3$ an der Elbemündung bis $4,4 \text{ Bq/m}^3$, wobei die höheren Konzentrationen in der mittleren Deutschen Bucht zu finden sind. Im Vergleich zu früheren Jahren sind die Konzentrationen von Cs-137 sehr niedrig. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle ist bei diesen geringen Werten kaum noch möglich. Wie die Vergleichsproben aus der Elbe bei Stade ($0,9 \text{ Bq/m}^3$) zeigen, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar. Die geringen Einträge aus der Elbe sind darauf zurückzuführen, dass Cs-137 im Vergleich zu Sr-90 an den Tonmineralen der Böden stärker adsorbiert wird und deshalb über die Flüsse nur geringer eingetragen wird als Sr-90. Die Ergebnisse der Sr-90- und Transuran-Analysen liegen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes leider noch nicht vor. Ergebnisse aus den Vorjahren zeigten aber, dass in den Einträgen aus der Elbe etwas höhere Konzentrationen an Sr-90 zu beobachten waren als für Cs-137.

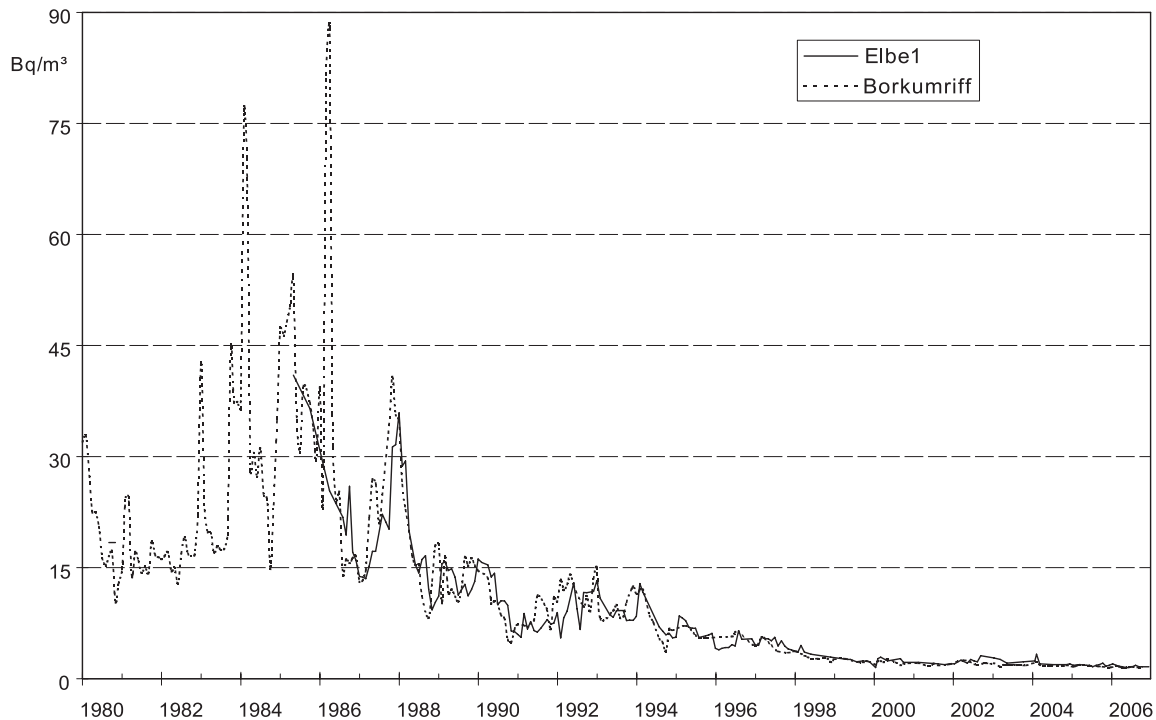


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

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

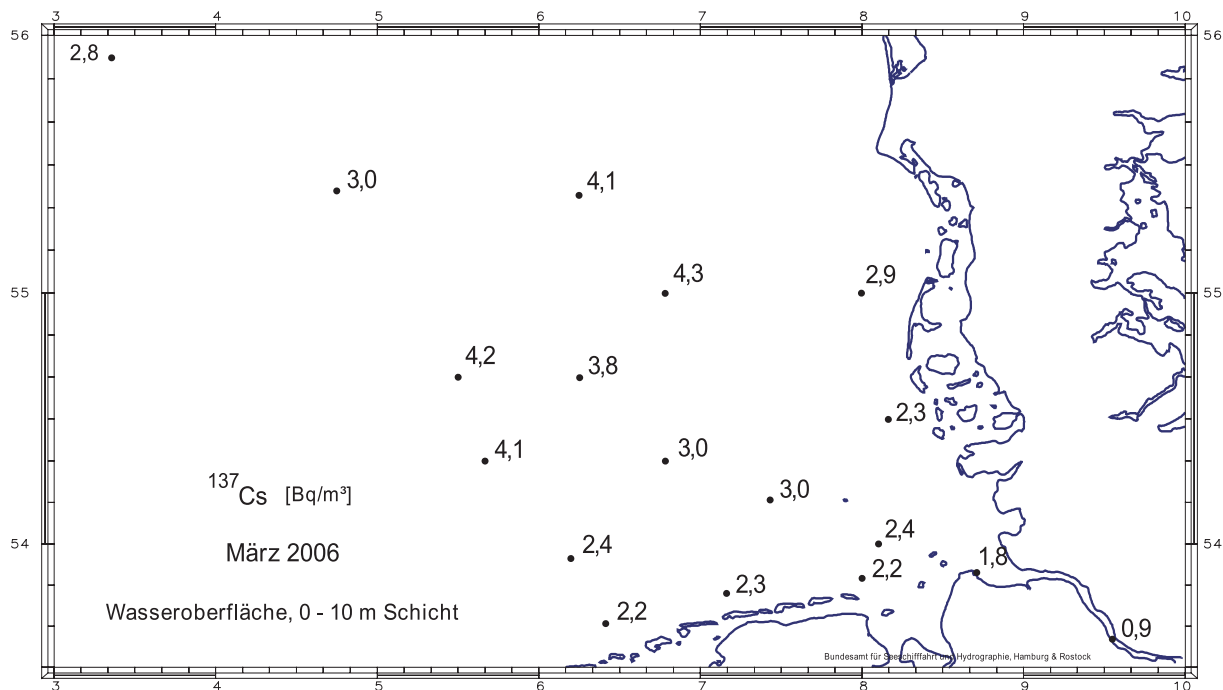


Abbildung 2.2.1-3 Die Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im März 2006
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in March 2006)

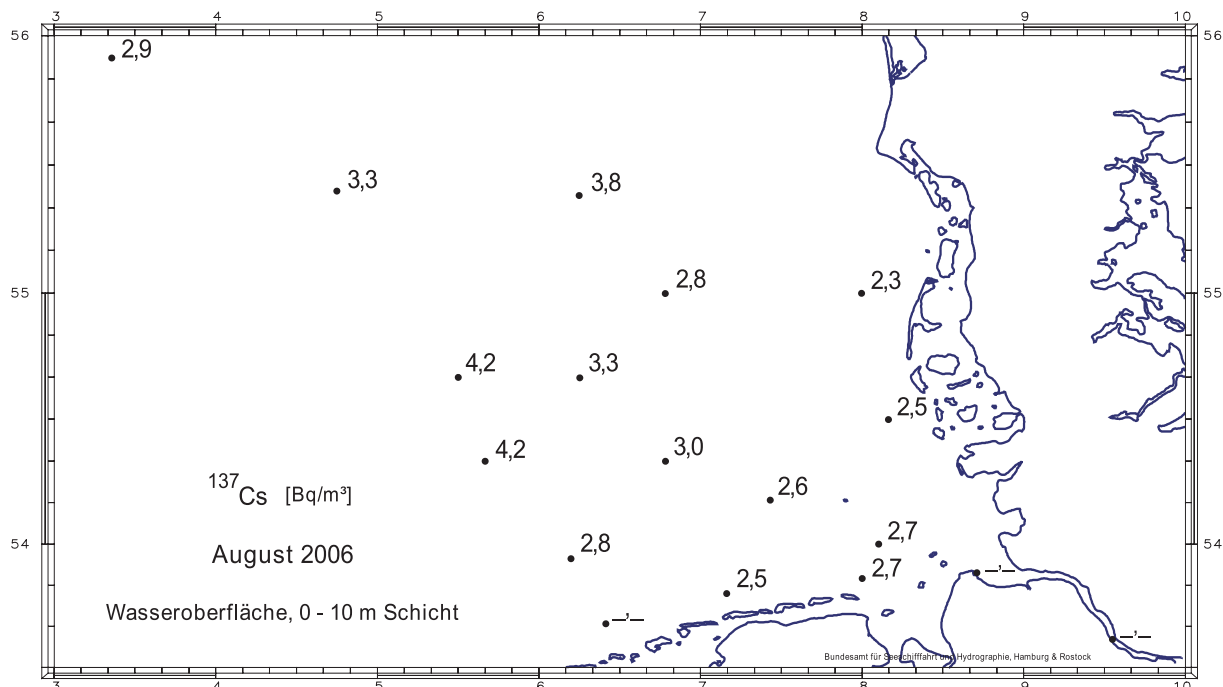


Abbildung 2.2.1-4 Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im August 2006
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in August 2006)

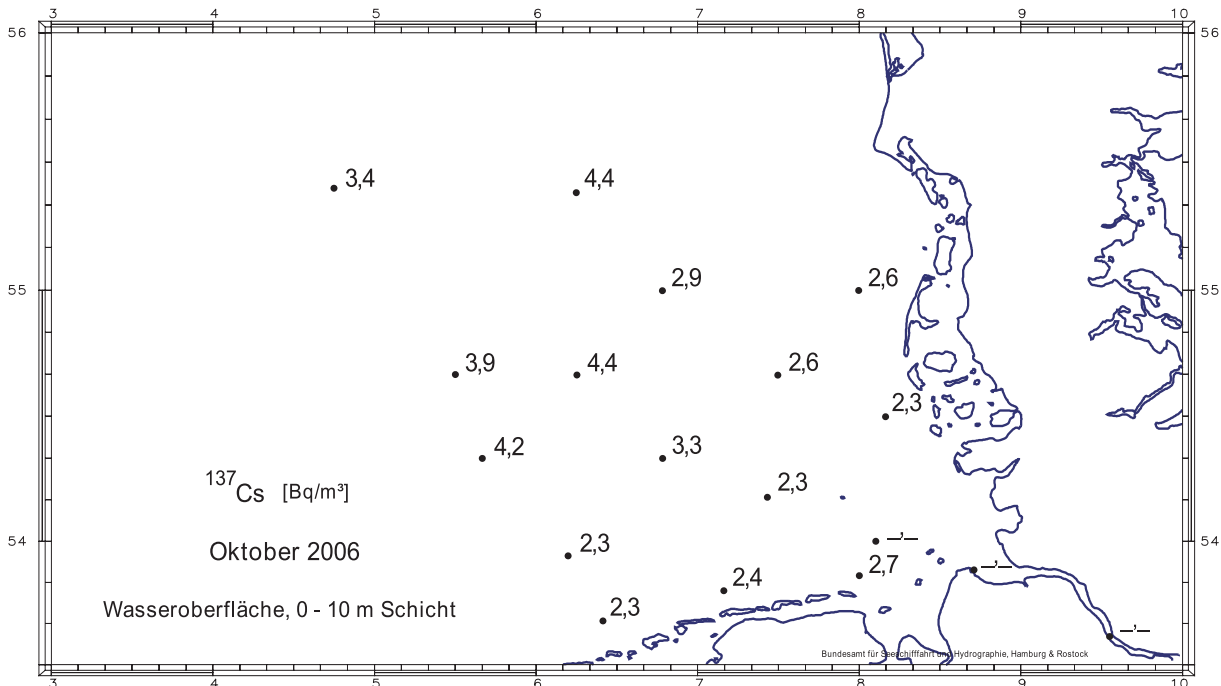


Abbildung 2.2.1-5 Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2006
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in October 2006)

Meerwasser in der Ostsee

Die Ostsee erfuhr nach dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag an Radionukliden, dessen Schwerpunkt in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und – in geringerem Maße - in der Lübecker Bucht lag. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit der Nordsee dauert es Jahrzehnte, bis Schadstoffe aus der Ostsee entfernt werden. Dies ist seit 20 Jahren auch mit dem Cs-137 aus dem Tschernobylunfall zu beobachten. Die Ostsee ist das größte Brackwassermeer der Welt. Insgesamt besteht ein Süßwasserüberschuss, der mit dem salzarmen Oberflächenwasser über die Beltsee in die Nordsee transportiert wird. In der Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Nordseewassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wider. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden wir durchweg niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt.

Abbildung 2.2.1-6 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren 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-Aktivitätskonzentration an Meerengen wie Fehmarnbelt (Abbildung 2.2.1-7) und Darßer Schwelle (Kadetrinne, Abbildung 2.2.1.9) stärker ausgeprägt als in ruhigen Buchten wie z. B. der Neustädter Bucht (2.2.1-8). Den gleichmäßigsten Verlauf zeigt die Cs-137-Konzentration an der Position Arkonasee (2.2.1-10), da sie nicht so stark durch Ein- und Ausströme der Beltsee beeinflusst ist.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt im Juni 2006 an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee zwischen etwa 28 Bq/m³ im westlichen und 43 Bq/m³ im östlichen Teil des überwachten Gebietes (Abbildung 2.2.1-11). 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 deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 nachweisen. Dabei weisen die Proben im Bereich des Fehmarnbelts den größten Unterschied in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf. Dies war auch in den Vorjahren zu beobachten.

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 verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen. Um diesen Einstrom besser

zu charakterisieren, wurden sieben sogenannte Indikatorstationen entlang des Haupteinstrombereiches ausgewählt. Die Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentration, jeweils getrennt für Oberflächen- und Bodenwasser, wurden in Abbildung 2.2.1-12 dargestellt. Neben dem generellen Trend zu geringeren Konzentrationen kann man sowohl die Differenzen zwischen Oberflächen- und Bodenwasser als die Homogenität über die gewählte Einstromgrenze als Indikator für die unterschiedlichen Einstromsituationen heranziehen. In den letzten Jahren ist eine stetige Einstromsituation im Bodenwasser mit ausgeprägten Differenzen zwischen Oberfläche und Bodenwasser im Cs-137-Gehalt festzustellen, die von Jahren mit geringen Differenzen (2004) oder großer Inhomogenität (1999) unterbrochen wurde. Letztere werden als Jahre mit geringem oder unvollständigem Einstrom von Nordseewasser interpretiert.

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.

Abschließend ist in Abbildung 2.2.1-13 die räumliche Verteilung von Tritium im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2006 dargestellt. Die Verteilung ist sehr homogen mit einer leichten Tendenz zu höheren Werten im östlichen Teil des überwachten Gebietes. Im Vergleich mit dem letzten verfügbaren Datensatz aus dem Jahr 2001 hat die Aktivitätskonzentration des Tritium um ca. 30 Prozent abgenommen.

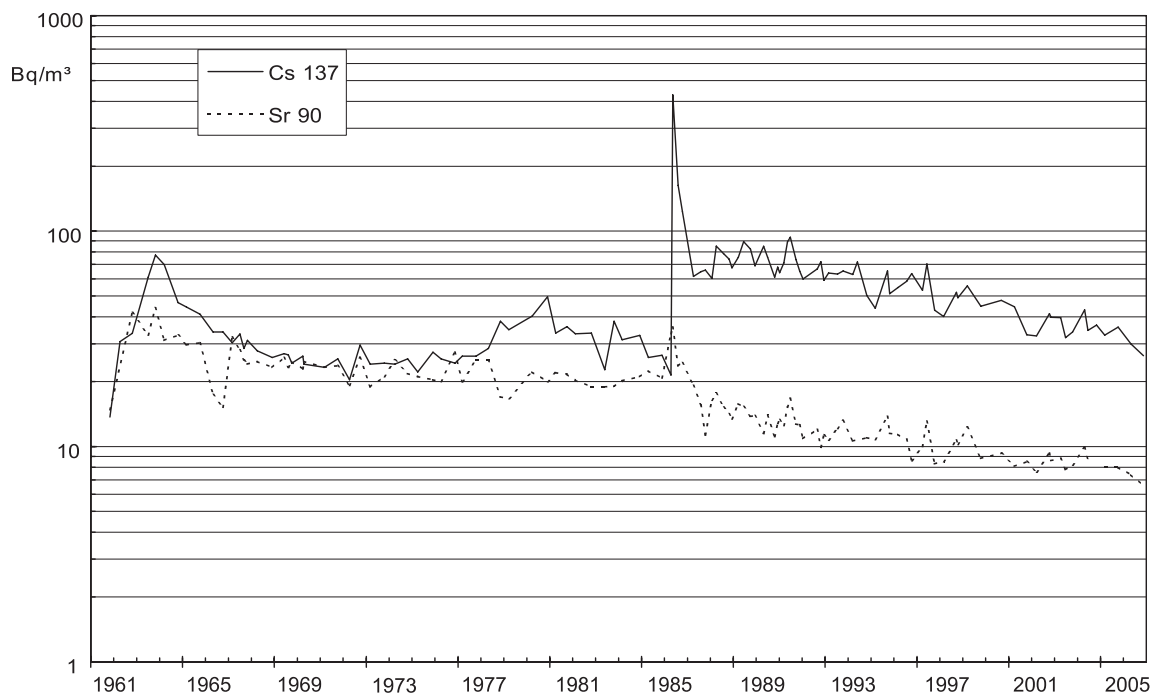


Abbildung 2.2.1-6 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Schleimündung“ ($54^\circ 40' \text{N}$, $010^\circ 05' \text{O}$) seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Schleimündung“ ($54^\circ 40' \text{N}$, $010^\circ 05' \text{E}$) since 1961)

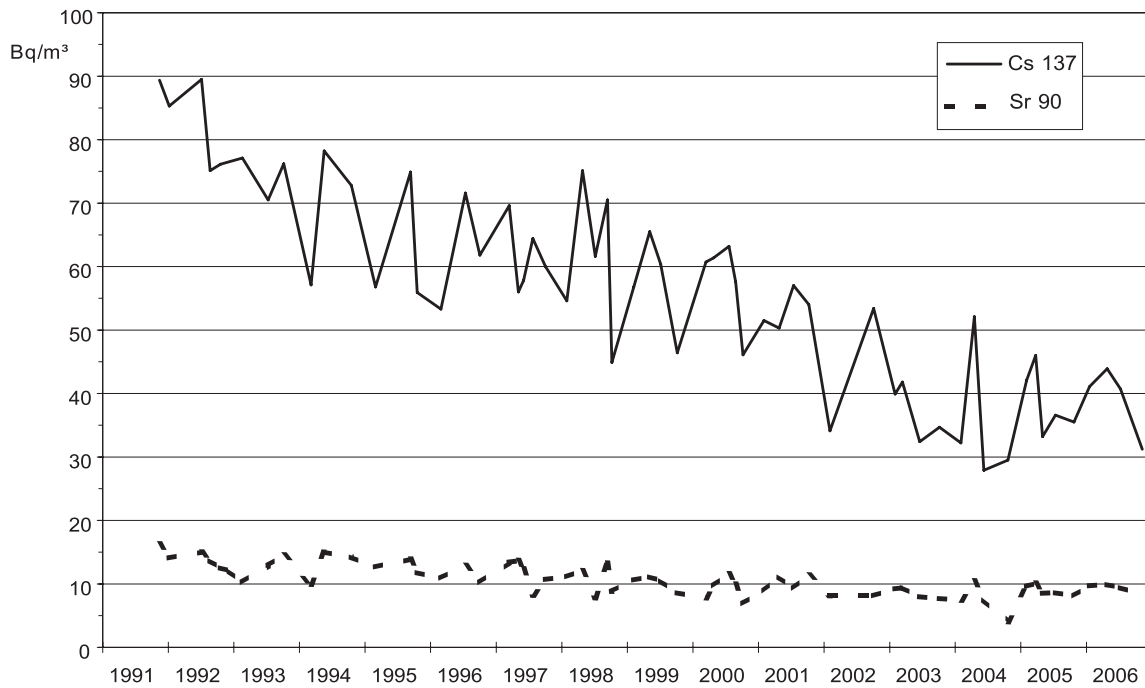


Abbildung 2.2.1-7 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Fehmarnbelt“ ($54^\circ 36' \text{N}$, $011^\circ 13' \text{O}$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Fehmarnbelt“ ($54^\circ 36' \text{N}$, $011^\circ 13' \text{E}$) since 1991)

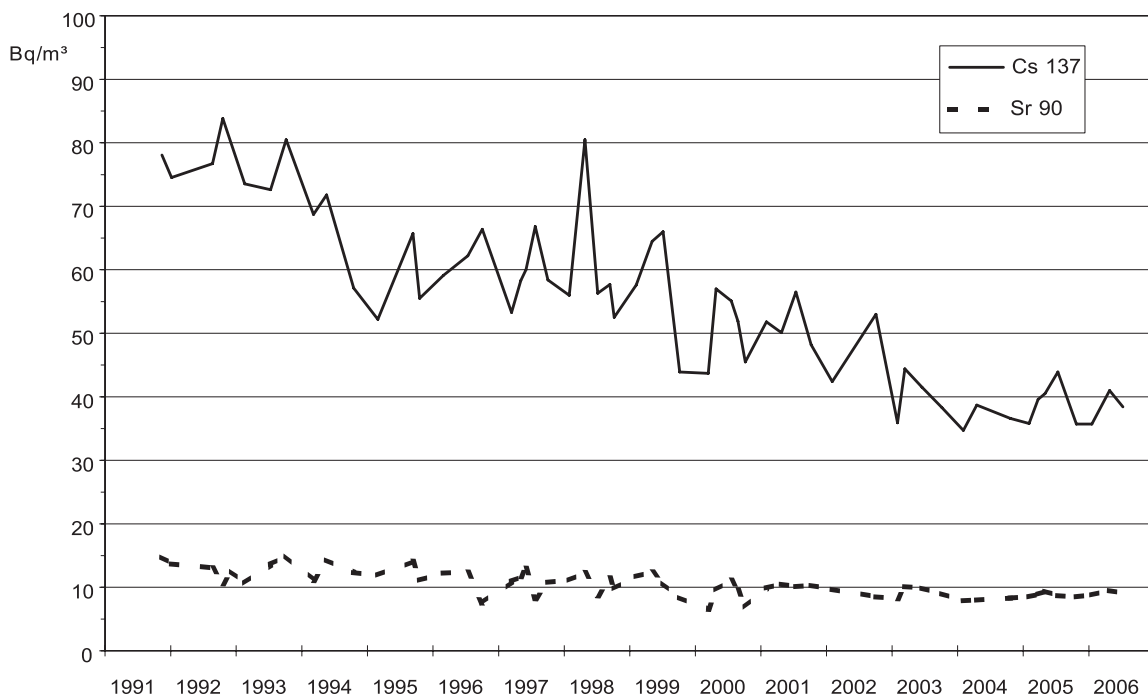


Abbildung 2.2.1-8 Der zeitliche Verlauf der Cs-137 und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Neustädter Bucht“ ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{O}$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Neustädter Bucht“ ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{E}$) since 1991)

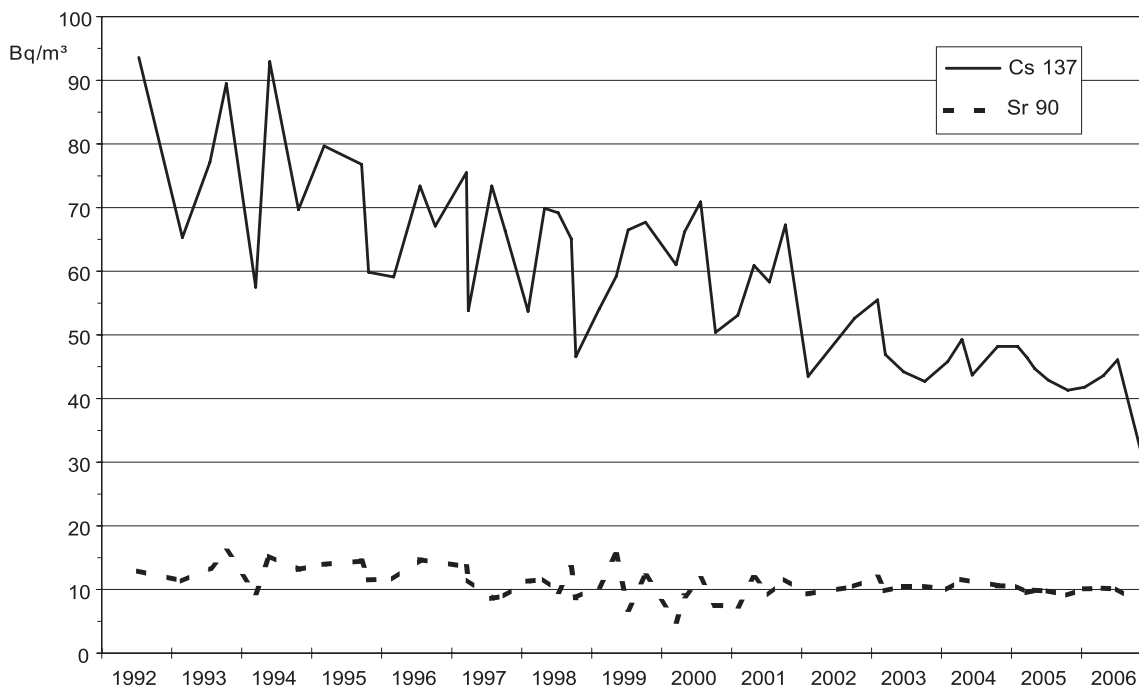


Abbildung 2.2.1-9 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Darßer Schwelle“ ($54^\circ 36,3'N$, $012^\circ 19,9'O$) seit 1992
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Darßer Schwelle“ ($54^\circ 36,3'N$, $012^\circ 19,9'E$) since 1992)

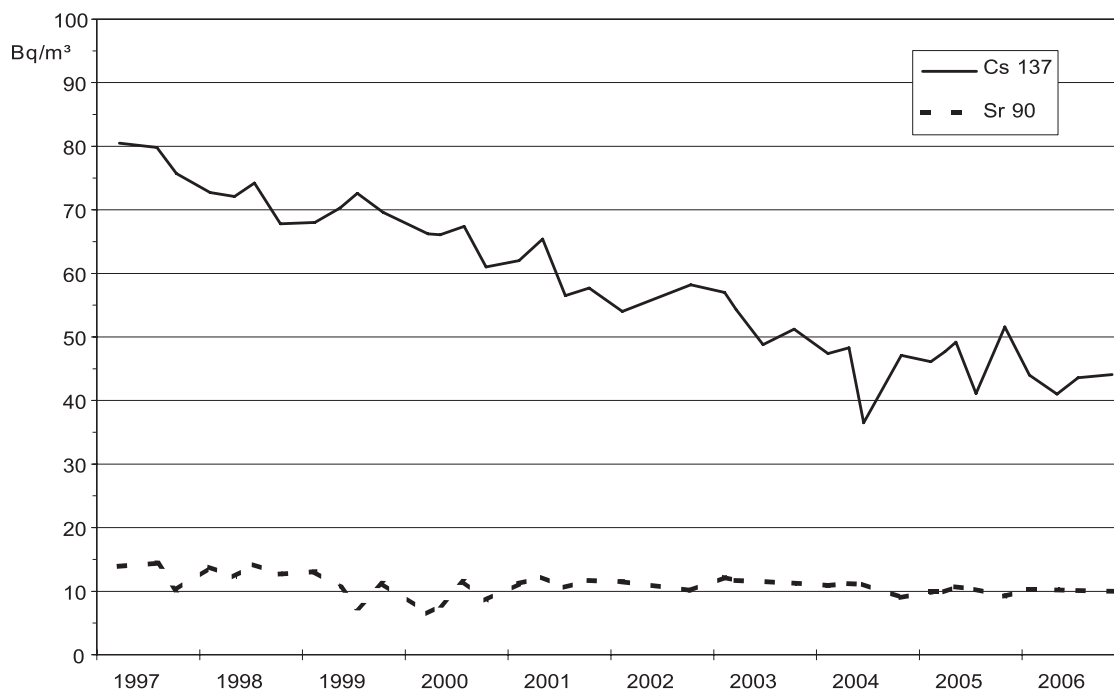


Abbildung 2.2.1-10 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen Bq/m^3 an der Position „Arkonasee“ ($54^\circ 51,6'N$, $013^\circ 16,6'O$) seit 1997
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 Bq/m^3 at the position „Arkonasee“ ($54^\circ 51,6'N$, $013^\circ 16,6'E$) since 1997)

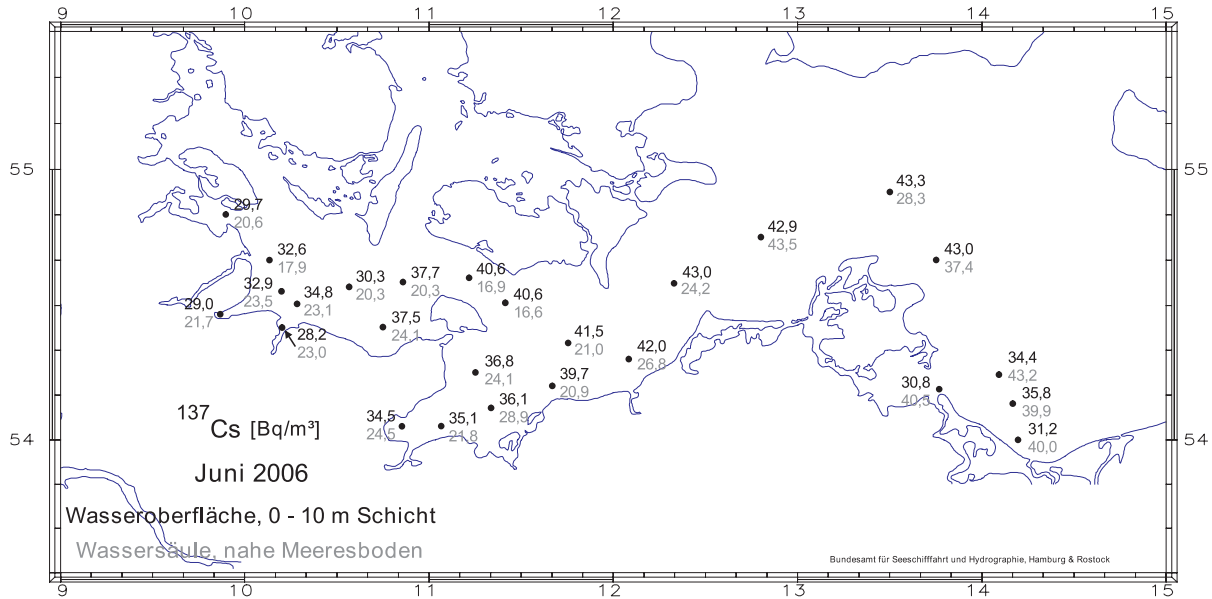


Abbildung 2.2.1-11 Verteilung von Cs-137 (Bq/m^3) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2006
(Spatial distribution of Cs-137 (Bq/m^3) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2006)

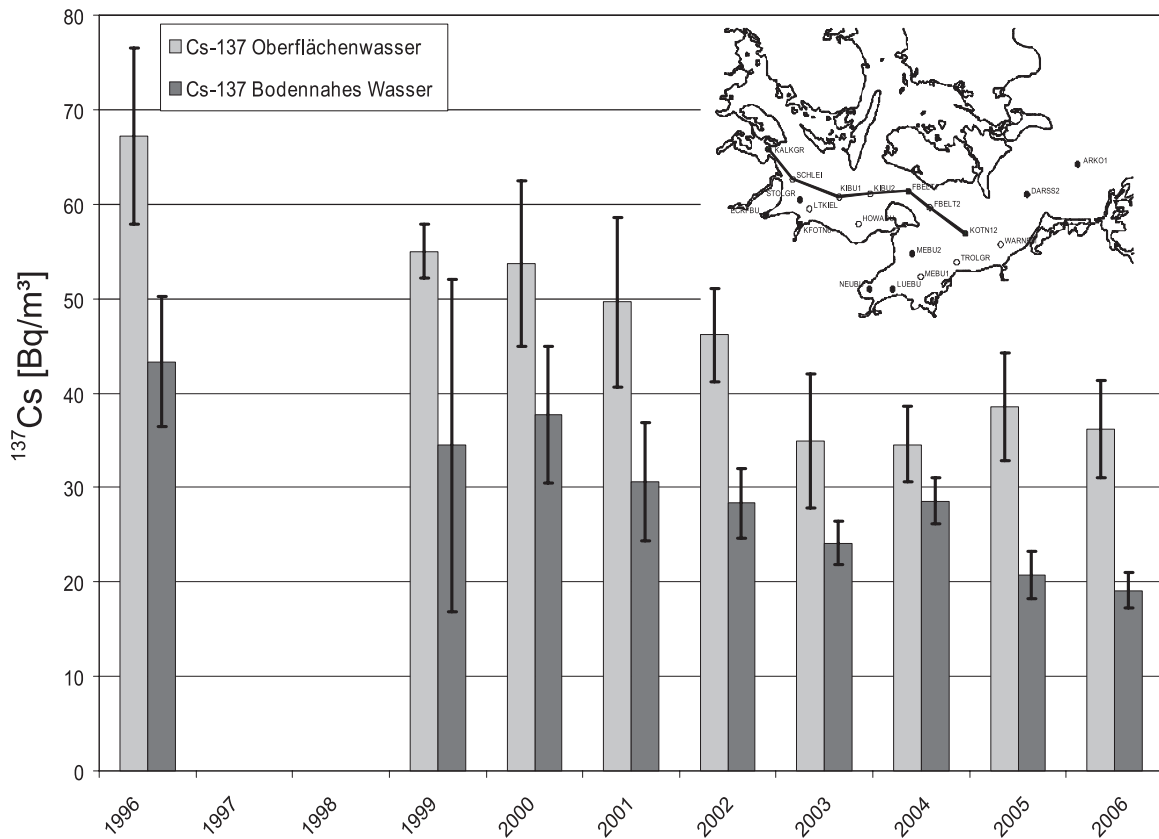


Abbildung 2.2.1-12 Zeitreihe der Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen an 7 Indikatorstationen in der westlichen Ostsee
(Timeseries of Averages of Cs-137-activity concentrations from 7 indicator stations in the western Baltic)

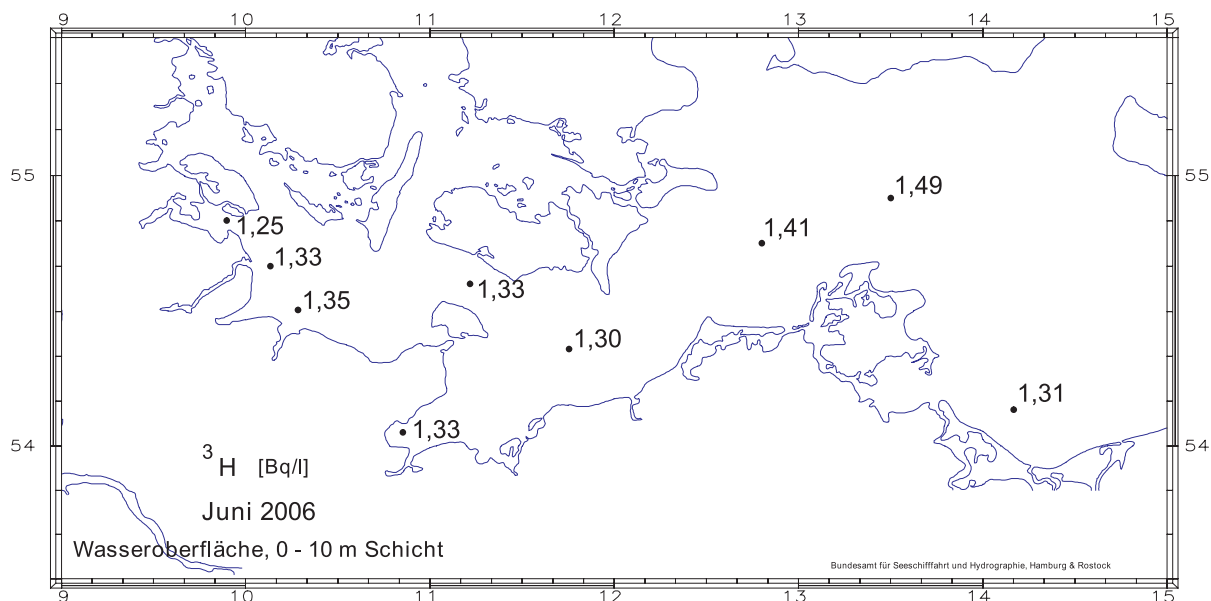


Abbildung 2.2.1-13 Verteilung von Tritium (Bq/m^3) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2006
(Spatial distribution of tritium in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2006)

Sedimente

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm. In Abbildung 2.2.1-14 ist das Inventar in kBq/m^2 einiger ausgewählter Sedi-mentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu $6,1 \text{ kBq/m}^2$ (Neu-städter Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden. Dieses Inventar ist das höchste, welches jemals im deutschen Küstenbereich gemessen wurde. Es zeigt sich, das auch 20 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall noch beachtliche Depositionen gefunden werden können. Dabei wurden Aktivitätskonzentrationen von bis zu 164 Bq/kg Trockenmasse festgestellt. 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.

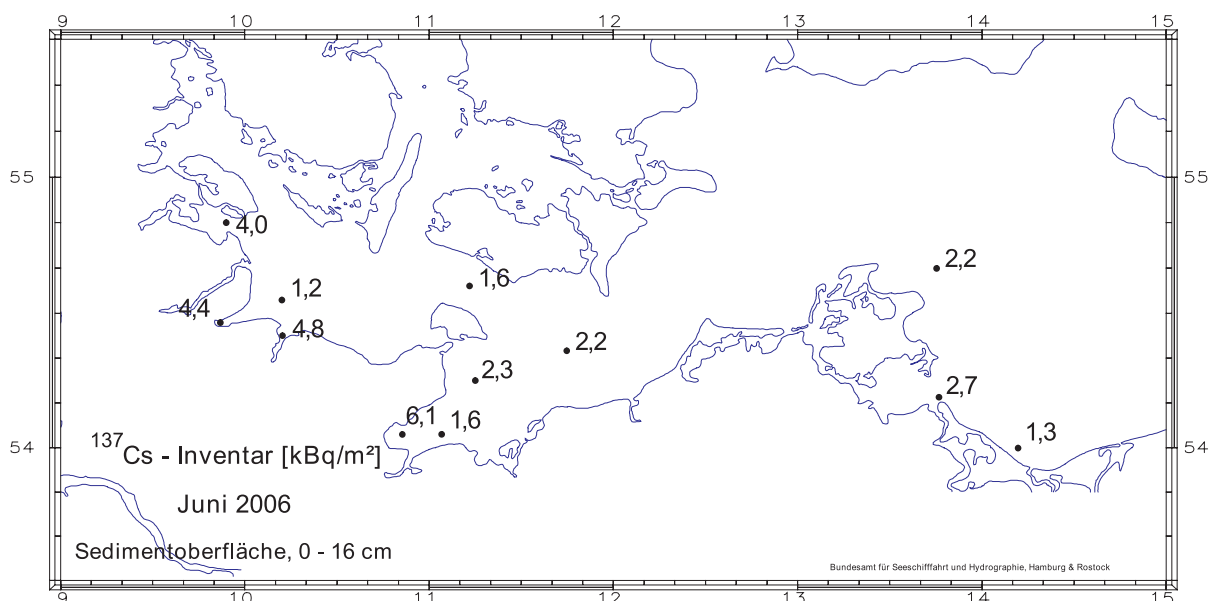


Abbildung 2.2.1-14 Cs-137 Inventar (kBq/m^2) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2006. Das Inventar wird bis 16 cm Sedimenttiefe erfasst
(Cs-137 Inventory (kBq/m^2) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2006. The inventory is calculated down to 16 cm depth)

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

In diesem Kapitel wird über die Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das Jahr 2006 berichtet.

Die gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern ermittelten Ergebnisse von der Umgebungsüberwachung im Nahbereich kerntechnischer Anlagen sind in Kapitel 2.2.3 zusammengefasst und bewertet.

Eine Übersicht über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG bzw. REI können der Tabelle 2.2.2-1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 145 Gewässern - davon 75 Fließgewässer und 70 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 15.350 Messwerten ausgewertet. Für repräsentative Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, 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 Auftragung „nn“ angegeben. Tabelle 2.2.2-2 enthält die Auswertungen für Fließgewässer und Tabelle 2.2.2-3 die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen der Konzentrationen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den Abbildungen 2.2.2-1 bis 2.2.2-8 beispielhaft aufgezeigt.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2006 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser wies Tritium-Konzentrationen (H-3) im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betragen die Jahresmittelwerte bis zu 28 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (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 in der Ems wurde Kobalt-60 (Co-60) in geringfügigen Konzentrationen von unter 0,01 Bq/l gemessen. Iod-131 (I-131) trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,05 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 0,001 und 0,08 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) wurde nicht und Pu-239+240 wurde weit unterhalb der Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l mit unter 0,00003 Bq/l bestimmt (Elbe).

In **Schwebstoffen** erreichte Cs-137 überwiegend mittlere Konzentrationen bis 100 - meist unter 50 - Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: z. B. Steinhuder Meer (Niedersachsen) mit 320 und Starnberger See (Bayern) mit 226 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 und Co-60 konnten in Ems, Mosel und Rhein nachgewiesen werden: Die Einzelwerte betragen unter 4 Bq/kg TM und lagen damit noch unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 42 Bq/kg TM gemessen (Mosel).

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. Schollener See (Sachsen-Anhalt) 232 und Schaalsee (Schleswig-Holstein) 178 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 lagen mit Einzelkonzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit deutlich die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM (Elbe, Jadebusen, Rhein und Weser).

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2006 mit dem der letzten Vorjahre vergleichbar. Die Schwankungen der mittleren Aktivitätskonzentrationen 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 (siehe auch Teil A). Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können über die für den aquatischen Bereich sensitiven Expositionspfade „Trinkwasser“ und „Aufenthalt auf Spülfeldern“ eine zusätzliche interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken.

Nimmt man eine Kontamination von Oberflächenwasser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem „Trinkwasser“-Pfad zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<= 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 µSv/a. Allein der von dem natürli-

chen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 $\mu\text{Sv/a}$ deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2006 noch in Sedimenten deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau (Deggendorf) noch mittlere Cs-137-Gehalte von 104 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. 12 $\mu\text{Sv/a}$ abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40 und der Zerfallsprodukte von Thorium und Uran bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 28 $\mu\text{Sv/a}$ wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2006 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI
(*Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2006, in accordance with the StrVG and REI*)

Kompartiment	Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert	Gewässer	Ort / KT-Anlage	Datum / Zeitraum	Überwachungsprogramm
Oberflächenwasser (Bq/l)	G α -Aktivität	215	0,245	Rhein, km 638,2	Oberwinter	August	StrVG
	G β -Aktivität	72	7,8	Salzbach	Endlager Morsleben	September	REI
	H-3	1.752	4.690	Ems	KKW Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal	REI
	Co-60	1.737	0,027	Rhein	KKW Müheim-Kärlich, Auslaufbauwerk	IV. Quartal	REI
	Sr-90	305	0,021	Stechlinsee	Neuglobsow	13.7.	StrVG
	I-131	307	0,12	Hauptentwässerungskanal	FZ Jülich	November	REI
	Cs-137	1.557	0,094	Arendsee	Arendsee	10.5.	StrVG
	Pu-238	123	0,00003	Kalter Bach	FZ Rossendorf	II. Quartal	REI
	Pu-(239+240)	123	0,00016	Kalter Bach	FZ Rossendorf	IV. Quartal	REI
	Sonstige	4.450					
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	57	1,85	Mosel, km 241,96	Perl	August	StrVG
	Co-60	503	3,94	Rhein, km 172,97	Weil	März	StrVG
	I-131	198	41,6	Mosel, km 241,96	Perl	November	StrVG
	Cs-137	503	370	Steinhuder Meer	Wunstorf	III. Quartal	StrVG
	Sonstige	2.290					
Sediment (Bq/kg TM)	G α -Aktivität	4	660	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	III. Quartal	REI
	G β -Aktivität	4	1.500	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	III. Quartal	REI
	Co-58	77	1,23	Rhein	KKW Philippsburg	III. Quartal	REI
	Co-60	1.089	47	Hauptentwässerungskanal	FZ Jülich	4.10.	
	Cs-137	1.090	1.010	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	1.2.	REI
	Am-241	23	79,6	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	1.2.	REI
	Sonstige	5.260					

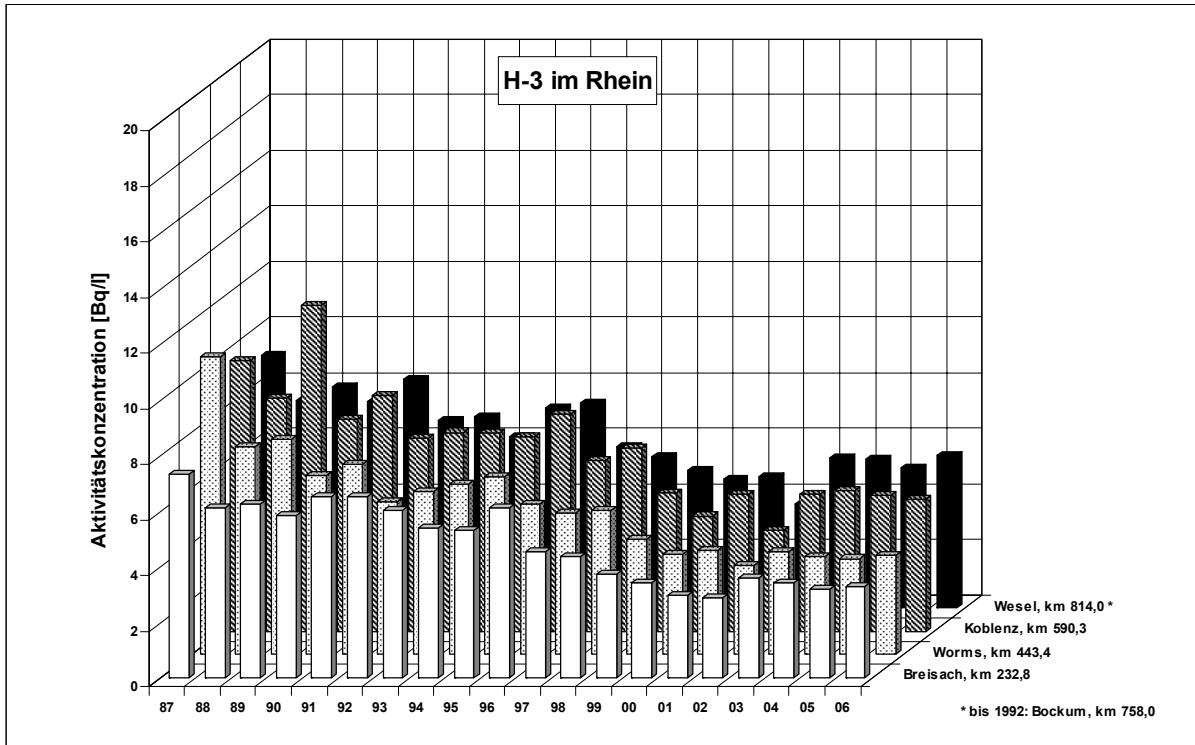


Abbildung 2.2.2-1 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

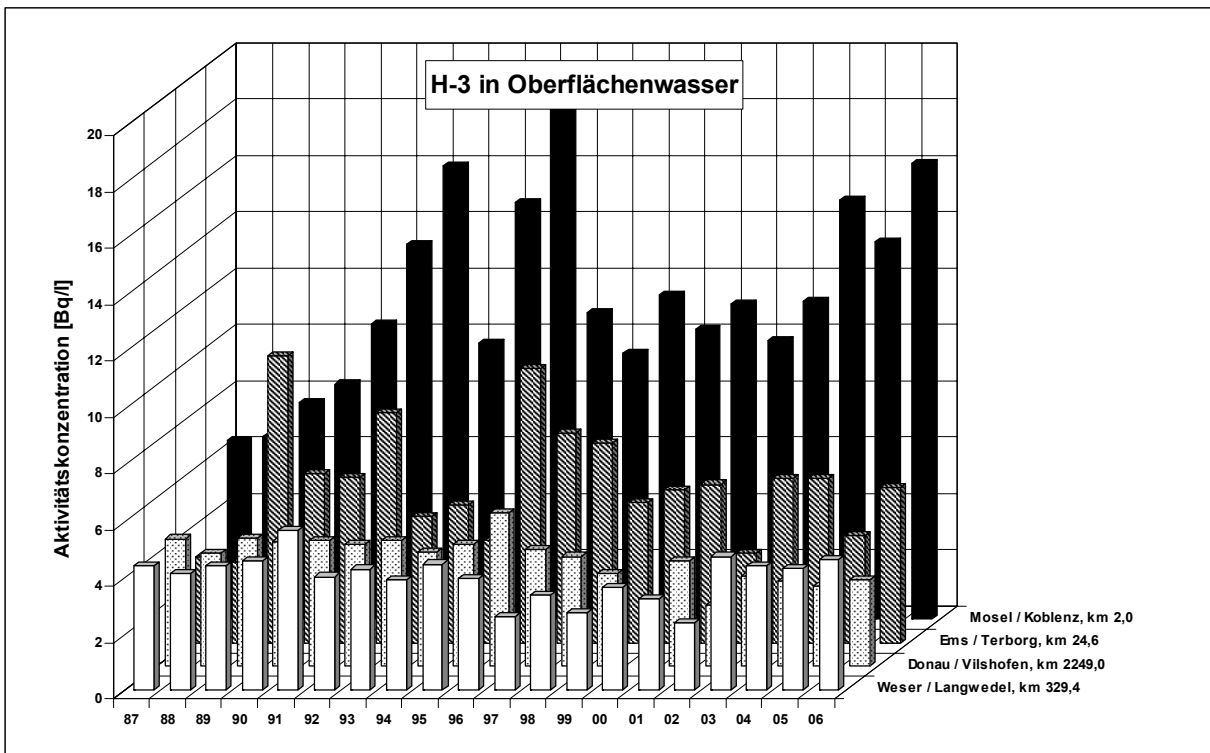


Abbildung 2.2.2-2 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
(Jahresmittelwerte)
(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

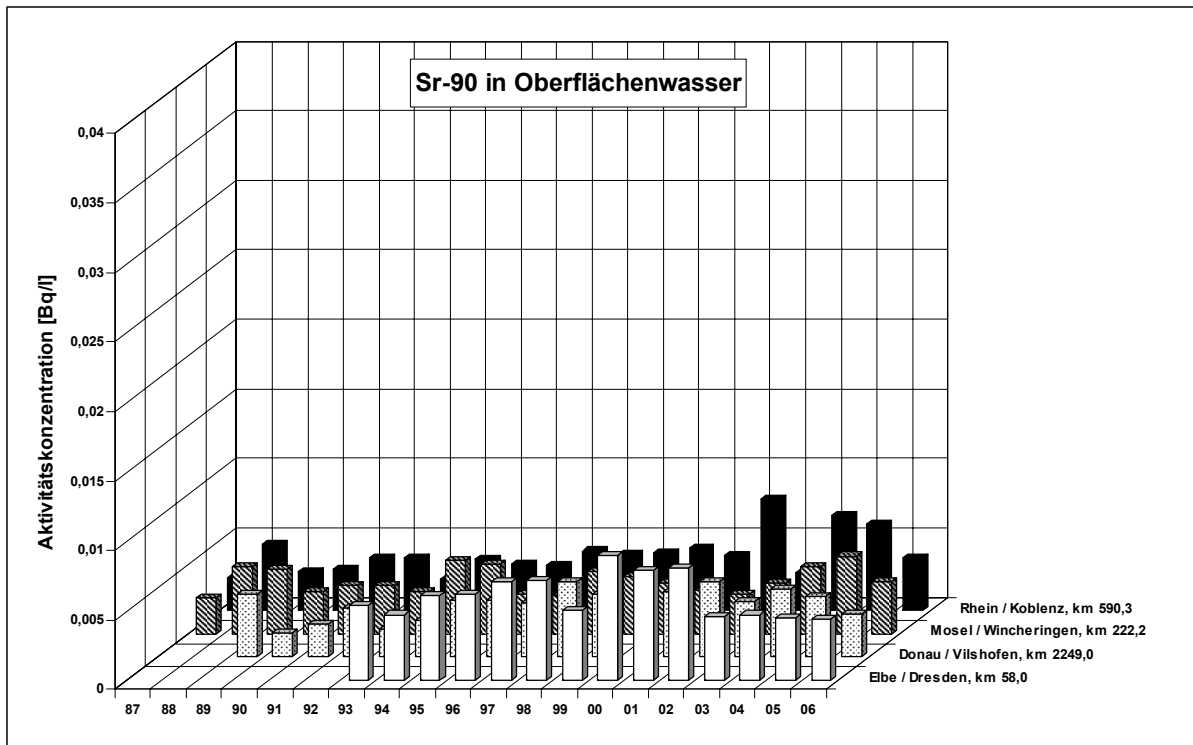


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Sr-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

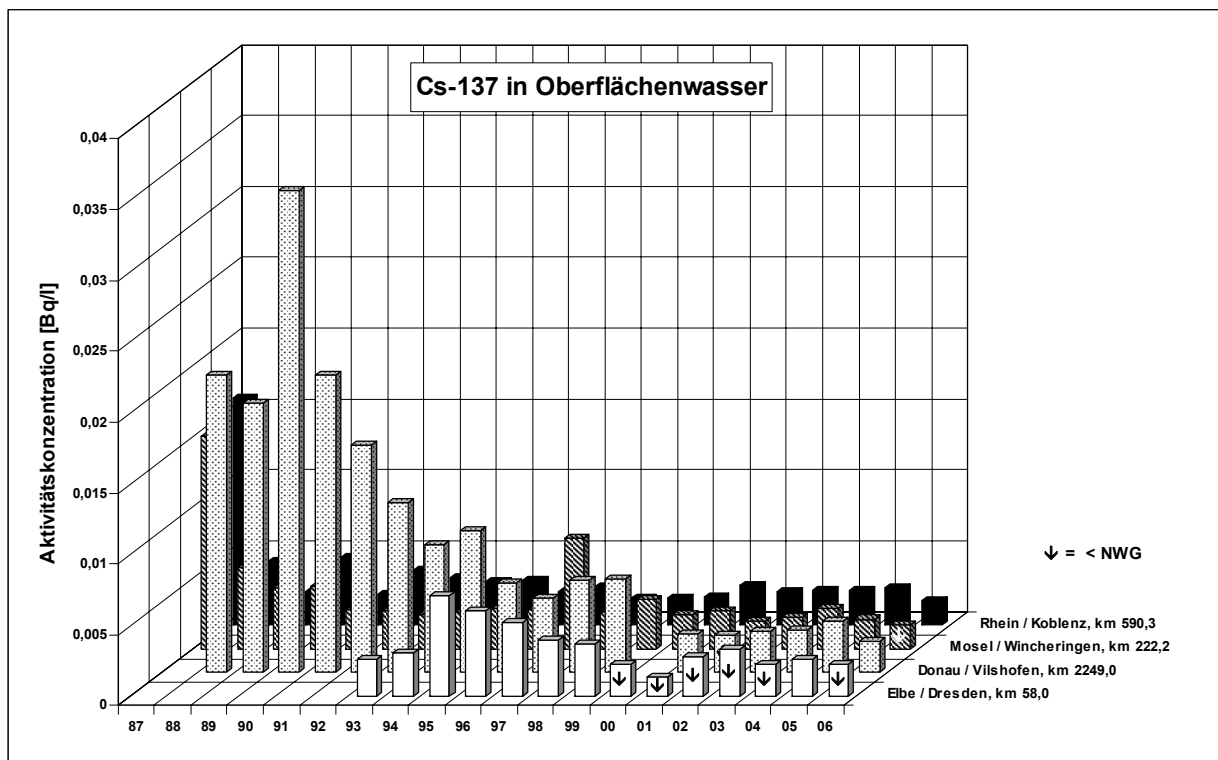


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

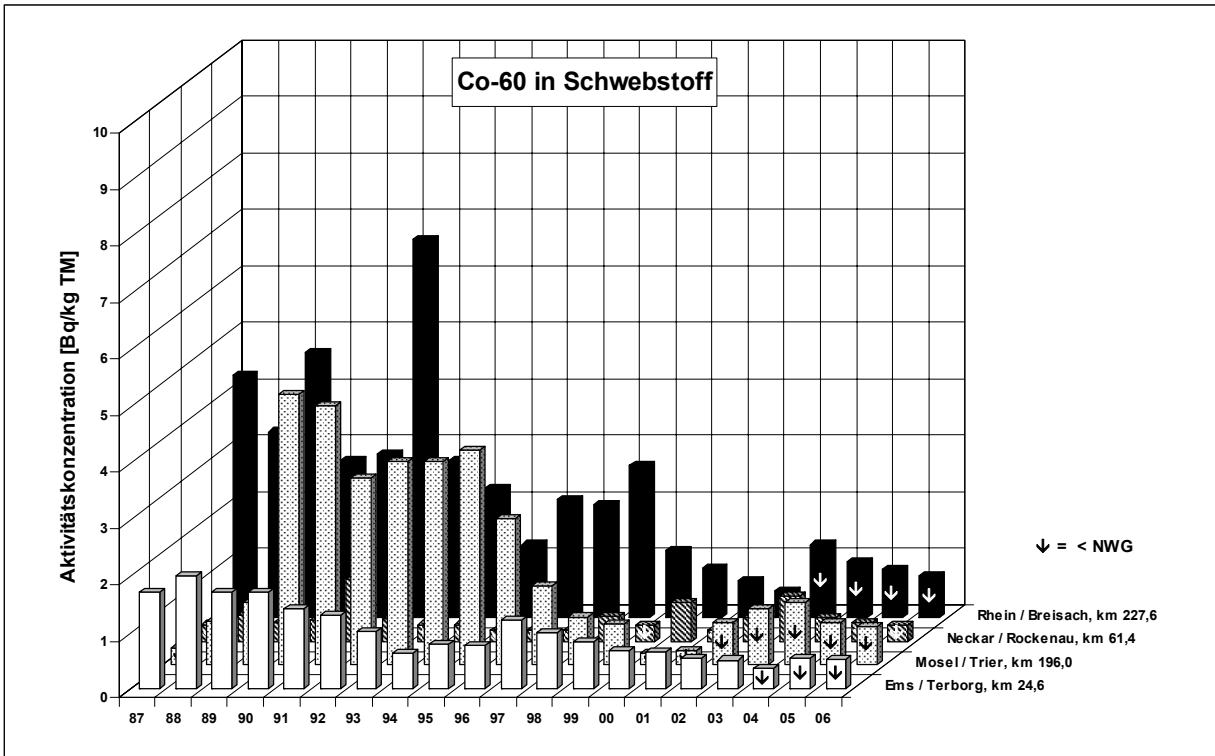


Abbildung 2.2.2-5 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Co-60 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

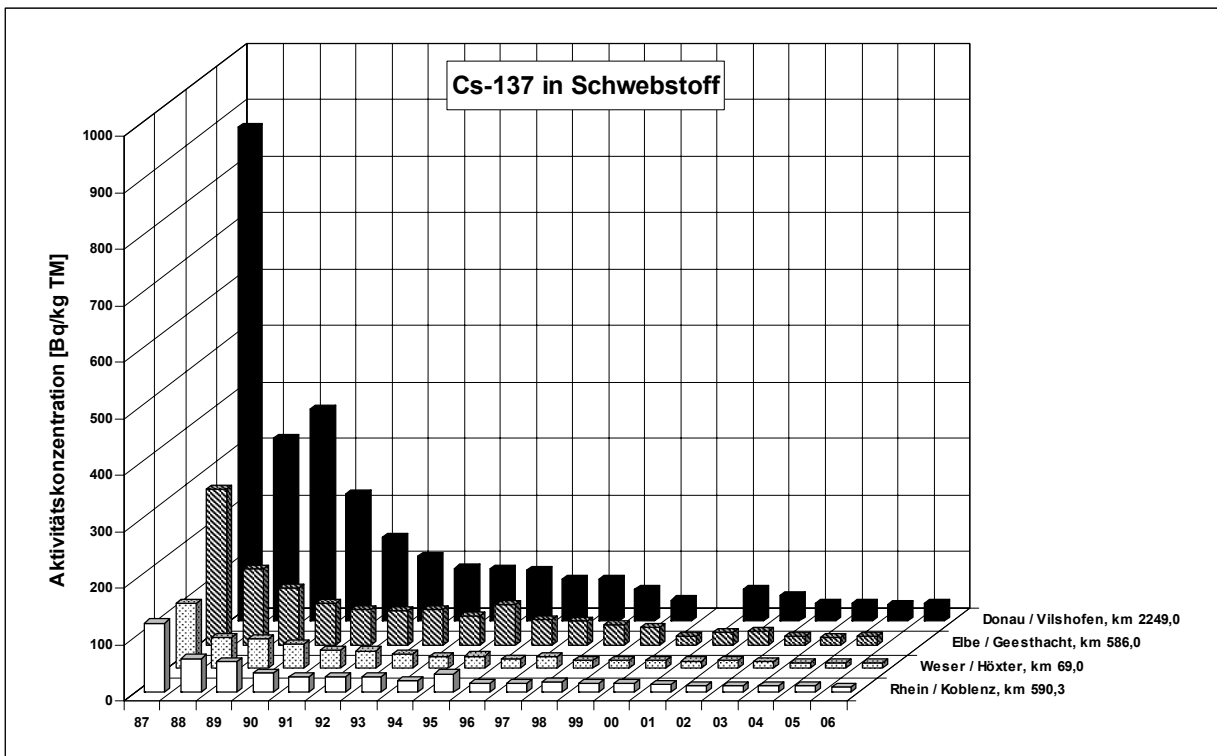


Abbildung 2.2.2-6 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Cs-137 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

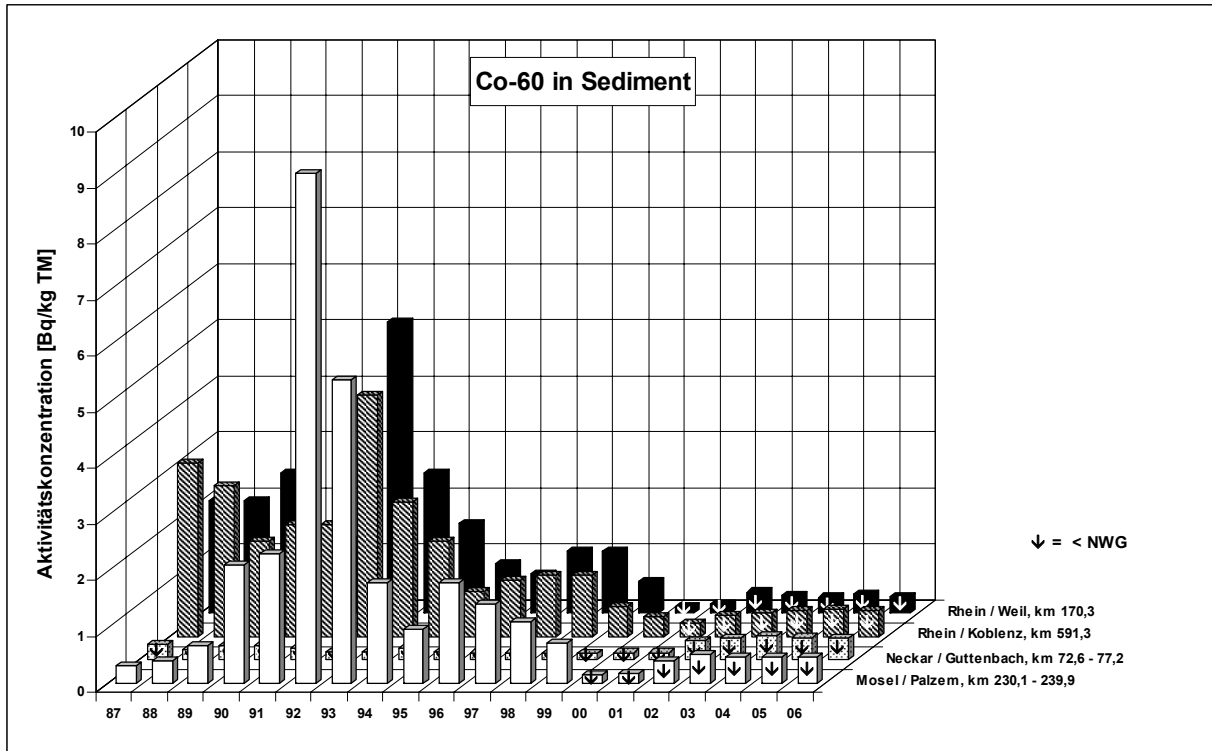


Abbildung 2.2.2-7 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Co-60 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

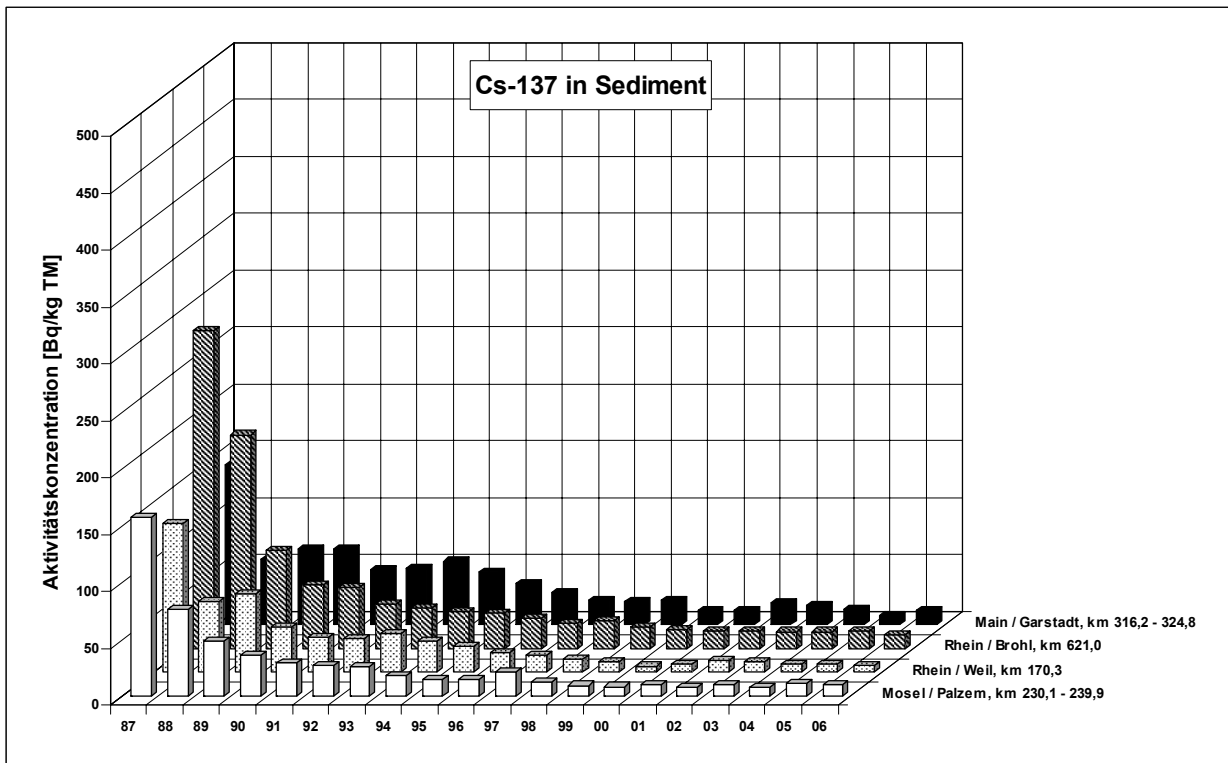


Abbildung 2.2.2-8 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cs-137 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM (from selected inland waters) annual mean values)

Tabelle 2.2.2-2 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Fließgewässern nach StrVG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from rivers in accordance with the StrVG)

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	3	0	1,62	2,76	2,05	2,36
		Koblenz, km 590,3	12	0	3,74	6,61	4,74	4,87
		Wesel, km 814,0	12	0	3,68	8,60	5,49	5,04
	Sr-90	Weil, km 172,97	1	0	0,0045	0,0045	0,0045	0,0065
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0028	0,0049	0,0038	0,0062
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0005	0,0061	0,0034	0,0059
	Cs-137	Weil, km 172,97	2	2	<0,0020	<0,0025	nn	0,0033
		Koblenz, km 590,3	11	3	0,0011	0,0028	0,0017	0,0026
		Wesel, km 814,0	12	9	0,0015	0,0025	<0,0020	<0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	-	-	-	-	-	3,66
		Koblenz, km 590,3	3	0	0,46	0,61	0,53	1,16
		Wesel, km 814,0	11	11	<0,52	<7,46	nn	nn
	Co-60	Weil, km 172,97	3	1	1,13	3,94	2,54	<1,14
		Koblenz, km 590,3	12	9	<0,31	0,76	<0,49	<0,49
		Wesel, km 814,0	11	11	<0,52	<7,46	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	3	0	9,62	14,4	11,7	8,5
		Koblenz, km 590,3	12	0	7,83	12,4	9,5	9,8
		Wesel, km 814,0	11	0	8,35	16,7	12,0	12,7
I-131	Weil, km 172,97	3	3	<19,4	<40,0	nn	<12,4	
	Koblenz, km 590,3	11	0	3,26	25,4	9,3	11,6	
	Wesel, km 814,0	11	0	3,26	25,4	9,3	11,6	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Worms, km 444,50-446,60	-	-	-	-	-	0,60
		Weil, km 170,3	11	10	<0,18	<0,43	<0,31	nn
		Worms, km 444,50-446,60	12	12	<0,14	<0,47	nn	<0,31
	Co-60	Koblenz, km 591,3	2	2	<0,35	<0,59	nn	nn
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	11	<0,26	0,90	<0,47	nn
		Weil, km 170,3	11	0	2,82	9,37	5,98	7,20
	Cs-137	Worms, km 444,50-446,60	12	2	0,24	10,5	4,0	3,39
		Koblenz, km 591,3	2	0	9,67	9,71	9,69	11,4
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	0	3,81	15,8	9,2	10,0
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	4,95	49,9	19,8	16,2
		Rockenau, km 61,4	12	0	2,59	22,7	11,8	11,9
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	0	0,0006	0,0090	0,0055	0,0050
		Rockenau, km 61,4	4	0	0,0013	0,0087	0,0039	0,0047
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	10	<0,0015	<0,0051	<0,0031	0,0027
		Rockenau, km 61,4	12	9	<0,0012	0,0037	<0,0021	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	7,12	10,3	8,8	9,0
		Rockenau, km 61,4	4	0	4,37	5,97	5,05	5,74
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	17	0	2,51	48,8	12,0	12,4
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	0	5,26	8,20	6,94	10,4
		Guttenbach, km 72,0-77,0	13	0	0,57	8,15	5,80	16
MAIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	0	1,60	101	16	11,2
		Eddersheim, km 15,3	12	0	1,51	10,9	4,4	3,3
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3	0	0,0030	0,0045	0,0038	0,0052
		Eddersheim, km 15,3	4	0	0,0034	0,0050	0,0041	0,0051
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	9	8	<0,0018	<0,0053	<0,0030	0,0035
		Eddersheim, km 15,3	12	11	<0,0013	0,0037	<0,0019	0,0039
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	3	0	15,5	30,5	22,8	30,1
		Garstadt, km 323,7	4	0	15,5	19,1	16,9	16,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	3,41	15,5	8,1	15,1
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	0	0,75	59,5	12,9	8,2

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
MOSEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	10,5	49,9	28,1	30,6
		Koblenz, km 2,0	12	0	5,33	29,1	16,2	13,4
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0026	0,0052	0,0038	0,0056
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0027	0,0065	0,0049	0,0059
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	10	8	<0,0011	0,0034	<0,0017	0,0021
Koblenz, km 2,0		11	4	<0,0011	<0,0051	0,0018	0,0028	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	2	0	0,59	1,85	1,22	1,19
		Co-60	Perl, km 241,96	11	9	<0,34	1,81	<0,69
	Cs-137	Trier, km 196,3	11	11	<0,40	<1,40	nn	<0,75
		Perl, km 241,96	11	0	8,57	17,2	12,8	15,5
	I-131	Trier, km 196,3	11	0	10,5	15,5	12,3	14,1
		Perl, km 241,96	11	4	<3,04	41,6	17,7	30,0
Trier, km 196,3	9	2	<6,61	27,4	17,9	21,7		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	6	6	<0,40	<0,64	nn	<0,49
		Trier, km 184,1-196,1	10	10	<0,32	<0,70	nn	nn
		Koblenz/Güls km 4,05	2	2	<0,43	<0,54	nn	<0,56
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	6	0	9,09	17,7	14,0	14,2
		Trier, km 184,1-196,1	10	0	6,20	13,2	11,0	12,2
		Koblenz/Güls, km 4,05	2	0	10,2	12,0	11,1	10,6
SAAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	12	0	1,08	1,52	1,29	1,85
		Sr-90	4	0	0,0017	0,0038	0,0030	0,0059
	Cs-137	11	8	<0,0019	0,0048	<0,0025	0,0034	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	10	0	12,4	18,7	15,3	20,6
			10	6	<6,14	<25,6	<13,2	
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	0	1,27	2,23	1,79	1,95
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	1,59	5,60	3,06	2,83
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	3	0	0,0044	0,0050	0,0047	0,0056
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0012	0,0055	0,0031	0,0043
	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<0,0053	<0,0095	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	11	7	<0,0015	0,0035	<0,0022	0,0036
Vilshofen, km 2249,0	11	3	<0,0011	0,0037	0,0022	0,0032		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	2	0	123	145	134	141
		Regensburg, km 2381,3	4	0	39,5	51,2	44,6	51,1
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	25,0	52,7	32,2	31,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	0	36,0	86,6	64,5	76
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	4	0	24,2	33,2	27,3	102
		Straubing, km 2326,65	2	0	37,8	43,7	40,8	45,8
		Grünau, km 2205,5	2	0	18,2	18,4	18,3	21,4
ISAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	3	<5,2	8,3	<6,0	nn
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0053	<0,0070	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	<0,0043	<0,0054	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	17,2	26,6	20,4	29,1
		Platting, km 9,1	3	0	42,0	53,4	48,3	53,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	3	0	27,3	36,9	33,3	27,0
		Platting, km 9,1	4	0	1,95	8,07	5,03	6,09

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
EMS								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	7	0	1,90	23,1	5,9	10,3
		Terborg, km 24,64	12	0	1,80	15,3	5,5	3,8
	Co-60	Terborg, km 24,64	11	10	<0,0010	0,0040	<0,0015	0,0046
		Sr-90	Geeste, km 106,3	3	0	0,0040	0,0099	0,0071
	Cs-137	Terborg, km 24,64	3	0	0,0030	0,0060	0,0049	0,015
		Geeste, km 106,3	7	6	<0,0014	<0,0041	<0,0023	0,0039
		Terborg, km 24,64	11	1	0,0017	0,0030	0,0056	0,026
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	3	3	<0,26	<1,46	nn	nn
		Terborg, km 24,64	4	3	<0,24	0,81	<0,51	<0,53
	Cs-137	Geeste, km 106,3	3	0	2,98	25,9	12,5	19,5
		Terborg, km 24,64	4	0	3,66	5,97	4,54	4,01
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	-	-	-	-	-	1,45
	Cs-137		-	-	-	-	-	8,14
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,69	13,6	7,8	8,7
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,55	8,42	4,62	4,30
		Blexen, km 430,00	11	0	3,00	9,57	5,74	5,6
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	3	0	0,0028	0,0067	0,0049	0,0037
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0016	0,0039	0,0025	0,0035
		Blexen, km 430,0	3	0	0,0023	0,0068	0,0043	0,008
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	11	3	0,0015	0,0045	0,0029	0,0038
		Langwedel, km 329,4	12	5	<0,0014	0,0029	0,0024	0,0028
		Blexen, km 430,0	9	3	<0,0020	0,0062	0,0050	0,0067
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	8,59	11,8	10,2	10,3
		Langwedel, km 329,4	12	0	7,75	18,0	12,4	13,6
		Wilhelmshaven/Jadebusen	2	0	3,09	5,46	4,28	<5,48
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	8,35	92,9	31,0	10,3
		Bremen, km 373,97	2	0	10,3	13,0	11,7	12,1
ELBE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	0	1,94	5,89	4,15	4,02
		Tangermünde, km 389,10	11	0	1,87	4,44	3,08	2,91
		Geesthacht, km 586,0	5	0	1,79	4,86	3,18	2,65
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	1,80	2,94	2,51	2,33
		Cuxhaven, km 724,5	12	0	3,39	4,78	4,09	4,34
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	0	0,0028	0,0057	0,0044	0,0045
		Tangermünde, km 389,10	3	0	0,0040	0,0073	0,0054	0,0056
		Geesthacht, km 586,0	-	-	-	-	-	0,0042
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0032	0,0042	0,0035	0,0042
		Cuxhaven, km 724,5	3	0	0,0045	0,0133	0,0096	0,0040
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	8	<0,0014	0,0043	<0,0022	0,0026
		Tangermünde, km 389,10	7	5	<0,0018	0,0127	<0,0045	0,0029
		Geesthacht, km 586,0	3	2	<0,0021	0,0116	<0,0061	0,0020
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	1	<0,0018	0,0062	0,0042	0,0038
		Cuxhaven, km 724,5	11	10	<0,0025	<0,0042	<0,0035	0,0066
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	15,8	38,4	21,4	20,8
		Geesthacht, km 586,0	-	-	-	-	-	15,7
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	13,3	19,7	16,0	15,3
		Cuxhaven, km 724,5	3	0	0,17	0,28	0,23	0,32
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	4	0	15,9	21,4	18,9	26,5
		Arneburg, km 403,5	6	0	19,9	91,8	34,8	25,1
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	22,0	25,3	24,3	24,8

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	0	1,11	1,49	1,28	1,18
		Schwedt, km 690,55	11	0	0,95	1,36	1,14	1,14
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	0	0,0025	0,0049	0,0040	0,0050
		Schwedt, km 690,55	3	0	0,0037	0,0063	0,0048	0,0053
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	7	<0,0013	0,0047	<0,0023	0,0035
Schwedt, km 690,55		11	6	<0,0011	0,0055	<0,0023	0,0028	
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	14,4	23,3	18,9	19,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hohensaaten, km 667,5	3	0	20,1	20,6	20,3	20,5
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<1,97	<2,20	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	7	0	0,84	1,37	1,11	1,03
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	3	0	0,0033	0,0074	0,0046	0,0074
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0010	0,0024	0,0017	0,0024
Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	6	5	<0,0013	0,0025	<0,0020	0,0030	
	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	6	5	<0,0013	0,0025	<0,0020	0,0030	
Schweb- stoffe (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	2	0	27,3	32,3	29,8	24,6
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	1,62	15,1	7,7	13,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	-	-	-	-	-	20,1
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	4	0	13,5	28,3	22,7	21,8
HAVEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	1,02	1,35	1,17	1,06
	Sr-90		3	0	0,0030	0,0051	0,0042	0,0049
	Cs-137		11	6	<0,0012	0,0091	<0,0038	0,0043
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	52,2	73,3	61,8	62,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	18,5	41,7	32,2	38,4
SAALE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	1,09	1,42	1,27	1,27
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,61	<4,21	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	4	0	0,0029	0,0043	0,0034	0,0055
		Camburg, km 187,0	4	0	0,0045	0,0063	0,0056	0,0053
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	9	<0,0014	<0,0033	<0,0021	<0,0021
Camburg, km 187,0		4	4	<0,0058	<0,0060	nn	nn	
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	10,2	11,2	10,8	12,3
		Camburg, km 187,0	4	0	22,2	36,9	29,4	31,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	4	0	7,44	17,0	12,3	12,6
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	9,91	20,9	17,2	19,2
PEENE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	0	0,92	1,36	1,12	1,13
	Sr-90		4	0	0,0020	0,0040	0,0029	0,0078
	Cs-137		12	8	<0,0014	0,0033	<0,0022	0,0034
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	28,2	34,1	30,6	35,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	17,6	43,1	27,9	31,2
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	10	0	1,13	1,77	1,49	1,51
	Sr-90		4	0	0,0035	0,0097	0,0062	0,0060
	Cs-137		11	0	0,0055	0,0176	0,0106	0,0118

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	2	0	11,0	35,5	23,3	40,6
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	0	1,33	1,97	1,50	1,57
	Sr-90		3	0	0,0023	0,0046	0,0036	0,0036
	Cs-137		10	0	0,0039	0,0119	0,0084	0,0104
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	19,4	43,7	32,2	33,2

Tabelle 2.2.2-3 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus Seen und Talsperren nach StrVG
(Monitoring of surface water, suspended matter, and sediment from lakes and dams in accordance with the StrVG)

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
		Nonnenhorn	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Langenargen	8	8	<0,0038	<0,0096	nn	
		Nonnenhorn	4	4	<0,0049	<0,0067	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	1	<1,56	7,11	4,48	5,10
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0053	0,0068	0,0060	0,0052
	Cs-137		4	4	<0,0053	<0,0067	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	36,7	55,6	47,5	55,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	11,2	16,0	14,7	13,3
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0107	0,0169	0,124	0,0108
	Cs-137		4	4	<0,0051	<0,0061	nn	<0,0057
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	185	269	226	226
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	3,54	56,0	19,3	2,71
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<1,92	<2,20	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0025	0,0047	0,0036	0,0035
	Cs-137		4	1	0,0014	<0,0025	0,0018	<0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	0,17	3,15	2,01	5,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	0	16,6	29,5	24,5	47,5
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<1,93	<2,20	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0030	0,0045	0,0037	0,41
	Cs-137		4	1	<0,0018	0,0034	0,0028	<0,0021

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	2,94	14,3	6,0	6,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	33,8	142	93	125
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,87	<6,47	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,014	0,021	0,017	0,019
	Cs-137		4	1	<0,0046	0,0080	0,0070	0,0085
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	8,40	10,0	9,1	14,3
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<6,7	<8,4	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0040	0,0050	0,0045	0,0049
	Cs-137		4	3	<0,0026	0,010	<0,005	<0,0038
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	23,0	26,0	24,3	25,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,82	1,0	0,9	0,7
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<5,45	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,005	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0037	<0,0070	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	18,1	20,1	19,3	18,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	5,13	20,9	15,3	20,9
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<3,99	<4,52	nn	<3,79
	Cs-137		4	3	0,0025	<0,0075	<0,0054	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	1	<0,99	7,75	5,15	18,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	2,24	9,80	5,08	12,0
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<4,24	<4,80	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0021	0,0080	0,0050	0,0048
	Cs-137		4	0	0,0064	0,0083	0,0073	0,0098
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	55,0	92,7	72,6	68
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	51,8	80,2	61,7	51,8
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	1	1,2	<1,7	1,2	<2,0
	Sr-90		4	0	0,0006	0,0036	0,0023	0,0024
	Cs-137		4	4	<0,0005	<0,0011	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	43	47	46	50
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	46	56	50	60
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	2	1,2	2,0	<1,6	<2,0
	Cs-137		4	0	0,0033	0,010	0,006	0,0079
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	3	0	280	370	320	275

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	40	290	168	183
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<2,55	<5,06	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0031	0,0031	0,0031	0,0065
	Cs-137		4	4	<0,0020	<0,0032	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0002	<0,0005	nn	<0,0003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	3	0	6,7	7,9	7,1	7,6
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	3	1,7	<3,1	<2,7	<2,3
	Cs-137		4	0	0,031	0,034	0,033	0,035
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	84	120	103	89
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<2,7	<6,2	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0055	<0,0063	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	18,9	47,2	34,3	53,9
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	3	3	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,061	0,094	0,073	0,076
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	15,5	56,2	27,6	21,8
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,0102	0,0428	0,0298	0,026
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	192	331	232	229
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	1	<0,01	0,013	0,012	<0,011
	Cs-137		4	0	0,008	0,011	0,009	0,010
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	150	210	178	164
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,006	<0,014	<0,009	<0,010
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	0	9,86	14,5	12,5	16,3
THÜRINGEN / Talsperre Schmalwasser								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Tambach- Dietharz	4	4	<3,40	<3,88	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0051	<0,0069	nn	nn

2.2.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (*Surface water and sediment from inland water in the surroundings of nuclear facilities*)

Dieser Beitrag enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen aus dem Jahr 2006 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). In die Auswertung wurden insgesamt ca. 6.380 Einzelwerte von Messungen an Wasser- und Sedimentproben einbezogen; sie erfolgte wie im vorigen Kapitel beschrieben.

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 zu 2.700 Bq/l (Ems, KKW Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber rasch wieder zurück (siehe auch Kapitel 2.2.2). 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 aus anderen Quellen nicht explizit aufzeigbar, insbesondere Sr-90 und Cs-137 als Folge des Kernwaffen-Fallouts und des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Dies gilt auch für I-131, das meist von nuklearmedizinischen Anwendungen stammen dürfte. Einzelne Bestimmungen von Pu-238 und Pu-(239+240) an Wasserproben ließen wegen der niedrigen Werte von unter 0,0002 Bq/l (Kalter Bach, FZ Rossendorf) Auswirkungen der jeweiligen Anlage im Vorfluter nicht signifikant erkennen.

In Sedimentproben – und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In einigen direkt an Ausläufen entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Co-60 gemessen: bis 18 Bq/kg TM (Weser: KKW Würgassen) und 33 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal des FZ Jülich. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 (siehe oben) waren Auswirkungen dieses Radionuklids von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzuzeigen. Für Alpha-Strahler wurden im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) etwas erhöhte Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität ($G\alpha$) mit 520 und für Am-241 mit 19 Bq/kg TM im Mittel gemessen. Andere Transurane wurden in Binnengewässern bei den wenigen durchgeführten Bestimmungen nicht nachgewiesen.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis ca. 28 Bq/l (siehe Kapitel 2.2.2). 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. 0,35 μ Sv/a. Für Kleinkinder (≤ 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,61 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 μ Sv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2% ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 18 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus der Weser (KKW Würgassen; Auslaufbauwerk) 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 μ Sv/a abschätzen. Sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 μ Sv/a.

**Tabelle 2.2.3-1 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI
(Monitoring of bodies of water in the surroundings of nuclear facilities in accordance with the REI)**

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0094	<0,0167	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0215	<0,0386	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0213	<0,0273	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0081	<0,0146	nn	nn
		vor Aare-Einmündung	4	4	<0,0201	<0,0258	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,0169	<0,0224	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	3	3	<0,359	<0,478	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	3	2	0,211	<0,576	<0,379	<0,53
	Cs-137	nach KKW Leibstadt	3	3	<0,361	<0,606	nn	<0,40
		vor Aare-Einmündung	3	0	3,62	6,89	4,98	10,9
		nach KKW Leibstadt	3	0	5,02	7,81	6,14	8,0
		vor Aare-Einmündung	3	0	2,93	5,10	4,06	4,52
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	12	12	<0,0156	<0,0339	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<0,0108	<0,0312	nn	nn
	Cs-137	Weil	12	12	<0,0143	<0,0314	nn	nn
		Neuf Brisach	12	12	<0,0105	<0,0239	nn	<0,018
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grissheim km 206,5	3	3	<0,339	<0,738	nn	nn
		Breisach, km 232,0	3	2	0,161	<0,491	<0,35	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grissheim km 206,5	3	0	1,96	3,95	2,86	2,29
		Breisach, km 232,0	3	0	3,35	4,19	3,86	7,01
RHEIN / HIRSCHKANAL / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	12	4	0,009	0,029	0,020	0,024
	Gβ		12	0	0,034	0,108	0,076	0,092
	H-3		24	13	1,00	12,1	<5,6	<5,6
	Co-60		4	4	<0,0080	<0,0181	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0064	<0,0177	nn	nn
			4	4	<0,0064	<0,0177	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	4	0	420	660	520	534
	Gβ		4	0	1000	1500	1250	1170
	Co-60		8	7	<0,532	<3,40	<1,89	nn
	Cs-137		8	0	43,7	1010	230	121
			8	2	1,33	79,6	19,3	5,6
	Am-241		8	2	1,33	79,6	19,3	5,6
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	13	3,9	<8,0	<7,1	<7,1
		Auslaufbauwerke I u. II	32	9	3,1	206	32	30,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0099	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0036	<0,032	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0081	<0,031	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	16	16	<0,0037	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	2	1	0,54	<0,627	<0,58	<1,47
		Auslaufbauwerk	3	1	0,706	1,23	0,97	1,59
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	2	0,334	<0,845	<0,64	nn
		Auslaufbauwerk	4	0	1,34	3,32	1,99	2,05
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	9,92	16,0	12,2	18,1
		Auslaufbauwerk	4	0	10,4	12,6	11,2	14,9
RHEIN / KWB Biblis								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	5	4	7,48	<9,5	<9,1	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	10	3	<9,5	217	54	45,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,020	<0,030	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	10	10	<0,018	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	5	5	<0,020	<0,025	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	10	10	<0,016	<0,050	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	1	1	<0,61	<0,61	nn	a)
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	1	0	30	30	30	
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	<5,8	15,0	<7,9	<7,1
		Auslaufbauwerk	8	4	<5,8	16,0	<8,2	7,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,010	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	6	<0,010	0,027	<0,018	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,010	<0,020	nn
Auslaufbauwerk	8	8	<0,010	<0,020	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,54	<0,58	nn	nn
		Auslaufbauwerk	2	0	1,9	3,1	2,5	16
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	12	14	13	10
		Auslaufbauwerk	2	0	5,9	8,9	7,4	10
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	3,6	<8,0	<6,5	<6,8
		Auslaufbauwerk	8	0	41,0	234	101	140
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0106	<0,042	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0159	<0,045	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0095	<0,053	nn
Auslaufbauwerk	7	7	<0,0161	<0,067	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,66	<0,74	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,53	<0,89	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	6,88	8,28	7,58	5,78
		nach Auslaufbauwerk	4	0	2,44	8,45	5,33	<6,3
NECKAR / KWO Obrigheim (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	3	<8,0	18,3	14,8	18,0
		Auslaufbauwerk	8	3	<8,0	29,0	21,0	23,9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0126	<0,018	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0083	<0,018	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0092	<0,022	nn
Auslaufbauwerk	8	8	<0,0080	<0,022	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,27	<0,78	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	3	<0,52	1,39	<0,92	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,48	1,38	0,93	0,40
		nach Auslaufbauwerk	4	0	1,17	12,9	7,0	7,1
MAIN / KKG Grafenrheinfeld								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,8	<10	nn	a)
		Auslaufbauwerk	8	0	37	250	126	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,039	<0,047	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,030	<0,048	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,040	<0,054	nn
Auslaufbauwerk	4	4	<0,038	<0,061	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<2,5	nn	a)
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<2,1	<3,3	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	18	32	26	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	21	32	27	
MAIN / Versuchsatomkraftwerk Kahl (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	5	<3,3	8,5	<5,3	<4,4
		Auslauf	7	6	<3,3	5,9	<4,7	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0082	<0,045	nn	nn
		Auslauf	7	7	<0,0094	<0,045	nn	nn
		Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0080	<0,051	nn
Auslauf	7	7	<0,010	<0,059	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<1,90	<1,90	nn	a)
		nach Auslaufbauwerk	1	1	<1,65	<1,65	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	0	8,41	8,41	8,41	
		nach Auslaufbauwerk	1	0	6,27	6,27	6,27	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
MAIN / KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächenwasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg GR) (GR= Glührückstand)			a)					
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächenwasser (Bq/l)		siehe auch Kapitel 2.2.2	a)					
Sediment (Bq/kg TM)		siehe auch Kapitel 2.2.2	a)					
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<3,6	<8,1	nn	a)
		Auslaufbauwerk I	8	0	120	200	164	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0016	<0,047	nn	
		Auslaufbauwerk I	8	4	0,0067	<0,048	<0,028	
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0015	<0,060	nn		
	Auslaufbauwerk I	8	8	<0,0021	<0,061	nn		
Sediment (Bq/kg)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,16	<0,26	nn	a)
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,14	8,1	3,0	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	78	100	88	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	20	65	43	
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<3,6	<10	nn	a)
		Auslaufbauwerk	8	0	96	400	230	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0025	<0,042	nn	
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0025	<0,039	nn	
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0040	<0,0064	nn		
	Auslaufbauwerk	4	4	<0,0042	<0,0072	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,14	<0,22	nn	a)
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,13	<0,22	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	45	59	51	
		nach Auslaufbauwerk	4	0	29	57	43	
ISAR / Forschungsneutronenquelle (FRM II) München								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	nach FRM II, km 130,3	7	7	<2,4	<10	nn	a)
	C-14		8	8	<0,16	<10	nn	
	Co-60		8	8	<0,0053	<0,050	nn	
	Cs-137		4	4	<0,0051	<0,0066	nn	
	U-235		2	2	<0,021	<0,021	nn	
	Pu-238		2	2	<0,0042	<0,0043	nn	
	Am-241		2	2	<0,0036	<0,0078	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach FRM II, km 124,6	4	4	<0,24	<0,74	nn	a)
	Cs-137		4	0	23	47	33	
	U-235		1	0	1,3	1,3	1,3	
	Pu-238		1	1	<0,22	<0,22	nn	
	Am-241		1	1	<0,44	<0,44	nn	
EMS / KKE Emsland								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	4	1,6	<10	<5	nn
		Auslaufbauwerk	7	0	910	4690	2660	1990
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0041	<0,046	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0082	<0,042	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0040	<0,0090	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	3	3	<0,0062	<0,0090	nn	nn	

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration					
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte			
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	3	3	<0,37	<0,51	nn	nn		
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	3	3	<0,57	<0,70	nn	nn		
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	3	0	20	32	26	34		
		nach Auslaufbauwerk, km 106	3	0	38	41	39	28		
WESER / KWW Würgassen (außer Betrieb)										
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn		
		Auslaufbauwerk	8	7	<10	16	<11	nn		
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0021	<0,05	nn	nn		
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0019	<0,05	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	2	2	<2,6	<2,7	nn	nn		
		Auslaufbauwerk	2	0	15	20	18	8,5		
		Wehrden, km 60,2	2	2	<2,4	<2,6	nn	nn		
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	2	0	14	23	19	12		
		Auslaufbauwerk	2	0	33	35	34	24		
		Wehrden, km 60,2	2	0	14	14	14	15		
WESER / KWG Grohnde										
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	1	1,2	14	8	nn		
		Auslaufbauwerk	7	0	38	100	61	115		
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0047	<0,037	nn	nn		
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0068	<0,045	nn	nn		
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0044	<0,0083	nn	nn		
		Auslaufbauwerk	3	3	<0,0054	<0,0084	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	3	3	<0,42	<0,57	nn	nn		
		Hameln, km 135	3	3	<0,48	<0,58	nn	nn		
	Cs-137	Grohnde, km 122	3	0	12	16	14	9		
		Hameln, km 135	3	0	14	15	15	14		
		UNTERWESER / KKK Unterweser								
		Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	3	1,7	12	6	nn
Auslaufbauwerk	7			2	4,4	30	18	<27		
Co-60	vor Auslaufbauwerk		7	7	<0,0064	<0,050	nn	nn		
	Auslaufbauwerk		7	7	<0,0064	<0,050	nn	nn		
Cs-137	vor Auslaufbauwerk		3	3	<0,0050	<0,0084	nn	nn		
	Auslaufbauwerk		3	3	<0,0044	<0,0076	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	3	0	0,54	0,62	0,58	0,75		
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	3	1	<0,25	0,59	0,44	0,44		
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	3	0	9,7	11	11	12		
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	3	0	4,3	6,9	6,0	5,3		
RUR / Forschungszentrum Jülich										
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	30	29	<10	10	<10	nn		
		Jülich-Süd	30	29	<10	11	<10	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	<2,8	<3,7	nn	nn		
		Jülich-Süd	2	2	<2,5	<2,5	nn	nn		
	Cs-137	Selhausen	2	0	16	24	20	16		
		Jülich-Süd	2	0	5,8	30	18	9		
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau										
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Retentionsanlage	8	6	<0,06	<0,15	<0,08	nn		
		Goorbach ,unterhalb der Straßenkreuzung	12	12	<0,06	<0,06	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<1,0	<2,9	nn	nn		
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<1,1	<4,5	nn	nn		
	Cs-137	Retentionsanlage	2	0	20	39	30	29		
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	22	37	30	23		

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	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	<1,2	<3,8	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,2	<3,5	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	4	0	11	31	22	25
		Ahauser Aa	4	0	29	45	35	38
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,7	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km	8	8	<5,7	<10	nn	nn
	Co-60	579,6	8	8	<0,012	<0,022	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,017	<0,033	nn	nn
	Cs-137	nach Auslaufbauwerk, km	8	8	<0,013	<0,026	nn	<0,025
		579,6	8	8	<0,019	<0,033	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,53	<0,95	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km	6	6	<0,65	<0,95	nn	nn
	Cs-137	579,6	6	6	<0,54	<0,97	nn	<0,8
		vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	5	<0,71	0,99	<0,87	<0,80
		nach Auslaufbauwerk, km						
		579,6						
ELBE / KKK Krümmel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,7	<6,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	15	<5,7	7,9	<6,4	<6,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,010	<0,022	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0066	<0,024	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,012	<0,024	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0076	<0,026	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 580	6	6	<0,14	<1,1	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582	6	6	<0,094	<1,1	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580	6	0	0,65	1,8	1,0	1,0
		nach Auslaufbauwerk, km 582	6	3	0,70	<1,2	<0,9	<0,9
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	13	<4,46	<5,8	<5,0	<5,7
		Auslaufbauwerk	16	1	<4,46	55,2	21,6	22,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,039	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,048	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,043	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,049	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,99	<1,6	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,69	<1,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	<1,0	4,1	<2,1	1,9
		nach Auslaufbauwerk	4	3	<0,74	1,5	<1,0	<1,0
ELBE / KKS Stade (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	15	0	1,5	3,25	2,5	1,8
		Auslaufbauwerk	7	1	<5,7	210	96	141
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	15	15	<0,0011	<0,0086	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0064	<0,020	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	15	7	0,0014	<0,0074	0,0026	<0,004
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,0057	<0,023	nn	<0,018
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	3	3	<0,22	<0,46	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	3	2	<0,29	0,54	<0,39	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	3	0	3,0	9,9	6,8	4,6
		nach Auslaufbauwerk, km 660	3	0	4,9	5,6	5,2	5,7

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
ELBE / KKB Brunsbüttel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<4,32	<5,8	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	21	<4,35	13,4	<6,0	<7,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0086	<0,023	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0088	<0,024	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0036	0,0054	0,0044	0,0041
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0038	0,0050	0,0043	0,0042
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	15	0,0057	<0,024	<0,016	<0,017	
	Auslaufbauwerk	24	21	0,0070	<0,025	<0,017	<0,018	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,3	<1,5	nn	nn
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	2,7	4,4	3,3	4,7
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	0	1,1	3,2	2,2	2,9
ELBE / TBL / PKA Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	7	1	1,40	<4,85	3,0	2,5
		Dömitz, km 504,4	7	3	1,80	<4,85	2,5	2,8
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	7	7	<0,0009	<0,0075	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	7	7	<0,0009	<0,0089	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	10	7	0,0002	<0,0065	<0,0030	<0,005
		Dömitz, km 504,4	10	6	0,0005	<0,0073	<0,0031	0,0007
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0006	<0,0006	nn	nn
Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	1	1	<0,0005	<0,0005	nn	nn	
	Dömitz, km 504,4	1	1	<0,0006	<0,0006	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	3	3	<0,26	<0,32	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	3	3	<0,28	<0,73	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	3	0	12	23	16	20
		Dömitz, km 504,4	3	0	7,7	25	18	20
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,093	<0,11	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,071	<0,093	nn	nn
	Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,093	<0,11	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,071	<0,0,93	nn	nn
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	24	3	<5,0	31,0	18,6	124
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<2,1	<5,7	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	24	11	0,0018	<0,011	0,004	0,0052
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,0042	<0,0043	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	11	1	0,0011	0,024	0,007	0,008
	Pu-238 Pu-(239 +240)		4	3	0,00003	<0,00006	<0,00005	nn
		4	3	<0,00006	0,00016	<0,00011	<0,0002	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	3	0	0,58	0,98	0,71	0,69
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,23	<0,23	nn	nn
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,21	<0,23	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	5,1	12,0	7,8	8,7
		Wesenitz, Dittersbach	2	0	1,8	2,6	2,2	4,1
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	0	1,2	1,7	1,5	6,7
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<5,0	<6,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<5,0	<6,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,006	<0,006	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,006	<0,007	nn	nn
	Cs-137	vor Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
Gß	vor Salzbach	12	0	0,38	0,48	0,42	0,40	
	nach Salzbach	12	0	0,42	0,58	0,49	0,47	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Belsdorf	1	1	<0,22	<0,22	nn	nn
		Schwanefeld	1	1	<0,21	<0,21	nn	nn
	Cs-137	Belsdorf	1	0	4,8	4,8	4,8	6,9
		Schwanefeld	1	0	2,7	2,7	2,7	5,4

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2006		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2006		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2006	2005
HAVEL / KKR Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	50m vor Einleitstelle	5	5	<5,0	<9,4	nn	nn
		50m nach Einleitstelle	5	5	<5,0	<9,4	nn	nn
	Co-60	50m vor Einleitstelle	16	16	<0,0014	<0,0097	nn	nn
		50m nach Einleitstelle	16	16	<0,0013	<0,0080	nn	nn
		Cs-137	50m vor Einleitstelle	16	0	0,0020	0,014	0,007
50m nach Einleitstelle	16		0	0,0030	0,0098	0,0062	0,006	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50m vor Einleitstelle	2	2	<0,11	<0,15	nn	nn
		50m nach Einleitstelle	2	2	<0,094	<0,11	nn	nn
	Cs-137	50m vor Einleitstelle	2	0	15	16	16	16,5
		50m nach Einleitstelle	2	0	3,6	3,6	3,6	3,0
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Zulaufkanal	14	13	3,0	<5,0	<4,8	<4,8
		nach Auslauf (Hafenbecken)	14	13	3,0	<5,0	<4,8	nn
	Co-60	Zulaufkanal	14	14	<0,0020	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	14	14	<0,0029	<0,049	nn	nn
	Cs-137	Zulaufkanal	14	10	0,0049	0,058	<0,040	<0,040
nach Auslauf (Hafenbecken)		14	11	<0,013	<0,060	<0,044	<0,044	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Zulaufkanal	1	1	<0,21	<0,21	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	1	1	<0,21	<0,21	nn	nn
	Cs-137	Zulaufkanal	1	0	8,0	8,0	8,0	6,0
		nach Auslauf (Hafenbecken)	1	0	7,4	7,4	7,4	3,9

a) Daten lagen nicht vor

nn nicht nachgewiesen / nachweisbar

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

In den Tabellen 2.2.4-1 bis 2.2.4-3 sind die von den Atomkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2006 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2006 insgesamt 5,2 m³ (Vorjahr: 4,3 m³) Abwasser abgeleitet (Tabelle 2.2.4-4).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken (Tabelle 2.2.4-1) 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 0,6 GBq bzw. 3,1 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 187 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 6 TBq.

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

Tabelle 2.2.4-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2006 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water form nuclear power plants in Germany in the year 2006 - summation values, tritium and alpha sources)

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

1) Anlage stillgelegt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 2.2.4-2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2006)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	α -Strahler
	Aktivität in Bq		
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	2,0 E07	1,6 E12	1,3 E06
Jülich	8,2 E07	6,6 E11	
GKSS Geesthacht	2,3 E07	3,6 E08	2,6 E04
HMI Berlin	1,3 E05	5,1 E08	
Garching FRM I			
Garching FRM II	5,8 E07	2,6 E09	
Rosendorf	4,4 E06	1,8 E09	1,5 E05

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 2.2.4-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2006
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2006)

Betrieb	α -Strahler
	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH ^{a)}	
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung ^{a)} Betriebsteil Uran-Verarbeitung ^{a)}	
ANF GmbH (Lingen)	nn
URENCO (Gronau)	2,3 E03

^{a)} Anlagen im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen, damit endet die Berichterstattung über radioaktive Ableitungen

nn nicht nachgewiesen

Tabelle 2.2.4-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2006 (Vorjahreswerte in Klammern)
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben in the year 2006 - values of 2005 in brackets)

Radionuklid	Aktivitätsabgabe in Bq
Tritium	4,0 E 05 (1,6 E 04)
Nuklidgemisch (außer Tritium)	8,4 E 02 (2,9 E 03)

2.3 Böden (Soil)

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

Zur Ermittlung radioaktiver Kontamination von als Weiden und Wiesen genutzten Böden werden jährlich Messungen durchgeführt. Diese Messwerte sind in Tabelle 2.3.1-1 zusammengefasst. In Tabelle 2.3.1-2 sind entsprechende Werte für Ackerböden und in Tabelle 2.3.1-3 für Waldböden wiedergegeben. Für nicht genannte Bundesländer liegen jeweils keine vergleichbaren Daten vor.

In Tabelle 2.3.1-4 sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in den Tabellen 2.3.1-5 und 2.3.1-6 zusammengestellt. In Tabelle 2.3.1-7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 2.3.1-5 bis 2.3.1-7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

**Tabelle 2.3.1-1 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)**

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-Württemberg	2004	0 - 10	14	42,2	118,0	10	2,1	5,4
	2005	0 - 10	12	35,7	116,0	7	2,5	6,9
	2006	0 - 10	11	41,8	121,6	7	1,4	3,0
Bayern	2004	0 - 10	18	101,4	425,0	17	1,7	4,3
	2005	0 - 10	19	87,1	358,0	17	5,8	10,6
	2006	0 - 10	19	91,0	304,3	17	4,7	9,1
Berlin	2004	0 - 10	4	11,3	15,8	1	2,6	-
	2005	0 - 10	4	14,8	21,0	1	2,0	-
	2006	0 - 10	4	9,1	18,1	1	0,7	-
Brandenburg	2004	0 - 10	15	14,2	47,8	6	1,8	2,7
	2005	0 - 10	7	17,9	58,0	2	2,5	2,6
	2006	0 - 10	7	24,3	69,0	4	3,8	7,6
Bremen	2004	0 - 10	1	7,6	-	1	4,9	-
	2005	0 - 10	1	23,5	-	1	1,2	-
	2006	0 - 10	1	5,5	-	1	0,5	-
Hamburg	2004	0 - 10	2	5,8	7,2	1	1,0	-
	2005	0 - 10	1	10,1	-	-	-	-
	2006	0 - 10	1	8,9	-	-	-	-
Hessen	2004	0 - 10	5	20,0	35,7	3	2,8	5,3
	2005	0 - 10	2	23,1	28,9	-	-	-
	2006							
Mecklenburg-Vorpommern	2004	0 - 10	8	17,2	61,8	4	0,6	0,8
	2005	0 - 10	8	20,0	83,1	4	0,7	0,8
	2006	0 - 10	2	13,7	15,2	-	-	-

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Niedersachsen	2004	0 - 10	9	30,7	69,1	4	2,5	3,2
	2005	0 - 10	13	28,8	71,5	4	9,1	17,6
	2006	0 - 10	9	31,0	127,0	4	2,4	3,1
Nordrhein-Westfalen	2004	0 - 10	20	16,6	68,9	5	<5,4	22,4*
	2005	0 - 10	20	<11,7	29,3	6	4,1	17,8*
	2006	0 - 10	20	12,8	30,8	5	1,9	5,5
Rheinland-Pfalz	2004	0 - 10	6	16,2	23,9	2	0,8	0,9
	2005	0 - 10	7	21,2	26,4	4	1,3	1,7
	2006	0 - 10	8	19,3	27,9	3	1,3	1,8
Saarland	2004	0 - 10	3	14,3	24,1	2	1,8	2,2
	2005	0 - 10	2	14,3	20,8	2	1,7	1,8
	2006	0 - 10	2	11,7	14,8	2	14,6	18,6
Sachsen	2004	0 - 10	6	16,1	44,7	5	1,3	2,6
	2005	0 - 10	6	13,9	34,8	5	1,2	2,6
	2006	0 - 10	6	15,1	38,4	5	1,1	2,1
Sachsen-Anhalt	2004	0 - 10	4	9,3	15,0	a)		
	2005	0 - 10	1	15,4	-	a)		
	2006	0 - 10	1	36,6	-	a)		
Schleswig-Holstein	2004	0 - 10	7	14,4	21,5	5	1,6	1,6
	2005	0 - 10	8	16,3	28,0	6	1,3	2,0
	2006	0 - 10	8	15,5	27,1	6	1,3	2,1
Thüringen	2004	0 - 10	6	22,9	35,4	3	1,8	1,9
	2005	0 - 10	6	24,7	37,7	3	1,2	1,7
	2006	0 - 10	6	24,8	32,0	3	1,6	1,8

a) Messwerte lagen nicht vor

* Der Sr-90-Wert ist nicht repräsentativ für die Gesamtmessung in diesem Bereich

Mittelwert ohne diesen Wert <1,2 Bq/kg TM; höchster Wert 3,5 Bq/kg TM 2004

Mittelwert ohne diesen Wert 1,4 Bq/kg TM; höchster Wert 3,8 Bq/kg TM 2005

- Messung / Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 2.3.1-2 Radioaktive Kontamination von Ackerböden
(Radioactive contamination of arable soil)**

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-Württemberg	2004	0 - 30	10	25,9	95,3	a)		
	2005	0 - 30	11	25,1	78,5	a)		
	2006	0 - 30	8	26,4	96,0	1	3,5	-
Bayern	2004	0 - 30	26	29,1	195,0	3	2,7	6,4
	2005	0 - 30	25	25,9	147,0	3	2,8	5,8
	2006	0 - 30	25	28,5	179,9	3	5,6	12,1
Berlin	2004	0 - 30	1	8,7	-	1	2,1	-
	2005	0 - 30	2	7,7	9,2	1	1,3	-
	2006	0 - 30	2	6,9	7,9	1	0,7	-

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Brandenburg	2004	0 - 30	9	11,2	32,0	2	1,0	1,5
	2005	0 - 30	9	11,3	28,0	3	0,8	1,5
	2006	0 - 30	9	8,9	21,0	3	0,6	0,9
Bremen	2004	0 - 30	2	4,1	4,4	1	1,4	-
	2005	0 - 30	2	7,4	10,6	1	0,7	-
	2006	0 - 30	2	5,0	8,2	1	1,1	-
Hamburg	2004	0 - 30	1	7,8	-	1	1,1	-
	2005	0 - 30	1	7,6	-	1	0,9	-
	2006	0 - 30	1	7,1	-	1	0,9	-
Hessen	2004	0 - 10	7	11,1	20,9	2	1,2	1,5
	2005	0 - 30	6	10,6	18,3	2	1,3	1,5
	2006	0 - 30	6	11,0	20,4	2	0,7	1,2
Mecklenburg-Vorpommern	2004	0 - 30	7	9,1	19,7	2	0,9	1,0
	2005	0 - 30	7	11,1	26,9	2	1,0	1,4
	2006	0 - 30	7	9,5	17,5	2	1,1	1,9
Niedersachsen	2004	0 - (25/30)	24	<10,8	50,0	9	2,8	4,1
	2005	0 - (25/30)	27	11,4	37,8	7	3,7	13,5
	2006	0 - (25/30)	22	13,0	53,9	10	1,3	2,1
Nordrhein-Westfalen	2004	0 - 30	20	<10,8	53,9	5	1,6	4,9
	2005	0 - 30	19	8,9	20,9	5	1,1	2,6
	2006	0 - 30	20	8,8	16,4	5	2,0	5,5
Rheinland-Pfalz	2004	0 - (25/30)	6	8,3	17,2	2	0,9	1,1
	2005	0 - (25/30)	6	8,3	16,0	2	1,3	1,8
	2006	0 - (25/30)	7	8,7	17,3	3	0,5	0,5
Saarland	2004	a)				a)		
	2005	0 - 30	1	10,2	-	a)		
	2006	0 - 30	1	8,6	-	a)		
Sachsen	2004	0 - 30	6	9,3	21,4	a)		
	2005	0 - 30	6	9,4	21,2	a)		
	2006	0 - 30	6	8,5	19,6	a)		
Sachsen-Anhalt	2004	0 - 30	13	22,1	111,0	5	1,1	2,0
	2005	0 - 30	12	12,9	48,1	5	0,5	0,8
	2006	0-30	13	12,4	25,7	5	<0,6	0,9
Schleswig-Holstein	2004	0 - 30	5	7,2	12,0	a)		
	2005	0 - 30	5	8,5	11,1	a)		
	2006	0 - 30	5	8,0	11,9	a)		
Thüringen	2004	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,2	1,3
	2005	0 - 30	6	9,9	14,7	2	1,3	1,3
	2006	0 - 30	7	10,3	16,1	2	1,2	1,2

a) Messwerte lagen nicht vor

- Messung/Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 2.3.1-3 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)**

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Hessen	2004	0 - 10	4	49,0	86,9	2	2,8	5,0
	2005	0 - 10	4	35,8	60,6	2	2,8	4,7
	2006	0 - 10	3	17,4	33,7	1	0,8	
Niedersachsen	2004	0 - 10	2	180,0	343,0	a)		
	2005	0 - 10	2	95,8	170,0	a)		
	2006	0 - 10	2	22,0	23,1	a)		
Nordrhein-Westfalen	2004	0 - 10	6	64,3	206,0	a)		
	2005	0 - 10	6	46,7	138,0	a)		
	2006	0 - 10	6	63,5	204,0	a)		

a) Messwerte lagen nicht vor

**Tabelle 2.3.1-4 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs
(Radioactive contamination of pasture and meadow vegetation)**

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM, ab 2005 Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-Württemberg	2004	20	<1,8	7,2	10	1,8	3,7
	2005	19	<0,6	7,7	8	0,4	1,1
	2006	17	<0,5	1,6	8	0,7	1,9
Bayern	2004	79	<3,2	29,1	30	1,9	4,9
	2005	71	<1,1	15,6	26	0,6	1,6
	2006	89	<0,9	15,2	33	0,7	1,7
Berlin	2004	2	<1,5	2,6	1	0,5	-
	2005	2	0,8	1,1	1	0,6	-
	2006	2	0,5	0,8	1	0,2	-
Brandenburg	2004	23	2,9	11,0	8	1,6	3,2
	2005	16	<0,7	4,0	5	0,4	0,6
	2006	17	<2,0	17,0	8	0,5	1,2
Bremen	2004	2	<1,6	2,6	1	3,7	-
	2005	2	0,7	1,4	1	0,08	-
	2006	2	0,3	0,4	1	0,7	-
Hamburg	2004	2	1,0	1,0	1	2,1	-
	2005	1	<0,2	-	a)		
	2006	1	0,2	-	a)		
Hessen	2004	5	<1,7	4,5	3	3,6	5,9
	2005	15	<0,4	2,0	8	0,6	1,1
	2006	15	<0,5	2,3	8	0,6	1,0
Mecklenburg-Vorpommern	2004	25	<3,2	32,6	12	1,3	3,4
	2005	25	<0,5	4,3	12	0,2	0,4
	2006	25	<0,4	7,6	12	0,2	0,4

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM, ab 2005 Bq/kg FM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Nieder-sachsen	2004	41	<4,0	61,8	20	2,3	3,1
	2005	56	<1,4	13,0	20	0,4	1,7
	2006	39	< 0,7	6,2	20	0,2	0,5
Nordrhein-Westfalen	2004	22	<1,1	2,8	9	1,4	3,7
	2005	19	<0,2	0,5	8	0,6	2,6
	2006	21	<0,3	0,5	9	0,2	0,3
Rheinland-Pfalz	2004	7	<0,4	<0,6	3	1,3	1,8
	2005	8	<0,4	1,0	5	0,5	0,8
	2006	9	<0,2	0,4	4	0,5	1,1
Saarland	2004	2	<0,2	<0,2	1	2,4	
	2005	2	<0,2	<0,2	1	0,2	
	2006	2	<0,2	<0,2	1	0,2	
Sachsen-Anhalt	2004	18	<0,8	3,5	7	1,2	2,3
	2005	14	<0,4	2,0	7	0,2	0,4
	2006	14	< 0,4	1,8	7	0,4	0,9
Sachsen	2004	20	<1,5	8,8	10	1,3	2,5
	2005	20	<0,6	10,3	10	0,3	0,5
	2006	20	<0,4	3,3	10	0,2	0,5
Schleswig-Holstein	2004	20	<1,0	2,9	10	2,2	3,4
	2005	21	<0,2	0,5	11	0,4	0,6
	2006	21	<0,2	0,5	11	0,4	0,7
Thüringen	2004	12	<0,6	1,7	6	1,7	2,5
	2005	12	<0,1	0,3	6	0,3	0,4
	2006	12	<0,2	0,7	6	1,4	2,6

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2.3.1-5 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Mais u. Maissilagen	2004	245	<0,5	5,3	1	<0,03	
	2005	251	<0,5	6,6	1	0,02	
	2006	256	<0,5	6,8	1	0,04	
Futterrüben	2004	39	<1,1	24,9	-		
	2005	27	<0,4	1,1	-		
	2006	37	<1,1	25,7	-		
Futtergetreide	2004	140	<0,3	1,6	-		
	2005	147	<0,2	0,9	-		
	2006	141	<0,2	1,1	-		

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Futterkartoffeln	2004	82	<0,4	2,8	-		
	2005	70	<0,5	3,6	-		
	2006	76	<0,4	1,6	-		
Erbsen	2004	2	<0,2	<0,2	1	0,7	
	2005	4	<0,2	<0,2	-		
	2006	3	<0,3	0,7	-		
Raps	2004	4	<0,2	<0,3	-		
	2005	7	<0,3	0,5	-		
	2006	22	<0,2	0,7	-		
Ölkuchen/ Ölschrote	2004	1	<1,3	-	-		
	2005	3	<0,3	0,3	-		
	2006	5	<0,3	0,4	-		

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	Max. Wert
Futtergetreide	2004	6	<0,23	0,13
	2005	8	<0,15	<0,24
	2006	8	<0,21	<0,5
Mais, Maisprodukte	2004	24	<0,25	0,93
	2005	19	<0,20	<0,68
	2006	17	<0,21	0,5
Heu, Cobs	2006	5	<0,5	<0,6
Maniok, Tapioka	2004	5	<0,3	<0,4
	2005	2	<0,2	<0,3
	2006	a)		
Ölkuchen, Ölschrote	2004	82	<0,4	1,2
	2005	75	<0,4	1,0
	2006	91	<0,3	1,3
Erbsen	2004	2	<0,2	<0,3
	2005	a)		
	2006	a)		
Leguminosen, Lupinen	2004	1	0,5	
	2005	2	<0,6	0,6
	2006	a)		
Fischmehl	2004	1	<0,15	
	2005	1	0,3	
	2006	1	0,2	

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	Max. Wert
Kraffttermischung	2006	2	1,3	2,4
Tiernebenprodukte	2004	2	<0,14	<0,15
	2005	a)		
	2006	a)		
Kartoffeleiweiß	2005	2	<0,21	0,35
	2006	a)		
Molkenpulver	2004	2	<0,3	0,3
	2005	1	0,5	
	2006	1	<0,3	
Citrustrester	2004	8	<0,08	1,1
	2005	7	<0,3	<0,3
	2006	1	<0,2	

- a Messwerte lagen nicht vor
 - Messung/Angabe nicht erforderlich

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

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	Max. Wert
Blätter	2004	109	< 9,3	72,0
	2005	114	< 15,9	665,7
	2006	109	< 13,4	632,0
Nadeln	2004	53	< 39,4	831,0
	2005	55	< 44,0	751,0
	2006	51	< 50,1*	1.398,0**
Gras	2004	108	< 14,2	303,0
	2005	113	< 18,6	364,0
	2006	106	< 20,8*	759,0**
Farne (Thüringen)	2004	2	107,8	214,0
	2005	3	< 203,1	607,0
	2006	2	239,6	466,0

* Der Wert ist nicht repräsentativ für die Gesamtmessung in diesem Bereich

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln <23,1

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Gras <10,6.

** Der Wert ist nicht repräsentativ

2.3.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities)

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation in Bezug auf Radioaktivität im Boden nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 2.3.2-1 und 2.3.2-2 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.3.2-1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of the soil in the vicinity of nuclear power plants)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	5	11,4	8	9,2	a)	
	Pu-238	4	0,11	7	<0,87	a)	
	Pu-(239+240)	4	<0,08	7	<0,57	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	8	9,8	8	8,3	4	11,0 (8,9-13,0)
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	10,8	8	10,4	4	8,0 (2,9-13,0)
KKP Philippsburg	Cs-137	6	10,3	8	14,6	4	17,3 (12,0-22,0)
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	25,1	8	24,3	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	11,1	4	10,8	a)	
TRIGA Heidelberg	Cs-137	2	b)13,6;16,5	2	b)14,9;15,6	1	15,3
BAYERN							
VAK Kahl	Cs-137	2	9,8	2	25,0	2	8,6 (5,3-11,9)
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	38,2	10	41,0	8	29,5 (18,4-46,3)
KKI Isar	Cs-137	12	56,8	12	42,8	12	40,8 (10,0-72,0)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	7,6	10	6,4	10	5,5 (3,5-8,2)
Forschungsreaktor München	Cs-137	2	110,0	4	19,8	4	52,6 (25,0-83,6)
Framatome ANP Erlan- gen KWU	Cs-137	4	21,7	4	15,7	4	22,8 (15,7-40,2)
	Pu-238	1	0,08	2	0,23	2	b) 0,05;0,23
	Pu-(239+240)	4	0,18	2	1,7	4	<0,09 (<0,07-0,12)
	U-235	4	0,41	4	<1,45	4	<0,43 (0,4-<0,5)
	U-238	4	9,1	4	21,2	4	6,8 (4,9-8,9)
	Am-241	4	<0,12	4	<0,28)	4	<0,07 (<0,06-<0,07)
Framatome ANP Karl- stein KWU	Cs-137	2	17,5	1	7,0	2	12,9 (9,3-16,5)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SBWK Karlstein	Pu-238	2	<0,08	1	<0,036	2	<0,1 (<0,07-0,13)
	Pu-(239+240)	2	<0,14	1	<0,051	2	<0,14 (<0,13-0,15)
	U-235	2	0,26	1	0,21	2	0,33 (0,18-0,48)
	U-238	2	5,4	1	5,9	2	7,0 (5,3-8,7)
	Gesamt- α	a)		a)		a)	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	8	13,6	8	17,2	9	13,1 (4,7-19,2)
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	9,7	16	6,5	8	8,4 (1,6-15,0)
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	10	7,5	10	8,8	4	6,8 (6,4-7,2)
Nuklearbetriebe Hanau	Gesamt- α	8	250	4	310	a)	
	Asche	a)		a)		a)	
	Rest- β Asche	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240) Asche	4	0,15	2	<0,07	a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	19	9,3	8	4,2	6	5,6 (0,2-11,7)
	U-235	a)		a)		a)	
Zwischenlager Nord	Cs-137	28	<7,1	24	<4,6	18	<5,2 (<0,6-12,3)
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	14	9,7	14	9,5	8	10,8 (3,9-25,0)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	12	19,3	12	21,1	12	16,9 (5,5-40,5)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	10	14,9	10	10,5	10	11,0 (6,5-15,2)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKE Emsland	Cs-137	10	18,2	10	15,1	10	13,8 (8,1-25,0)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	26	29,5	26	31,5	26	27,3 (12,3-55,0)
	Sr-90	4	1,4	4	2,6	3	3,0 (1,0-4,0)
	Pu-238	2	0,08	2	<0,12	2	<0,08 (<0,08-<0,08)
	Pu-(239+240)	2	<0,08	2	<0,12	2	<0,07 (<0,07-<0,08)
FMRB Braunschweig	Cs-137	8	13,4	4	16,4	a)	
	Gesamt- α	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II c)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	12	13,2	12	8,5	a)	
	U-234	a)		a)		a)	
	U-235	a)		a)		a)	
	U-238	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137			4	9,7	a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	10	9,8	10	7,7	10	7,0 (4,1-11,6)
	Sr-90	6	1,0	6	1,2	6	1,4 (0,8-3,1)
KWW Würgassen	Cs-137	19	15,2	20	19,3	20	19,4 (6,8-83,5)
THTR Uentrop	Cs-137	8	12,7	8	20,5	8	32,9 (8,2-126,0)
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	6	10,9	5	8,2	5	9,5 (6,1-16,0)
	Sr-90	5	0,5	5	0,6	5	0,4 (0,3-0,7)
UAG Gronau	U-238	10	<0,2	10	<0,2	a)	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	5	14,9	4	7,4	4	10,3 (6,2-14,0)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)		a)	
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	16	8,3	16	6,6	16	8,2 (2,6-13,0)
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	8	9,5	7	7,5	8	7,9 (3,4-11,0)
	Sr-90	4	0,3	4	0,2	4	0,3 (0,2-0,4)
	Gesamt-β	4	620	4	620	4	605 (560-650)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	10	12,0	5	12,9	10	11,8 (5,7-20,5)
	Sr-90	2	0,3	1	0,4	2	0,4(0,3-0,4)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	30,5	6	20,4	8	25,9 (14,0-44,7)
	Sr-90	2	b)0,8;4,7	2	b)0,9;3,3	2	b) 0,9;3,9
KKK Krümmel	Cs-137	12	6,6	6	6,6	12	6,4 (4,5-8,6)
	Sr-90	6	0,8	3	0,5	6	0,6 (0,5-0,8)
KBR Brokdorf	Cs-137	16	17,1	8	15,1	16	<17,4 (<1,4-33,0)
	Sr-90	8	2,0	4	2,1	8	1,9 (0,7-3,1)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte

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

Tabelle 2.3.2-2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of vegetation in the vicinity of nuclear power plants)

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM				Aktivität in Bq/kg FM	
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	6	0,8	6	1,4	a)	
	Pu-238	4	<0,02	4	<0,03	a)	
	Pu-(239+240)	4	<0,02	4	<0,04	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	8	<0,8	8	<0,7	4	<0,2 (0,07-<0,3)*
GKN Neckarwestheim	Cs-137	4	0,6	8	<0,4	4	<0,11 (0,02-<0,23)*
KKP Philippsburg	Cs-137	6	1,3	8	1,9	4	<0,12 (<0,08-0,2)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	2,3	8	2,9	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	0,5	4	0,7	a)	
TRIGA Heidelberg	Cs-137	2	b)0,1; 0,5	2	b)1,6; 0,7	a)	
BAYERN							
VAK Kahl	Cs-137	2	<0,2	2	<0,26	2	0,06 (0,04-0,09)*
KRB Gundremmingen	Cs-137	10	<1,1	10	<1,7	8	<0,35 (0,09-1,21)
KKI Isar	Cs-137	12	4,2	12	1,13	12	0,42 (0,08-1,14)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	10	<0,6	10	<0,49	10	<0,31 (<0,09-<0,82)
Forschungsreaktor München	Cs-137	4	0,9	4	8,8	4	0,82 (0,10-1,50)
Framatome ANP Erlan- gen KWU	Cs-137	4	<1,2	4	<1,53	4	<1,17 (<0,16-3,7)
	Pu-238	a)		2	<0,03	2	<0,03 (<0,03 -<0,04)
	Pu-(239+240)	2	<0,09	2	<0,04	4	<0,05 (<0,03 -<0,09)
	U-235	a)		4	<0,03	4	<0,06 (<0,02-<0,09)
	U-238	a)		4	0,24	4	<0,05 (<0,04-<0,07)
	Am-241	a)		4	<0,04	4	<0,04 (<0,02-<0,05)
Framatome ANP Karl- stein KWU	Cs-137	2	b)<0,4; 0,5	1	<0,38	2	<0,4 (<0,4-0,4)*
	Pu-238	1	<0,1	1	<0,094	2	<0,06 (<0,05-<0,07)*
	Pu-(239+240)	1	<0,1	1	<0,1	2	<0,09 (<0,08-<0,11)*
	U-235	a)		1	<0,053	2	<0,04 (<0,02-<0,05)*
	U-238	a)		1	0,039	2	<0,06 (<0,05-<0,06)*
	Am-241	a)		1	<0,016	2	<0,05 (<0,05-<0,05)*
SBWK Karlstein	Gesamt- α	a)		a)		a)	

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM				Aktivität in Bq/kg FM	
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	8	<1,9	8	<2,1	8	<0,54 (0,10-1,20)
						1	0,15
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	8	3,0	8	3,5	8	1,09 (0,09-6,3)*
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,4	10	<0,4	4	<0,29 (0,08-<0,47)*
Nuklearbetriebe Hanau	Gesamt- α	2	450	2	<98	a)	
	Asche					a)	
	Rest- β Asche	a)		a)		a)	
	Pu-(239+240) Asche					a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	14	<2,9	8	<2,2	10	<0,29 (<0,07-0,84)
Zwischenlager Nord	Cs-137	24	<1,2	24	<0,8	18	<0,32 (0,2-0,96)*
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	14	<0,6	14	<0,8	8	<0,12 (<0,01-0,23)
KKU Unterweser	Cs-137	12	<0,6	12	<0,9	12	<0,11 (0,01-0,36)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	10	<0,4	10	<1,1	10	<0,53 (0,04-3,21)
Zwischenlager Grohnde	Cs-137	6	0,8	10	d)<2,6	1	1,88
KKE Emsland	Cs-137	10	1,2	10	<1,2	10	0,58 (0,07-2,10)
Zwischenlager Lingen	Cs-137	6	<1,2	8	d)<2,8	a)	
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	20	20,7	20	<9,2	20	<2,36 (<0,04-9,70)
	Sr-90	4	8,7	4	7,7	4	2,21 (0,64-3,9)
FMRB Braunschweig	Cs-137	4	2,2	2	1,1	a)	
Schacht Konrad II c)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
	Gesamt- α	a)		a)		a)	
Advanced Nuclear Fuels Lingen	Cs-137	4	0,7	4	0,9	a)	
	Pu-238 d)	1	<0,01	1	<0,01	a)	
	Pu-(239+240)d)	1	<0,01	1	<0,01	a)	
	U-234 d)	1	0,065	2	b)0,028; 0,085	1	0,03
	U-234	4	<0,08	4	0,44		
	U-235 d)	1	0,003	2	b)0,002;<0,012	1	<0,009

LAND / Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg TM				Aktivität in Bq/kg FM	
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Forschungsbergwerk Asse	U-235	4	<0,02	4	<0,03	1	<0,03
	U-238 d)	1	0,059	2	b)0,028; 0,067		
	U-238	4	<0,10	4	0,44		
	Cs-137			4	<0,2	a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	10	<0,3	8	<0,3	9	<0,63 (0,06-4,0)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWW Würgassen	Cs-137	12	<0,8	10	<0,5	10	<0,14 (0,02-<0,3)*
	Sr-90	a)		a)		a)	
THTR Uentrop	Cs-137	8	<1,2	8	<1,0	8	<0,49 (<0,04-2,28)*
	Sr-90	a)		a)		a)	
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	10	<0,9	9	<1,6	10	0,28 (0,04-1,1)*
	Sr-90	8	1,6	8	1,0	9	0,32 (0,11-0,55)*
UAG Gronau	U-238	4	<0,3	6	<0,4	a)	
	Uran	13	<0,23	12	<0,39	12	<0,19 (0,05-<0,23)*
	Fluor (mg/kg TM)	13	1,5	12	<1,8	12	<2,0 (<1,5-3,7)
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,5	4	<0,5	4	<0,37 (0,11-0,67)
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)		a)	
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	16	<1,5	16	<1,5	16	<0,24 (0,06-0,5)*
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	8	<1,2	8	<0,6	8	<0,3 (<0,10-<0,53)
	Gesamt-β	4	1.050	4	1150	4	270 (220-330)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	8	2,8	4	1,0	8	<0,25 (<0,17-0,4)
KKB Brunsbüttel	Cs-137	8	0,4	4	<0,2	8	<0,08 (0,04 -0,12)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKK Krümmel	Cs-137	8	<0,4	4	0,6	8	<0,12 (0,03 -0,23)
	Sr-90	6	2,4	3	2,2	6	0,43 (0,32 -0,6)
KBR Brokdorf	Cs-137	14	<0,8	6	0,9	14	<0,17 (0,04-0,44)
	Sr-90	a)		a)		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) Bq/kg Feuchtmasse (FM)

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

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

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

Allgemeine Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Grund- und Trinkwasser sind in Teil A - II - 2.4 enthalten.

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Jahr 2006 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.1-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Kalium-40, Cäsium-137, Strontium-90 und Tritium.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 42 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen fast alle unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,48 mBq/l bis 12 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der tatsächlich gemessene Wert liegt bei 4,0 mBq/l (2005: 2,2 mBq/l bis 46 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt <4,5 mBq/l (2005: <4,5 mBq/l).

In 33% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,33 mBq/l bis 24 mBq/l (2005: 0,041 bis 24 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 1,4 mBq/l (2005: <1,2 mBq/l).

In sieben Proben wurde Tritium mit Werten von 0,99 Bq/l bis 2,0 Bq/l bestimmt, die gefundenen Nachweisgrenzen liegen zwischen 1,2 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

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

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

Für Cäsium-137 liegen fast alle Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,11 mBq/l bis 12 mBq/l, der tatsächlich gemessene Wert liegt bei 42 mBq/l (2005: 0,2 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <6,3 mBq/l (2005: <6,2 mBq/l).

In 49% der untersuchten Proben konnte Strontium-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,85 mBq/l und 11 mBq/l (2005: 0,48 und 18 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 4,0 mBq/l (2005: <4,0 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.

Im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser wurden 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. Konzentrationen von Plutoniumisotopen konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr gering. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 42 mBq/l und Sr-90 11 mBq/l zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter für den Erwachsenen Ingestionsdosen von 0,00038 bzw. 0,00021 (2005: 0,000018 bzw. 0,00035) Millisievert pro Jahr.

Tabelle 2.4.1-1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser in Deutschland im Jahr 2006
(*General monitoring of groundwater and drinking water in Germany in the year 2006*)

	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^{a)}	Maximal- wert ^{a)}	Mittel- einzel- wert ^{a)}	Median
Grundwasser (mBq/l)							
	K-40	84	33	26	760	200	120
	Cs-137	84	83			4,0	<4,5
	Sr-90	42	28	0,33	24		<1,4
	H-3	16	9	990	2.000		<1.900
Trinkwasser (mBq/l)							
Rohwasser	K-40	112	55	12	20.000	470	<130
	Cs-137	116	111	0,24	8,0		<5,9
	Sr-90	57	31	0,037	18		4,0
	H-3	7	7				<10.000
Reinwasser	K-40	234	118	14	6.200		140
	Cs-137	234	233			42	<6,3
	Sr-90	67	34	0,85	11		4,0
	H-3	12	12				<2.100

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

2.4.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (*Groundwater and drinking water from the surroundings of nuclear facilities*)

Die von den amtlichen Messstellen der Länder nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen im Jahr 2006 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.2-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Co-60, Cs-137, Sr-90 und Tritium, sowie – wenn vorhanden – Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 150 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen drei Messwerte über den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,37 mBq/l bis 63 mBq/l. (2005: 0,10 bis 60 mBq/l). Die Messwerte reichen von 9,8 mBq/l bis 15 mBq/l, der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <21 mBq/l (2005: <19 mBq/l).

Die Werte für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (79% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 2,5 mBq/l und 13 mBq/l (2005: 0,95 bis 10 mBq/l). Der Median liegt bei 4,6 mBq/l (2005: 5,3 mBq/l).

Die berichtete Gesamt- α -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,024 Bq/l und 0,048 Bq/l (2005: 0,026 bis 0,14 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von <0,07 Bq/l (2005: <0,06 Bq/l).

Die Rest- β -Aktivitätskonzentration wurde in 35 Proben gemessen. Fünf Werte lagen mit 0,043 bis 0,088 Bq/l über den gefundenen Nachweisgrenzen (2005: alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze). Der Median aller Werte beträgt <0,10 Bq/l (2005: < 0,10 Bq/l).

In 17% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 0,92 Bq/l bis 170 Bq/l nachgewiesen (2005: 1,8 Bq/l bis 190 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <7,3 Bq/l (2005: < 5,0 Bq/l). Einzelwerte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Werten im Niederschlag, die zwischen 1 und 2 Bq/l liegen.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen von 66 bis 170 Bq/l (2005: bis 190 Bq/l) wurden an einer Probenentnahmestelle auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich gemessen. Auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Rossendorf lagen die Werte bei bis zu 45 Bq/l. Bei diesen Stichproben wurden auch Kobalt-60-Kontaminationen von bis zu 0,066 Bq/l (2005: 0,12 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- 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 H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5 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 2006 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 21 Reinwasser- und 35 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

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

Für Cs-137 wurden keine Messwerte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,2 mBq/l bis 53 mBq/l (2005: 0,1 mBq/l bis 60 mBq/l) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <11 mBq/l (2005: <11 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Sr-90 liegen zwischen 0,36 mBq/l und 4,2 mBq/l (2005: 0,21 bis 3,7 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 4,2 mBq/l (2005: 0,98 mBq/l).

In 4 von 68 gemessenen Proben wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 6,1 Bq/l und 62 Bq/l (2005: 1,9 bis 53 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <6,4 Bq/l (2005: <5,9 Bq/l). Die über den derzeitigen Werten im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zu erklären, das durch H-3-Emissionen aus dem Abwasser kerntechnischer Anlagen beeinflusst 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 lediglich 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 sehr gering.

Tabelle 2.4.2-1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen in Deutschland im Jahr 2006
(Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in Germany in the year 2006 - groundwater and drinking water)

	Nuklid	Anzahl gesamt ^{b)}	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^{a)}	Maximal- wert ^{a)}	Mittel- wert ^{a)}	Mediane
Grundwasser (Bq/l)							
	K-40	141	94	0,0098	2,3		<0,46
	Co-60	417	406	0,008	0,066		<0,031
	Cs-137	248	245	0,0098	0,015		<0,021
	H-3	428	354	0,92	170		<7,3
	Sr-90	19	4	0,0025	0,013	0,0062	0,0046
	R-Beta	35	30	0,043	0,088		<0,1
	G-Alpha	37	31	0,024	0,048		0,07
Trinkwasser (Bq/l)							
Rohwasser							
	K-40	75	55	0,025	0,90		<0,42
	Co-60	104	104				<0,022
	Cs-137	90	90				<0,018
	H-3	109	94	1,1	11		<5,0
	Sr-90	19	13	0,00032	0,02		<0,02
	R-Beta	6	3	0,061	0,095		<0,075
	G-Alpha	6	0	0,023	0,065	0,037	0,028
Reinwasser							
	K-40	60	50	0,045	0,5		<0,18
	Co-60	60	60				<0,013
	Cs-137	60	60				<0,011
	H-3	68	64	6,1	62		<6,4
	Sr-90	13	8	0,00036	0,0042		0,0042

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

2.4.3 Milch und Milchprodukte
(Milk and milk products)

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2005 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

In Tabelle 2.4.3-1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erscheint. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 2.4.3-1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich durchgeführt wurden. Abbildung 2.4.3-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2006.

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

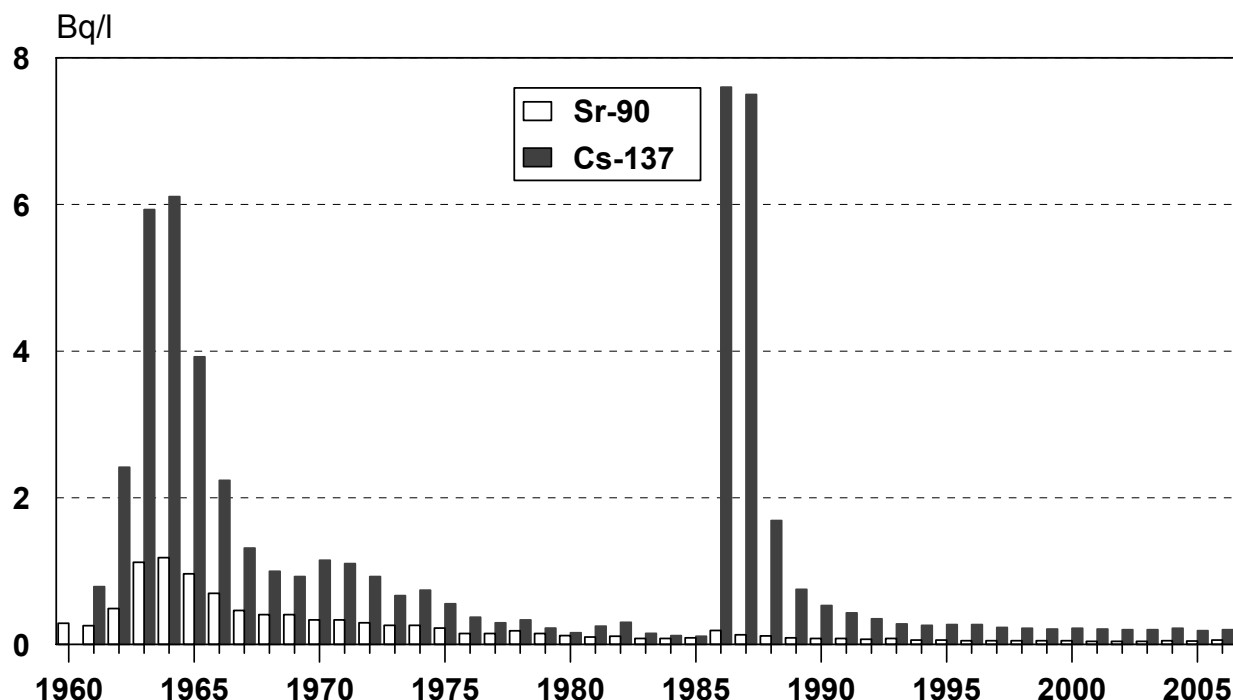


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90 und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

Tabelle 2.4.3-1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2004	29	<0,06	83	<0,14
	2005	25	<0,05	79	<0,13
	2006	32	0,05 (0,01 - 0,12)	80	<0,13 (<0,03 – 0,46)
Bayern	2004	90	0,12	259	<0,24
	2005	87	0,11	295	<0,20
	2006	88	0,13 (0,02 - 0,5)	253	<0,22 (<0,01 - <0,89)

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Berlin	2004	13	0,03	25	0,66 (0,03 - 8,3*)
	2005	13	0,02	24	<0,45
	2006	12	0,02 (0,01 - 0,04)	29	<0,90 (0,03 - 4,05)
Brandenburg	2004	16	0,03	40	<0,38
	2005	12	0,04	37	<0,29
	2006	12	0,04 (0,03 - 0,06)	36	<0,28 (<0,07 - 0,9)
Bremen	2004	12	<0,03	12	0,35
	2005	12	<0,02	12	<0,33
	2006	12	<0,02 (<0,01 - 0,04)	12	0,58 (0,12 - 1,39)
Hamburg	2004	12	<0,02	12	<0,12
	2005	12	0,02	12	<0,15
	2006	12	0,07 (0,01 - 0,26)	12	<0,14 (<0,08 - <0,2)
Hessen	2004	12	0,05	34	<0,09
	2005	17	0,04	40	<0,09
	2006	20	0,07 (0,01 - 0,21)	43	<0,07 (<0,01 - <0,21)
Mecklenburg-Vorpommern	2004	27	<0,03	51	<0,17
	2005	26	0,03	50	<0,14
	2006	24	0,03 (0,01 - 0,12)	48	<0,18 (0,05 - 0,79)
Niedersachsen	2004	97	0,03	216	<0,31
	2005	81	0,04	213	<0,24
	2006	91	0,04 (0,02 - 0,14)	213	<0,25 (<0,05 - 4,0)
Nordrhein-Westfalen	2004	44	0,04	145	<0,12
	2005	41	0,04	132	<0,11
	2006	44	0,05 (0,01 - 0,42)	135	<0,11 (<0,04 - 0,32)
Rheinland-Pfalz	2004	18	0,04	37	<0,08
	2005	17	0,04	34	<0,07
	2006	21	0,04 (0,02 - 0,05)	36	<0,08 (0,02 - <0,22)
Saarland	2004	12	0,06	12	<0,20
	2005	12	<0,05	12	<0,20
	2006	12	<0,05 (<0,02 - 0,19)	12	<0,20 (<0,2 - <0,2)
Sachsen	2004	12	0,03	24	<0,09
	2005	12	0,03	24	<0,09
	2006	12	0,03 (0,02 - 0,05)	24	<0,08 (<0,06 - 0,12)
Sachsen-Anhalt	2004	12	<0,03	35	<0,28
	2005	12	<0,02	36	<0,44
	2006	12	<0,02 (0,01 - 0,04)	36	<0,21 (<0,09 - 1,18)

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Schleswig-Holstein	2004	27	<0,05	91	<0,14
	2005	32	0,05	96	<0,14
	2006	34	0,04 (0,03 - 0,08)	94	<0,12 (0,05 - 0,34)
Thüringen	2004	21	0,02	36	<0,08
	2005	16	0,02	33	<0,09
	2006	16	0,02 (0,01 - 0,03)	28	<0,09 (0,02 - <0,16)
Bundesrepublik (gesamt)	2004	454	<0,05	1112	<0,22 (<0,01 - 8,3**)
	2005	427	<0,05	1129	<0,19
	2006	454	<0,06 (<0,01 - 0,5)	1091	<0,20 (<0,01 - 4,05)

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

** Der Wert ist nicht repräsentativ

**Tabelle 2.4.3-2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten
(Areas 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	1091	<0,5	<0,01	4,05	<0,01
Milchpulver	6	<0,92	<0,1	3,6	0,65
Käse	1	<0,13		<0,18	
Importe					
Käse	113	<0,3	<0,01	2,27	<0,02
Frischkäse	5	<0,09	<0,09	0,18	<0,09
Schafskäse	14	<0,2	<0,04	0,39	<0,05
Ziegenkäse	1	<0,2		3,07	
Lakenkäse	8	<0,25	<0,05	<0,27	<0,06

**2.4.4 Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Milk from the surroundings of nuclear facilities)**

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt. Die aktuellen Aktivitätskonzentrationen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Tabelle 2.4.4-1 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit Orten, die nicht in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen, in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

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

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/l			
		2005		2006	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG					
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	0,03	a)	
	Sr-90	2	0,03	a)	
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,005-<0,007	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	4	<0,20	a)	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/l			
		2005		2006	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
GKN Neckarwestheim	Sr-90	4	0,02	a)	
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,007-<0,009	a)	
	Cs-137	4	<0,21	a)	
	Sr-90	4	0,03	a)	
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,007-<0,009	a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,02	2	<0,04 (<0,02-0,05)
	Sr-90	4	0,02	2	0,02 (0,02-0,02)
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,005-<0,011	6	<0,007-<0,009
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	5	<0,05	a)	
	Sr-90	5	0,03	a)	
	I-131 (nur Bereich)	11	<0,005-<0,010	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	<0,06	a)	
	Sr-90	4	0,02	a)	
	I-131 (nur Bereich)	10	<0,004-<0,008	a)	
BAYERN					
KRB Gundremmingen	Cs-137	6	<0,2	4	0,04 (0,02-0,1)
	Sr-90	6	0,06	4	<0,01 (<0,01-0,02)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,01-<0,01	15	<0,003-<0,01
KKI Isar	Cs-137	2	<0,2	6	0,07 (0,04-0,13)
	Sr-90	2	0,04	6	<0,01 (<0,01-<0,02)
	I-131 (nur Bereich)	6	<0,01-<0,01	16	<0,006-<0,01
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	6	<0,2	6	<0,08 (<0,05-<0,13)
	Sr-90	6	0,07	6	<0,03 (<0,01-0,05)
	I-131 (nur Bereich)	18	<0,01-<0,01	18	<0,003-<0,01
FRM II	Cs-137	2	<0,2	2	0,13 (0,1-0,16)
	Sr-90	2	0,04	2	<0,02 (<0,2-0,2)
BRANDENBURG					
KKR Rheinsberg	Cs-137	4	<0,09	4	<0,08 (<0,07-<0,09)
	Sr-90	4	0,02	4	0,03 (0,02-0,03)
	I-131 (nur Bereich)	a)		4	<0,07-<0,2
HESSEN					
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,09	a)	
	Sr-90	10	0,02	a)	
	I-131 (nur Bereich)	31	<0,003-<0,011	a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN					
KGR Greifswald	Cs-137	4	<0,11	2	<0,16 (<0,10-0,22)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/l			
		2005		2006	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	Sr-90	4	0,02	2	0,02 (0,02-0,02)
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
NIEDERSACHSEN					
KKS Stade	Cs-137	4	<0,10	a)	
	Sr-90	4	0,03	a)	
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005-<0,013	a)	
KKU Unterweser	Cs-137	4	<0,06	2	<0,10 (<0,07-0,12)
	Sr-90	4	0,03	2	0,04 (0,04-0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005-<0,015	10	<0,005 - <0,016
KWG Grohnde	Cs-137	4	<0,07	2	<0,06 (<0,06-0,06)
	Sr-90	4	0,02	2	0,02 (0,02-0,03)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005-<0,012	10	<0,003-<0,011
KKE Emsland	Cs-137	4	<0,07	2	<0,10 (<0,07-0,12)
	Sr-90	4	0,02	2	0,04 (0,03-0,04)
	I-131 (nur Bereich)	12	<0,005-<0,015	9	<0,004-<0,014
Zwischenlager Gorleben	Cs-137	24	0,54	19	0,48 (0,09-1,0)
	Sr-90	12	0,03	7	0,05 (0,0 -0,08)
	I-129 (µBq/l)	a)		a)	
Schacht Konrad II b)	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN					
FZ Jülich	Cs-137	4	<0,12	4	<0,2 (<0,1-<0,2)
	Sr-90	4	0,03	4	0,03 (0,02-0,03)
	I-131 (nur Bereich)	43	<0,005-<0,01	38	<0,006-<0,01
KWW Würgassen	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
THTR Uentrop	Cs-137	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)	
UAG Gronau	Uran (Bq/l)	12	<0,23	10	<0,23 (<0,23-<0,23)
	Fluor (mq/l)	12	<0,42	10	<0,42 (<0,42-<0,42)
RHEINLAND-PFALZ					
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	<0,10	4	<0,10 (<0,08-<0,11)
	Sr-90	a)		a)	
	I-131 (nur Bereich)	a)		a)	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Messverfahren	Aktivität in Bq/l			
		2005		2006	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
SACHSEN					
VKTA Rossendorf	Cs-137	3	<0,10	3	<0,06 (<0,06-0,07)
	Sr-90	2	0,03	1	0,04
	I-131 (nur Bereich)	2	<0,05-<0,06	2	<0,05-<0,05
SACHSEN-ANHALT					
Endlager Morsleben	Cs-137	4	<0,25	4	<0,24 (<0,1-0,43)
	Sr-90	a)		a)	
SCHLESWIG-HOLSTEIN					
GKSS Geesthacht	Cs-137	2	<0,12	4	<0,09 (<0,07-<0,14)
	Sr-90	2	0,05	4	0,04 (0,02-0,05)
	I-131 (nur Bereich)	8	<0,006-<0,009	12	<0,006-<0,009
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	0,08	4	0,06 (0,02-0,09)
	Sr-90	2	0,03	4	0,04 (0,03-0,05)
	I-131 (nur Bereich)	16	<0,008-<0,01	32	<0,008-<0,01
KKK Krümmel	Cs-137	4	<0,09	8	0,08 (0,04-0,17)
	Sr-90	4	0,03	8	0,03 (0,01-0,06)
	I-131 (nur Bereich)	15	<0,008-<0,01	23	<0,006-<0,01
KBR Brokdorf	Cs-137	4	<0,05	8	<0,04 (0,02-0,08)
	Sr-90	4	0,03	8	0,03 (0,03-0,04)
	I-131 (nur Bereich)	16	<0,008-<0,01	24	<0,007-<0,01

a) Messwerte liegen nicht vor

b) Gegen den Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad wurden mehrere Klagen eingereicht. Bis zur gerichtlichen Entscheidung durch das Bundesverwaltungsgericht Leipzig am 26.03.2007 befand sich die Schachtanlage im Offenhaltungsbetrieb. Mit den gerichtlichen Urteilen ist der Planfeststellungsbeschluss rechtskräftig und vollziehbar.

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

Im Folgenden werden Messergebnisse über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren der Binnengewässer und der Meere für das Jahr 2006 dargestellt. Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich, wo es nicht ausdrücklich angeführt wird, immer auf die Feuchtmasse (FM). Soweit nicht anders ausgewiesen, werden bei Fischen, Krusten- und Schalentieren die Aktivitätswerte im Fleisch bestimmt. Die statistische Auswertung wird nach dem Verfahren nach „Helsel und Cohn“ [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der im Vergleich zur Normalverteilung oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Verteilungen zu Lognormalverteilungen wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet. Die hier angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte. Ermittelte statistische Kennzahlen sind neben den Anzahlen N und nn der Medianwert, minimaler und maximaler Wert.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routineprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst: Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg zu „Norddeutschland“; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen zu „Mitteldeutschland“, sowie Baden-Württemberg und Bayern zu

„Süddeutschland“. Für diese Regionen wurden, aufgeteilt nach Gewässertypen, statistische Auswertungen der jährlich zusammengefassten Werte der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 durchgeführt.

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Binnenseen Nord- und Süddeutschlands (Abbildung 2.4.5-1) waren 2006 nur noch etwa eine halbe Größenordnung höher als die aus Fischteichen und aus Fließgewässern (Tabelle 2.4.5-1).

Tabelle 2.4.5-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2006)
(*Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2006*)

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

Gewässer	Region	2006					2005
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Süddeutschland	40	6	0,058	22	0,74	1,0
	Mitteldeutschland	3	1	0,15	0,26	0,15	0,14
	Norddeutschland	49	2	<0,2	38	2,2	2,7
Fischteiche	Süddeutschland	21	8	<0,01	2,9	0,17	0,15
	Mitteldeutschland	26	13	0,086	1,2	0,13	0,14
	Norddeutschland	14	3	<0,12	10	0,63	0,24
Fließgewässer	Süddeutschland	10	1	0,052	1,4	0,12	0,19
	Mitteldeutschland	30	13	0,077	4,2	0,11	0,19
	Norddeutschland	7	3	<0,12	0,42	0,36	0,30
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	3	2	<0,12	0,18	<0,18	0,95
	Mitteldeutschland	0	0				<0,26
	Norddeutschland	0	0				0,46

Bei gammaspektrometrischen Messungen von Fischproben aus dem hochgelegenen Königssee in Bayern ist vor einigen Jahren das Radionuklid Na-22 (Halbwertszeit 2,6 Jahre) aufgefallen. Für insgesamt 14 Messwerte aus dem Zeitraum 2002 bis 2006 ergab sich ein Mittelwert von 0,19 Bq/kg FM (Bereich: 0,12 bis 0,29 Bq/kg FM). Dieses Radionuklid ist auf den Einfluss der Höhenstrahlung zurückzuführen [2], es gelangt durch Niederschlag in den hochalpinen See und wird vom Fisch angereichert.

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abbildung 2.4.5-2), was vermutlich darauf zurückzuführen war, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung 2.4.5-2 und 2.4.5-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2.4.5-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 1999 (vgl. Abbildung 2.4.5-4) Forellen niedriger kontaminiert waren als Karpfen, ab 2000 jedoch ist der Unterschied nicht mehr signifikant.

Tabelle 2.4.5-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2006)
(*Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2006*)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

Fisch	2006					2005
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	37	19	<0,1	1,4	0,11	0,14
Karpfen	33	10	0,075	13	0,21	0,27

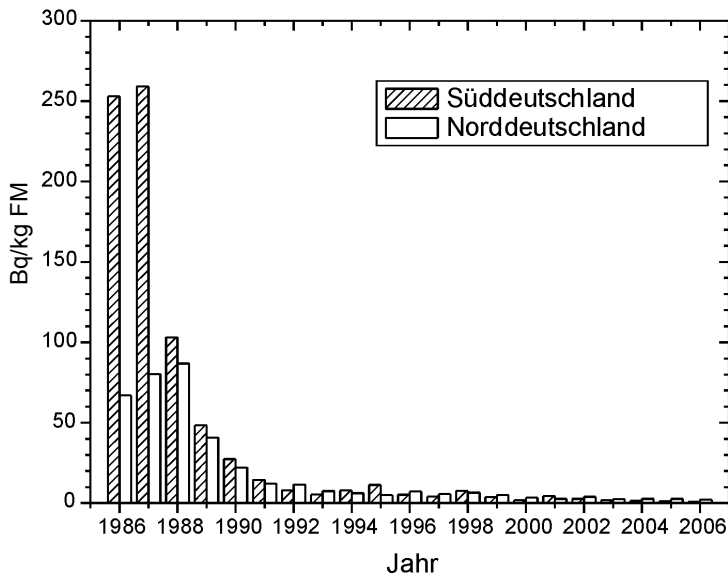


Abbildung 2.4.5-1
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in
Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in
fish from lakes in Bq/kg FM)

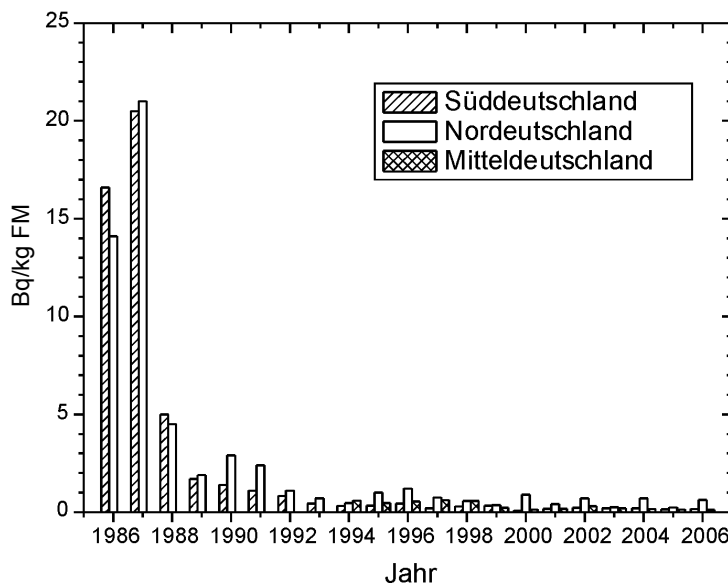


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in
Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in
fish from fish farms in Bq/kg FM)

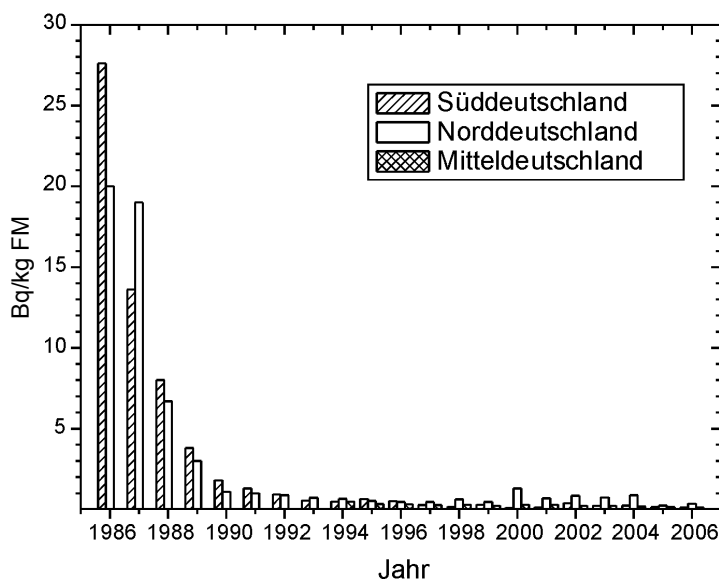


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in
Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in
fish from rivers in Bq/kg FM)

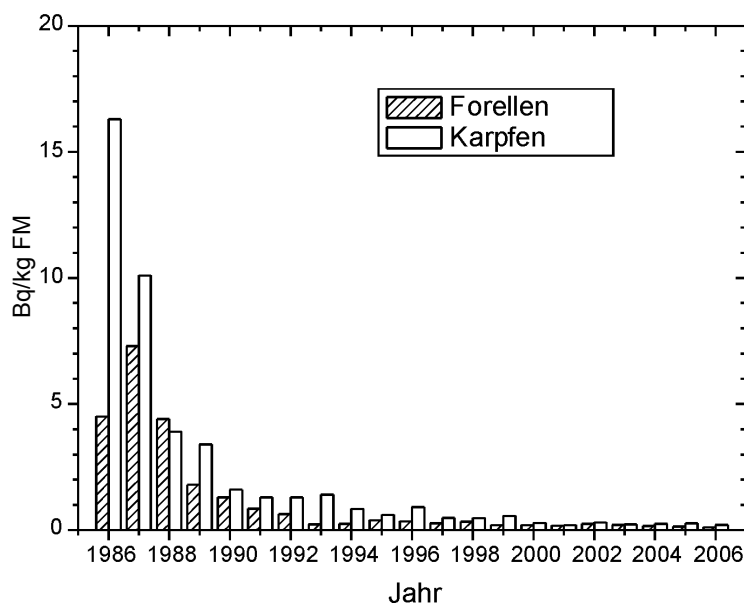


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in trout and carp in Bq/kg FM)

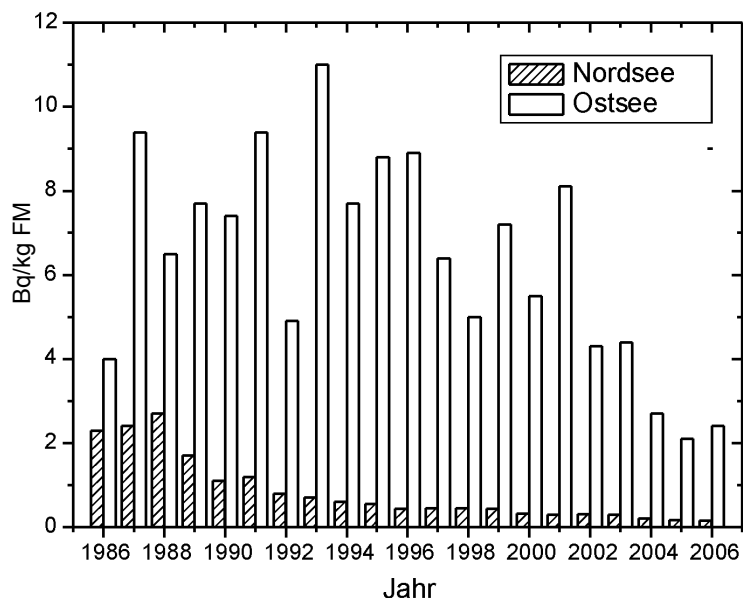


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg FM)

In Tabelle 2.4.5-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt. Darin sowie in Abbildung 2.4.5-5 wurden rückwirkend für das Jahr 2005 Werte nachgetragen, in denen die verspätet erfolgten Messungen bei der Leitstelle berücksichtigt wurden. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2006 die Cs-137-Werte unter maximal 0,9 Bq/kg, im Median bei etwa 0,15 Bq/kg. Die beiden höheren Werte, 3,07 und 5,8 Bq/kg FM, sind vermutlich eher der Ostsee bzw. dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee zuzurechnen. Der Medianwert bleibt unverändert, auch wenn man diese beiden Werte nicht in die Berechnung einbezieht.

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 Abbildung 2.4.5-5 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 0,15 bzw. 0,1 Bq/kg auf; vgl. Tabelle 2.4.5-3. Die meisten der Einzelwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die im Jahr 2006 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei 0,21 Bq/kg (Süßwasserfisch) und 0,10 Bq/kg (Seefisch), für Krusten- und Schalentiere wurden keine signifikanten Werte gefunden.

Tabelle 2.4.5-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2006)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2006)
 Messungen der Bundesländer

Gewässer	Probenart	2006					2005
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Nordsee	Fische	49	21	<0,11	5,8	0,15	0,17
	Garnelen	15	15	<0,12	<0,2	<0,15	<0,14
	Miesmuscheln	13	11	<0,10	0,18	<0,1	<0,2
Ostsee	Fische	29	1	0,16	13	2,4	2,1

Tabelle 2.4.5-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2006)
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2006)

Probenart	2006					2005
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Süßwasserfisch	22	9	<0,1	1,1	0,21	0,33
Seefisch	78	43	0,070	13	0,10	0,13
Krusten- u. Schalentiere	4	4	<0,11	<0,24	<0,16	<0,12
Fischerzeugnisse	0	0				0,20

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 2.4.5-5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, dass die Sr-90-Aktivität in Fischen aus Binnenseen etwa 5 bzw. 1,7 mal so groß war wie bei Fließgewässern bzw. Fischteichen. Die mittleren Sr-90-Werte von Fischen haben sich gegenüber dem Vorjahr nicht signifikant geändert. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass schon leichte Änderungen der geringen Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischfleischproben eine merkliche Änderung der gemessenen Sr-90-Konzentration bewirken können. In Fischen aus Nord- und Ostsee sowie im Fleisch der Garnelen und Miesmuscheln aus der Nordsee wurden untereinander ähnlich niedrige Sr-90-Werte gefunden.

Tabelle 2.4.5-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2006)
(Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2006)
 Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	2006					2005
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch	Binnenseen	15	2	<0,020	0,36	0,054	0,039
	Fischteiche	7	1	0,013	0,17	0,032	0,022
	Fließgewässer	12	3	0,0041	0,027	0,0086	0,0055
	Meere	5	1	0,020	0,068	0,024	0,018
Garnelen	Nordsee	12	5	<0,02	0,13	0,025	0,039
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	<0,02	0,10	0,019	0,037

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, kam es zu Verzögerungen bei den Sr-90-Messungen, die erst im Sommer 2005 wieder aufgenommen werden konnten. Die Messungen erfolgten auf einem neuen low-level-Betadetektionssystem mit sehr niedriger Nachweisgrenze. Seitdem wurde rückwirkend eine größere Anzahl von Sr-90-Analysen durchgeführt. Ebenfalls rückwirkend wurde eine größere Anzahl von α -spektrometrischen Analysen der Radionuklide Pu-(239+240) und Am-241 durchgeführt.

Die Messungen einiger für das Berichtsjahr 2006 fälligen Proben steht noch aus. Daher kann nur über neue Daten der Proben früherer Jahre berichtet werden.

Tabelle 2.4.5-6 zeigt die nachzutragenden Ergebnisse für Fischproben aus der Nordsee, aufgeteilt in Fischfleischproben und Gesamtfischproben von Sprotten. Gegenüber der entsprechenden Tabelle des Vorjahresberichts sind eine Reihe von radiochemischen Analysen für die Jahre 2001 bis 2005 hinzugekommen. Im Fischfleisch zeigen sich jetzt

von 2001 bis 2005 eng beieinander liegende Werte für Sr-90 bei knapp unter 1 mBq/kg FM. Sprotten, als Gesamtfischproben analysiert, weisen wegen des hohen Grätenanteils gut 3fach höhere Werte auf, allerdings mit etwas höherer Streuung. Im Fischfleisch sind im Vergleich zu Sr-90 die Werte für Pu-(239+240) etwa 40fach niedriger, diejenigen für Am-241 noch kleiner. Im Vergleich zu Fischfleisch findet man in Sprotten-Gesamtfischproben etwa 10-fach höhere Werte für Pu-(239+240) und Am-241, ebenfalls durch die höheren Grätenanteile der Sprottenproben bedingt. Das Aktivitätsverhältnis Pu-238 / Pu-(239+240) ließ sich nur in den Sprottenproben nachweisen, es liegt bei etwa 0,16, was mit dem Einfluss der Abgaben der Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield (UK) und La Hague (FR) erklärt werden kann. Für einen weiteren Alphastrahler, das Am-241, wurden Werte im Fischfleisch und in Sprotten gefunden, die etwa halb so groß sind wie die Pu-(239+240)-Werte.

Tabelle 2.4.5-7 zeigt mit analogem Aufbau die für 2005 nachzutragenden Ergebnisse radiochemischer Analysen für Fischproben aus der Ostsee, Werte für 2004 sind zum Vergleich ebenfalls aufgeführt. Im Fischfleisch findet man etwa 2,5fach höhere Sr-90-Werte als im Nordsee-Fischfleisch. Bei der Ostsee ist der Unterschied der Sr-90-Werte zwischen Sprotten und Fischfleisch etwas größer (nahezu 10fach) als in der Nordsee (gut 3fach). Für die sehr niedrigen Werte der Transurane Pu-(239+240) und Am-241 findet man wegen entsprechend großer Messunsicherheiten im Fischfleisch praktisch keinen Unterschied zwischen Nordsee und Ostsee, während man beim entsprechenden Vergleich für Sprotten in der Ostsee höhere Werte findet. In den Sprotten-Gesamtfischproben ist das mittlere Verhältnis Am-241 / Pu-(239+240) mit 0,4 nur geringfügig kleiner als in Nordsee-Fischen.

In der Tabelle 2.4.5-8 sind erstmalig Ergebnisse gamma-spektrometrischer Analysen (Cs-137) und radiochemischer Analysen der Transurane im Blasentang (*Fucus vesiculosus*) dargestellt. Die Proben stammen aus dem Greifswalder Bodden bei Thiessow, die angegebenen Aktivitätswerte sind auf Trockenmasse (TM) bezogen. Die spezifische Cs-137-Aktivität nahm ab 2000 nur geringfügig ab. Die Transurane sind im Blasentang gut nachweisbar. Das Aktivitätsverhältnis Pu-238 / Pu-(239+240) lag im Mittel zwischen 0,028 und 0,041. Da für den globalen Fallout ein solches Verhältnis von etwa 0,04 oder darunter erwartet werden kann, ist das im Blasentang gemessene Verhältnis ein sicherer Hinweis dafür, dass das Plutonium in diesem Bereich der Ostsee hauptsächlich auf den globalen Fallout zurückgeht. Das im Blasentang ebenfalls bestimmte Aktivitätsverhältnis Am-241 / Pu-(239+240) weist mittlere Werte zwischen 0,06 und 0,15 auf.

Tabelle 2.4.5-6 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten und -Verhältnisse von Fischen der Nordsee - Nachtrag zu früheren Jahren
(Specific radionuclide activities and ratios in fish from the North Sea - Supplement to earlier years):

Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 2001 bis 2005; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Mittelwert	
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM			
Fischfleischproben	Sr-90	2001	6	1	0,00042	0,0018	0,00084	
		2002	3	0	0,00083	0,0014	0,0012	
		2003	4	1	<0,00073	0,0011	0,00096	
		2004	8	3	0,00048	<0,0018	0,00066	
		2005	4	2	<0,00080	<0,0020	0,00093	
	Pu-(239+240)	2001	6	2	1,9E-5	9,3E-5	3,7E-5	
		2002	3	1	2,8E-5	5,6E-5	3,5E-5	
		2003	3	1	<2,8E-5	4,2E-5	3,7E-5	
		2004	5	2	2,3E-5	<7,6E-5	2,7E-5	
		2005	5	2	2,0E-5	9,4E-5	3,5E-5	
	Am-241	2001	6	3	<1,5E-5	<3,0E-5	1,8E-5	
		2002	3	1	9,9E-6	<2,2E-5	1,1E-5	
		2003	3	1	1,6E-5	<2,8E-5	1,6E-5	
		2004	3	2	1,4E-5	<3,0E-5	<2,2E-5	
		2005	3	1	1,3E-5	4,4E-5	2,1E-5	
						Aktivitätsverhältnis		
	Am-241/ Pu-(239+240)	2001	4	1	0,24	0,89	0,55	
		2005	2	0	0,45	0,47	0,46	

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Mittelwert	
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM			
Sprotte, Gesamtfisch	Sr-90	2001	2	0	0,0021	0,0038	0,0029	
		2002	2	0	0,0040	0,0042	0,0041	
		2003	1	0	0,0016	0,0016	0,0016	
		2004	2	0	0,0030	0,0056	0,0043	
		2005	3	0	0,0015	0,0038	0,0028	
	Pu-(239+240)	2001	2	0	5,8E-5	4,7E-4	2,6E-4	
		2002	1	0	5,5E-5	5,5E-5	5,5E-5	
		2003	1	0	1,2E-4	1,2E-4	1,2E-4	
		2004	3	0	3,7E-5	2,8E-4	1,6E-4	
		2005	3	0	1,3E-4	2,1E-4	1,8E-4	
						Aktivitätsverhältnis		
	Pu-238/ Pu-(239+240)	2001	2	1	0,16	<0,71	0,16	
		2002	1	1	<0,64	<0,64	<0,64	
		2003	1	1	<0,43	<0,43	<0,43	
		2004	3	1	0,14	<1,2	0,15	
		2005	3	1	0,14	<0,22	0,15	
	Am-241/ Pu-(239+240)	2001	2	0	0,31	0,66	0,49	
		2002	1	0	0,62	0,62	0,62	
		2003	1	0	0,69	0,69	0,69	
2004		3	1	0,31	<1,1	0,32		
2005		1	0	0,32	0,32	0,32		

Tabelle 2.4.5-7 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten und -Verhältnisse von Fischen der Ostsee - Nachtrag zu 2005
(Specific radionuclide activities and ratios in fish from the Baltic Sea - Supplement to 2005):
 Ergebnisse von „Walther-Herwig-III“-Fahrten in den Jahren 2004 bis 2005; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Mittelwert	
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM			
Fischfleischproben	Sr-90	2004	4	0	0,0015	0,0028	0,0021	
		2005	2	0	0,0015	0,0015	0,0015	
	Pu-(239+240)	2004	2	1	<2,2E-5	4,4E-5	1,1E-5	
		2005	1	1	<3,5E-5	<3,5E-5	<3,5E-5	
	Am-241	2004	2	2	<1,6E-5	<1,6E-4	<8,6E-5	
2005		1	1	<2,8E-5	<2,8E-5	<2,8E-5		
Sprotte, Gesamtfisch	Sr-90	2004	1	0	0,012	0,012	0,012	
		2005	3	0	0,0075	0,022	0,014	
	Pu-(239+240)	2004	1	0	3,1E-4	3,1E-4	3,1E-4	
		2005	3	0	2,8E-4	9,5E-4	6,1E-4	
	Am-241	2004	1	0	1,4E-4	1,4E-4	1,4E-4	
		2005	3	0	9,7E-5	3,9E-4	2,7E-4	
						Aktivitätsverhältnis		
	Am-241/ Pu-(239+240)	2004	1	0	0,46	0,46	0,46	
	2005	3	0	0,35	0,56	0,44		

Tabelle 2.1.5-8 Spezifische Radionuklid-Aktivitäten und –Verhältnisse in Bläsentang (Fucus vesiculosus) aus dem Greifswalder Bodden (Ostsee)
(Specific radionuclide activities and ratios in bladder wreck (Fucus vesiculosus) from the Greifswalder Bodden (Baltic Sea))

Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Mittelwert
				Aktivitätskonzentration in Bq/kg TM		
Cs-137	2000	2	0	30	39	35
	2001	2	0	28	34	31
	2003	2	0	18	28	23
	2004	1	0	25	25	25
	2005	2	0	17	26	21
	2006	2	0	21	29	25
Pu-(239+240)	2000	1	0	0,12	0,12	0,12
	2001	1	0	0,023	0,023	0,023
	2003	1	0	0,081	0,081	0,081
	2004	1	0	0,044	0,044	0,044
	2005	2	0	0,030	0,035	0,032
				Aktivitätsverhältnis		
Pu-238/ Pu-(239+240)	2000	1	0	0,032	0,032	0,032
	2001	1	0	0,033	0,033	0,033
	2003	1	0	0,031	0,031	0,031
	2004	1	0	0,028	0,028	0,028
	2005	2	0	0,038	0,044	0,041
Am-241/ Pu-(239+240)	2000	1	0	0,060	0,060	0,060
	2001	1	0	0,033	0,033	0,033
	2003	1	0	0,041	0,041	0,041
	2004	1	0	0,15	0,15	0,15
	2005	2	0	0,12	0,18	0,15

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] Sakaguchi, A., Yamamoto, M., Ohtsuka, Y., Sasaki, K., Yokota, K., Komura, K.: Low-level measurement of the cosmogenic ^{22}Na radionuclide in fresh water by ultra low-background gamma-ray spectrometry after simple radiochemical separation. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 258, No. 1 (2003) 101-105

2.4.6 Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen *(Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities)*

Im Berichtsjahr 2006 wurden für 24 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem Cs-137) an 85 Fischfleischproben und 11 Wasserpflanzenproben gemeldet; Sr-90-Messungen wurden an 11 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 12 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“, 5 marine Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie Fische ohne Artenbezeichnung untersucht wurden. Die Wasserpflanzen wurden ebenfalls nicht spezifiziert. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangehenden Kapitel 2.4.5 beschrieben durchgeführt. Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 2.4.6-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst worden.

Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht aus einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Eilbogensee) 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 eine Hechtprobe 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 2.4.6-1 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 2.4.6-1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 2006
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2006
(within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities))
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

Fluss	Anlage	Radio-nuklid	2006					2005	
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert	
Fisch (Bq/kg FM)									
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	6	2	<0,086	0,66	0,11	0,27	
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	7	2	<0,15	0,29	0,27	0,29	
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,15	0,23	0,18	0,26	
	PKA Gorleben	Cs-137	2	0	0,17	0,29	0,23	0,19	
	KKS Stade	Cs-137	2	0	0,40	0,67	0,54	0,39	
	KBR Brokdorf		Sr-90	6	6	<0,008	<0,01	<0,01	<0,01
			Cs-137	6	0	0,11	0,69	0,30	0,25
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,13	0,50	0,25	0,26	
Ems	KKE Emsland	Cs-137	2	0	0,69	16	8,3	5,0	
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	6	0	0,68	5,2	1,1	3,6	
Havel (Pohlesee)	HMI Berlin	Cs-137	1	0	2,4	2,4	2,4	0,73	
Sacrower See		Cs-137	1	0	31	31	31	19	
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	3	<0,14	0,21	<0,19	0,12	
	FRM II Garching	Cs-137	1	0	0,21	0,21	0,21	0,35	
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	0	0,27	0,82	0,34	0,48	
	VAK Kahl	Cs-137	1	0	0,20	0,20	0,20	<0,18	
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	1	1	<0,081	<0,081	<0,081	0,069	
	KWO Obrigheim	Cs-137	3	1	0,048	0,10	0,048	<0,094	
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,13	0,23	0,18	0,15	
		Sr-90	2	0	0,027	0,041	0,034		
		Cs-137	2	0	0,14	0,17	0,16		
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	4	0	0,082	0,16	0,10	0,40	
	KKP Philippsburg	Cs-137	5	0	0,096	0,15	0,098	0,15	
Rur	FZ Jülich	Cs-137	4	0	0,12	0,48	0,15	0,40	
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	3	0	19	45	30	65	
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	1	0	5,8	5,8	5,8	50	
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	3	0	0,12	0,32	0,19	0,16	
	KKU Unterweser	Cs-137	3	0	0,20	0,23	0,22	0,27	
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)									
Ahauser Aa	Ahaus	Cs-137	1	0	0,27	0,27	0,27	--	
		Co-60	1	0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	

Fluss	Anlage	Radio-nuklid	2006					2005
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Moorbach	Ahaus	Cs-137	1	0	0,25	0,25	0,25	--
		Co-60	1	1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,7
Donau	KRB Gundremmingen	I-131	1	0	1,3	1,3	1,3	13
		Cs-137	2	0	13	16	15	11
Isar	FRM II Garching	Cs-137	4	0	2,7	19	8,9	5,2
	KKI 1/2 Isar	I-131	1	0	32	32	32	18
		Cs-137	1	0	28	28	28	26
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	1	<1,3	2,7	0,72	<0,20

In der Tabelle 2.4.6-2 sind nachträglich bei der Leitstelle eingegangene Daten aufgeführt, die zu dem Termin der Erstellung des betreffenden früheren Jahresberichts nicht zur Verfügung standen. Für das in Wasserpflanzen der Isar (beim FRM II) nachgewiesene I-131 (Maximalwert 5400 Bq/kg TM in 2005) wird medizinische Verwendung als Ursache angesehen.

Tabelle 2.4.6-2 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen): Nachtrag zu 2005
(*Specific activity in fish and aquatic plants (within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities): Supplement to 2005*)

Fluss	Anlage	Radio-nuklid	2005					2004
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	6	2	<0,030	0,53	0,27	0,24
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	1	0,097	0,18	0,12	0,19
		FRM II Garching	Cs-137	1	0	0,35	0,35	0,35
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	1	<0,21	1,3	0,48	<0,2
		VAK Kahl	Cs-137	2	2	<0,17	<0,19	<0,18
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Donau	KRB Gundremmingen	I-131	1	0	13	13	13	
		Cs-137	2	0	4,9	16	11	11
Isar	KKI 1/2 Isar	Co-60	1	1	<0,29	<0,29	<0,29	<0,33
		I-131	1	0	18	18	18	17
		Cs-134	1	1	<0,26	<0,26	<0,26	<0,48
		Cs-137	1	0	26	26	26	0,16
		FRM II Garching	I-131	4	0	0,92	5.400	30
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	0	3,1	12	5,2	6,6
		Cs-137 b)	2	1	<0,18	0,21	<0,20	<0,12

b) Werte in Bq/kg FM

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

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cs-137 und Sr-90 in Nahrungsmitteln führte auch im Jahr 2006 zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau lagen (s. Tabellen 2.4.7-1 - 2.4.7-14). Ausnahmen hiervon bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle 2.4.7-8), Wildpilze (Tabelle 2.4.7-11), Wildbeeren (Tabelle 2.4.7-12) und Blütenhonig (Tabelle 2.4.7-13). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht 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 ein-

gegangen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2005	36	< 0,14 (< 0,04 - < 0,21)	10	0,12 (0,03 - 0,22)
	2006	35	< 0,14 (< 0,06 - < 0,21)	8	0,16 (0,07 - 0,26)
Bayern	2005	41	< 0,20 (< 0,12 - < 0,20)	5	0,28 (0,12 - 0,55)
	2006	47	< 0,20 (0,17 - 0,20)	4	0,36 (0,30 - 0,43)
Berlin	2005	2	< 0,12 (< 0,08 - < 0,16)	1	0,26
	2006	1	< 0,07	1	0,03
Brandenburg	2005	15	< 0,11 (< 0,07 - 0,20)	1	0,78
	2006	17	< 0,11 (0,06 - 0,20)	1	0,38
Bremen	2005	3	< 0,08 (< 0,06 - < 0,09)	1	0,21
	2006	3	< 0,08 (< 0,05 - < 0,09)	1	0,07
Hamburg	2005	2	< 0,13 (< 0,10 - < 0,15)	-	
	2006	3	< 0,14 (< 0,12 - 0,17)	1	0,11
Hessen	2005	14	< 0,13 (< 0,07 - < 0,17)	-	
	2006	17	0,12 (< 0,06 - < 0,19)	-	
Mecklenburg-Vorpommern	2005	33	< 0,14 (< 0,08 - < 0,18)	2	0,12 (0,11 - 0,12)
	2006	37	< 0,11 (< 0,07 - < 0,16)	2	0,11 (0,10 - 0,11)
Niedersachsen	2005	52	< 0,16 (< 0,04 - < 0,28)	6	0,15 (0,06 - 0,21)
	2006	41	< 0,26 (< 0,04 - 2,40)	5	0,16 (0,08 - 0,22)
Nordrhein-Westfalen	2005	40	< 0,10 (< 0,04 - < 0,19)	3	0,18 (0,10 - 0,31)
	2006	46	< 0,10 (< 0,03 - < 0,22)	3	0,16 (0,09 - 0,28)
Rheinland-Pfalz	2005	29	< 0,13 (< 0,04 - < 0,27)	1	0,08
	2006	25	< 0,14 (< 0,04 - < 0,26)	5	0,08 (0,04 - 0,15)
Saarland	2005	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
	2006	4	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
Sachsen	2005	12	< 0,10 (< 0,08 - < 0,11)	3	0,10 (0,07 - 0,12)
	2006	12	< 0,11 (< 0,09 - 0,18)	3	0,11 (0,09 - 0,13)
Sachsen-Anhalt	2005	13	< 0,14 (< 0,11 - < 0,17)	3	0,16 (0,05 - 0,33)
	2006	17	< 0,18 (< 0,10 - 0,96)	3	0,15 (0,06 - 0,30)
Schleswig-Holstein	2005	33	< 0,13 (< 0,08 - 0,24)	4	0,20 (0,14 - 0,30)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Thüringen	2006	31	< 0,16 (< 0,07 - < 0,90)	4	0,15 (0,10 - 0,17)
	2005	22	< 0,12 (< 0,09 - < 0,14)	1	0,09
	2006	22	< 0,12 (0,09 - < 0,15)	1	0,08
Bundesrepublik (gesamt)	2005	350	< 0,14 (< 0,04 - < 0,28)	41	0,18 (0,03 - 0,78)
	2006	358	< 0,15 (< 0,03 - 2,40)	42	0,16 (0,03 - 0,43)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2005	1	< 0,12
	2006	2	< 0,11 (< 0,08 - < 0,13)
Frankreich	2005	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2006	5	< 0,20 (< 0,19 - < 0,20)
Kanada	2005	1	< 0,16
	2006	2	< 0,13 (< 0,09 - < 0,17)
Niederlande	2005	-	
	2006	2	< 0,12 (< 0,05 - < 0,18)
Österreich	2005	-	
	2006	2	< 0,15 (< 0,13 - < 0,16)
Polen	2005	1	< 0,15
	2006	1	< 0,12
Türkei	2005	3	< 0,13 (< 0,07 - < 0,20)
	2006	2	< 0,07 (< 0,06 - < 0,08)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

**Tabelle 2.4.7-3 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import)**

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Buchweizen	2005	-		-	
	2006	3	0,82 (0,08 - 1,96)	-	
Gerste	2005	106	< 0,15 (< 0,06 - 0,30)	7	0,17 (0,11 - 0,25)
	2006	118	< 0,15 (< 0,02 - 0,62)	11	0,18 (0,001 - 0,44)
Hafer	2005	16	< 0,28 (< 0,09 - 1,28)	2	0,40 (0,26 - 0,54)
	2006	22	< 0,52 (< 0,05 - 3,86)	2	0,21 (0,18 - 0,24)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Hirse	2005	-		-	
	2006	2	< 0,15 (< 0,12 - < 0,18)	-	
Mais	2005	4	< 0,10 (< 0,06 - < 0,13)	-	
	2006	2	< 0,11 (< 0,09 - < 0,12)	-	
Reis	2005	11	< 0,12 (0,07 - < 0,19)	-	
	2006	13	< 0,11 (< 0,07 - < 0,15)	-	
Roggen	2005	208	< 0,22 (< 0,02 - 5,50)	15	0,21 (0,09 - 0,72)
	2006	170	< 0,22 (0,04 - 2,61)	14	0,17 (0,08 - 0,50)
Triticalen	2005	10	< 0,16 (< 0,10 - < 0,26)	-	
	2006	12	< 0,16 (< 0,07 - 0,24)	1	0,08
Getreideprodukte	2005	5	< 0,39 (< 0,08 - 1,14)	-	
	2006	3	< 0,18 (< 0,14 - < 0,20)	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2005	6	< 0,56 (< 0,10 - 1,46)
	2006	7	< 0,85 (< 0,15 - 3,74)
Bayern	2005	7	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2006	6	< 0,61 (< 0,20 - 1,27)
Berlin	2005	1	2,35
	2006	1	0,98
Brandenburg	2005	5	1,39 (0,30 - 4,50)
	2006	3	0,50 (0,28 - 0,81)
Bremen	2005	3	0,55 (0,36 - 0,70)
	2006	3	1,97 (0,28 - 3,72)
Hamburg	2005	3	< 0,29 (< 0,11 - 0,48)
	2006	3	< 0,43 (< 0,12 - 0,65)
Hessen	2005	3	< 0,32 (< 0,12 - 0,70)
	2006	3	< 0,32 (< 0,13 - 0,70)
Mecklenburg-Vorpommern	2005	4	2,72 (0,38 - 5,85)
	2006	9	6,44 (0,10 - 36,3)
Niedersachsen	2005	9	0,60 (0,21 - 0,99)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Nordrhein-Westfalen	2006	8	< 0,12 ($< 0,12$ - 4,15)
	2005	19	< 0,44 ($< 0,09$ - 1,26)
	2006	18	< 0,81 ($< 0,06$ - 6,80)
Rheinland-Pfalz	2005	1	< 0,30
	2006	1	0,18
Saarland	2005	1	< 0,20
	2006	2	< 0,20 ($< 0,20$ - $< 0,20$)
Sachsen	2005	5	0,33 (0,14 - 0,56)
	2006	5	0,33 ($< 0,12$ - 0,53)
Sachsen-Anhalt	2005	3	0,76 (0,49 - 1,23)
	2006	3	0,75 (0,68 - 0,81)
Schleswig-Holstein	2005	3	< 0,61 ($< 0,17$ - 1,49)
	2006	2	< 0,23 ($< 0,15$ - 0,31)
Thüringen	2005	1	0,29
	2006	-	
Bundesrepublik (gesamt)	2005	74	< 0,66 ($< 0,09$ - 5,85)
	2006	74	< 0,14 (0,08 - 0,26)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2005	38	< 0,40 ($< 0,10$ - 1,83)
	2006	38	< 0,82 (0,10 - 19,8)
Bayern	2005	67	< 0,51 ($< 0,20$ - 21,0)
	2006	70	< 0,43 ($< 0,20$ - 3,33)
Berlin	2005	7	2,46 (0,19 - 8,20)
	2006	6	1,11 (0,20 - 1,64)
Brandenburg	2005	28	2,70 (0,30 - 9,50)
	2006	31	6,07 (0,30 - 130,0)
Bremen	2005	6	1,64 ($< 0,04$ - 7,74)
	2006	6	1,14 (0,07 - 4,23)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Hamburg	2005	6	0,76	(< 0,09 - 2,69)
	2006	6	< 0,92	(0,07 - 2,39)
Hessen	2005	12	0,15	(< 0,12 - 0,39)
	2006	12	0,16	(< 0,12 - < 0,26)
Mecklenburg-Vorpommern	2005	38	5,05	(0,07 - 56,5)
	2006	32	< 2,14	(< 0,06 - 14,9)
Niedersachsen	2005	32	2,58	(< 0,12 - 40,6)
	2006	30	< 1,09	(< 0,11 - 5,10)
Nordrhein-Westfalen	2005	38	< 0,24	(< 0,08 - 1,19)
	2006	39	< 0,26	(< 0,06 - 2,70)
Rheinland-Pfalz	2005	8	< 0,15	(< 0,10 - < 0,26)
	2006	9	< 0,17	(< 0,09 - < 2,60)
Saarland	2005	6	< 0,23	(< 0,20 - 0,40)
	2006	3	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2005	29	< 0,29	(0,06 - 0,89)
	2006	29	< 0,45	(0,08 - 3,46)
Sachsen-Anhalt	2005	24	< 0,66	(0,07 - 5,98)
	2006	24	< 0,84	(0,09 - 8,11)
Schleswig-Holstein	2005	22	< 0,38	(< 0,09 - 2,48)
	2006	22	< 0,34	(< 0,17 - 2,08)
Thüringen	2005	22	< 0,20	(< 0,08 - 1,28)
	2006	23	< 0,12	< 0,09 - 0,25)
Bundesrepublik (gesamt)	2005	382	< 1,26	(< 0,04 - 56,5)
	2006	380	< 1,13	(< 0,06 - 130,0)

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2005	19	< 0,22	(< 0,09 - 0,68)
	2006	19	< 0,18	(< 0,12 - 0,38)
Bayern	2005	34	< 0,25	(0,20 - < 2,00)
	2006	39	< 0,29	(< 0,20 - 0,80)
Berlin	2005	6	< 0,26	(0,15 - 0,60)
	2006	6	0,33	(0,15 - 0,60)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Brandenburg	2005	25	< 0,19	(< 0,08 - 0,50)
	2006	26	< 0,19	(< 0,09 - 0,85)
Bremen	2005	6	< 0,16	(0,05 - 0,42)
	2006	6	0,22	(0,11 - 0,43)
Hamburg	2005	6	< 0,21	(< 0,10 - 0,65)
	2006	6	< 0,17	(< 0,10 - 0,28)
Hessen	2005	12	< 0,16	(< 0,11 - < 0,27)
	2006	13	< 0,15	(< 0,12 - 0,22)
Mecklenburg -Vorpommern	2005	33	< 0,24	(0,05 - 0,74)
	2006	23	< 0,20	(0,04 - 1,74)
Niedersachsen	2005	55	< 0,18	(< 0,05 - 0,53)
	2006	50	< 0,37	(< 0,10 - 5,83)
Nordrhein-Westfalen	2005	74	< 0,15	(< 0,05 - 1,20)
	2006	67	< 0,18	(< 0,05 - 2,12)
Rheinland-Pfalz	2005	9	< 0,13	(< 0,09 - < 0,22)
	2006	9	< 0,13	(< 0,09 - < 0,20)
Saarland	2005	4	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
	2006	2	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	2005	23	< 0,17	(0,07 - 0,51)
	2006	23	< 0,14	(0,08 - 0,26)
Sachsen-Anhalt	2005	36	< 0,24	(< 0,06 - 0,73)
	2006	36	< 0,15	(< 0,07 - 0,53)
Schleswig-Holstein	2005	11	< 0,17	(0,09 - 0,40)
	2006	11	< 0,18	(< 0,10 - 0,35)
Thüringen	2005	20	< 0,16	(< 0,08 - 0,52)
	2006	20	< 0,13	(< 0,08 - 0,36)
Bundesrepublik (gesamt)	2005	373	< 0,19	(< 0,05 - < 2,00)
	2006	356	< 0,21	(0,04 - 5,83)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Hauskaninchen	2005	1	< 0,17
	2006	3	< 0,24 (< 0,21 - 0,29)
Lamm	2005	17	< 0,67 (< 0,06 - 7,36)
	2006	18	< 0,19 (0,05 - 1,16)
Geflügel Ente	2005	17	< 0,16 (< 0,09 - < 0,24)
	2006	18	< 0,19 (< 0,07 - 0,48)
Gans	2005	23	< 0,17 (0,06 - < 0,47)
	2006	16	< 0,17 (< 0,06 - 0,36)
Huhn/Hähnchen	2005	137	< 0,16 (< 0,05 - < 0,43)
	2006	131	< 0,18 (< 0,05 - 3,22)
Pute	2005	52	< 0,13 (< 0,05 - 0,25)
	2006	54	< 0,15 (0,04 - 0,79)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Federwild	2005	-	
	2006	2	< 0,16 (< 0,11 - < 0,21)
Hirsch	2005	11	< 9,27 (< 0,06 - 59,7)
	2006	31	< 8,83 (< 0,09 - 134,0)
Reh	2005	123	< 20,0 (< 0,11 - 257)
	2006	133	< 24,6 (0,03 - 548)
Rot-/Damwild	2005	9	17,0 (0,25 - 63,0)
	2006	7	< 5,35 (< 0,19 - 12,7)
Wildschwein	2005	356	< 679 (< 0,05 - 12.800)
	2006	240	< 478,9 (< 0,08 - 16.600)
Sonstiges Haarwild	2005	-	
	2006	9	< 16,7 (< 0,03 - 72,6)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-9 Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2005	16	< 0,12 (< 0,04 - < 0,17)	1	0,04
	2006	11	< 0,13 (< 0,06 - < 0,16)	1	0,03
Bayern	2005	35	< 0,27 (< 0,10 - 0,71)	3	0,26 (0,11 - 0,54)
	2006	38	< 0,39 (0,11 - 1,74)	2	0,08 (0,04 - 0,11)
Berlin	2005	2	< 0,13 (< 0,07 - < 0,18)	1	0,02
	2006	3	< 0,09 (< 0,07 - 0,11)	1	0,02
Brandenburg	2005	12	< 0,14 (< 0,08 - 0,30)	1	0,02
	2006	10	< 0,12 (< 0,10 - 0,20)	1	0,01
Bremen	2005	2	< 0,06 (0,03 - < 0,09)	-	
	2006	2	0,15 (0,04 - 0,25)	-	
Hamburg	2005	2	< 0,12 (< 0,11 - < 0,12)	-	
	2006	1	< 0,15	-	
Hessen	2005	4	< 0,14 (< 0,10 - < 0,17)	-	
	2006	5	< 0,13 (< 0,10 - 0,15)	1	0,05
Mecklenburg-Vorpommern	2005	12	< 0,09 (0,03 - 0,11)	2	0,02 (0,01 - 0,03)
	2006	12	< 0,1 (< 0,06 - 0,15)	1	0,04
Niedersachsen	2005	38	< 0,15 (< 0,04 - 0,41)	4	< 0,01 (< 0,00 - < 0,02)
	2006	44	< 0,20 (< 0,08 - 1,60)	4	< 0,04 (< 0,02 - 0,07)
Nordrhein-Westfalen	2005	19	< 0,14 (< 0,06 - 0,43)	5	< 0,05 (< 0,01 - 0,12)
	2006	18	< 0,13 (< 0,06 - 0,29)	5	0,08 (0,01 - 0,30)
Rheinland-Pfalz	2005	6	< 0,12 (< 0,04 - < 0,21)	2	0,03 (0,03 - 0,03)
	2006	5	< 0,08 (< 0,03 - < 0,14)	3	0,04 (0,02 - 0,06)
Saarland	2005	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
	2006	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
Sachsen	2005	10	< 0,11 (< 0,08 - < 0,14)	1	0,02
	2006	11	< 0,12 (< 0,08 - 0,17)	1	0,03
Sachsen-Anhalt	2005	9	< 0,20 (< 0,11 - 0,71)	2	< 0,03 (< 0,02 - 0,03)
	2006	9	< 0,13 (0,07 - 0,21)	2	< 0,03 (< 0,02 - 0,04)
Schleswig-Holstein	2005	6	< 0,13 (< 0,09 - < 0,18)	1	0,05
	2006	6	< 0,15 (< 0,09 - < 0,18)	1	0,03

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Thüringen	2005	6	< 0,11 (< 0,09 - < 0,12)	1	0,02
	2006	6	< 0,11 (< 0,10 - < 0,14)	1	0,01
Bundesrepublik (gesamt)	2005	181	< 0,16 (0,03 - 0,71)	24	< 0,06 (< 0,00 - 0,54)
	2006	183	< 0,2 (< 0,03 - 1,74)	24	< 0,05 (0,01 - 0,30)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 2.4.7-10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import)**

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2005	645	< 0,17 (< 0,02 - 4,60)	70	0,19 (0,03 - 0,67)
	2006	661	< 0,18 (< 0,03 - 6,76)	78	0,17 (0,02 - 0,66)
Fruchtgemüse	2005	221	< 0,13 (< 0,03 - 0,45)	11	0,06 (0,03 - 0,08)
	2006	215	< 0,14 (< 0,03 - 0,35)	8	0,07 (0,02 - 0,14)
Sprossgemüse	2005	282	< 0,13 (< 0,02 - 0,53)	17	0,09 (0,001 - 0,67)
	2006	268	< 0,16 (< 0,03 - 7,27)	11	0,04 (0,01 - 0,09)
Wurzelgemüse	2005	185	< 0,15 (< 0,02 - 0,54)	14	0,15 (0,04 - 0,41)
	2006	196	< 0,16 (< 0,02 - 0,99)	15	0,17 (0,03 - 0,53)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2005	7	< 0,50 (< 0,11 - 1,60)
	2006	9	< 0,20 (< 0,13 - < 0,25)
Kulturpilzprodukte, getrocknet	2005	1	< 0,26
	2006	7	< 129 (< 0,31 - 499)
Wild-Blätterpilze	2005	37	< 40,1 (< 0,09 - 267)
	2006	65	< 46,9 (< 0,09 - 1.700)
Wild-Leisten- u. Trompetenpilze	2005	35	< 37,3 (< 0,20 - 297)
	2006	57	< 67,8 (0,25 - 1.000)
Wild-Röhrenpilze	2005	85	< 173 (0,08 - 1.950)
	2006	213	< 135 (< 0,16 - 1.750)
Sonstige Wildpilze	2005	30	< 11,7 (< 0,21 - 233)
	2006	39	< 36,5 (< 0,27 - 579)
Wildpilzmischungen	2005	3	34,2 (7,12 - 87)
	2006	17	< 42,7 (< 0,10 - 519)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Wildpilzprodukte	2005	12	< 21,8 ($< 0,26 - 105$)
	2006	18	< 82,8 ($< 0,20 - 237$)

Tabelle 2.4.7-12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(*Fruit and rhubarb, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Beerenobst					
Erdbeeren	2005	92	< 0,14 (0,02 - 0,73)	6	0,07 (0,03 - 0,11)
	2006	93	< 0,13 ($< 0,03 - < 0,29$)	6	0,13 (0,03 - 0,29)
Wald- u. Wildbeeren	2005	26	< 24,7 ($< 0,11 - 192$)	-	
	2006	63	< 13,7 ($< 0,08 - 236$)	-	
Sonstige	2005	60	< 0,72 ($< 0,03 - 18,0$)	3	0,03 (0,02 - 0,05)
	2006	100	< 0,51 ($< 0,03 - 6,30$)	5	0,07 (0,02 - 0,15)
Kernobst	2005	204	< 0,16 (0,01 - $< 2,70$)	22	< 0,03 (0,01 - 0,16)
	2006	182	< 0,13 (0,02 - $< 1,20$)	17	< 0,02 (0,001 - 0,07)
Rhabarber	2005	24	< 0,13 ($< 0,05 - < 0,19$)	1	0,38
	2006	18	< 0,12 ($< 0,05 - < 0,20$)	2	0,08 (0,05 - 0,10)
Steinobst	2005	122	< 0,17 (0,01 - $< 2,41$)	10	< 0,06 ($< 0,02 - 0,16$)
	2006	139	< 0,28 (0,03 - 10,1)	11	< 0,07 ($< 0,02 - 0,20$)
Zitrusfrüchte	2005	11	< 0,10 ($< 0,02 - < 0,20$)	-	
	2006	17	< 0,11 ($< 0,02 - < 0,20$)	1	0,04
Sonstiges Frischobst	2005	-		-	
	2006	12	< 0,16 ($< 0,02 - < 0,40$)	-	
Obstprodukte	2005	4	< 0,21 ($< 0,14 - 0,35$)	-	
	2006	5	< 1,39 ($< 0,12 - 4,99$)	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Gewürze	2005	4	< 0,35 ($< 0,15 - 0,73$)
	2006	3	< 0,68 ($< 0,21 - 0,99$)
Honig			
	Blütenhonig	2005	31
	2006	29	< 8,04 ($< 0,10 - 76,2$)
Blütenhonigmischungen	2005	22	< 4,95 ($< 0,07 - 92,0$)
	2006	20	< 0,95 (0,14 - 5,70)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Waldhonig	2005	23	< 28,5 (0,21 - 130)
	2006	70	< 12,4 (< 0,39 - 86)
Hühnereier	2005	68	< 1,86 (< 0,20 - <3,74)
	2006	9	< 1,32 (< 0,07 - <2,40)
Kaffee, geröstet	2005	3	< 0,30 (< 0,15 - 0,45)
	2006	3	< 0,28 (0,18 - < 0,46)
Kakaopulver	2005	3	0,71 (0,52 - 0,83)
	2006	2	0,52 (0,41 - 0,62)
Ölsamen, Hülsenfrüchte	2005	2	< 0,17 (< 0,16 - < 0,18)
	2006	5	< 0,22 (< 0,05 - 0,50)
Schalenobst (Nüsse)	2005	19	< 0,48 (< 0,12 - <1,36)
	2006	10	< 1,17 (< 0,11 - 9,82)
Tee, fermentiert	2005	1	0,82
	2006	1	1,36

Tabelle 2.4.7-14 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15

Jahr	Sr-90 (Bq/kg FM)			Cs-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14*
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13*
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13*
1998	<0,18	<0,06	<0,03 *	<1,05	<0,25	<1,08	<0,13	<0,16	<0,14 *
1999	<0,20	<0,04	<0,07 *	<1,05	<0,22	<0,96	<0,12	<0,14	<0,12 *
2000	<0,16	<0,05	<0,03 *	<0,85	<0,24	<1,18	<0,14	<0,16	<0,14 *
2001	<0,20	<0,04	<0,04 *	<0,81	<0,25	<0,66	<0,13	<0,15	<0,13 *
2002	<0,19	<0,04	<0,03 *	<0,77	<0,23	<1,51	<0,16	<0,16	<0,13 *
2003	0,21	<0,04	<0,02 *	<0,81	<0,20	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2004	<0,17	<0,04	<0,02 *	<1,06	<0,23	<0,78	<0,14	<0,16	<0,13 *
2005	0,18	<0,06	<0,03 *	<1,26	<0,19	<0,66	<0,14	<0,16	<0,16 *
2006	0,16	< 0,05	< 0,02 *	< 1,13	< 0,21	< 0,14	< 0,15	< 0,20	< 0,13 *

* Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2006 mit 0,29 Bq/(d • p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,11 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

$$\text{Sr-90} : 44 \text{ Bq/(a} \cdot \text{p)}$$

$$\text{Cs-137} : 106 \text{ Bq/(a} \cdot \text{p)}$$

Tabelle 2.4.7-15 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2005	92	<0,23 (<0,02 - 1,01)	22	<0,10 (<0,00 - 0,28)

Monat	Jahr	Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d · p) (d = Tag und p = Person)		Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d · p) (d = Tag und p = Person)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Februar	2006	89	< 0,30 (< 0,06 - 5,0)	21	< 0,12 (0,01 - 0,33)
	2005	82	< 0,35 (< 0,01 - 2,64)	19	< 0,12 (< 0,02 - 0,48)
	2006	81	< 0,44 (0,03 - 8,71)	21	< 0,13 (0,02 - 0,42)
März	2005	92	< 0,26 (< 0,04 - 1,12)	21	< 0,11 (0,02 - 0,43)
	2006	87	< 0,29 (< 0,06 - 3,57)	18	< 0,13 (0,001 - 0,71)
April	2005	83	< 0,41 (< 0,00 - 10,7)	14	< 0,11 (0,01 - 0,31)
	2006	83	< 0,29 (0,03 - 2,15)	18	< 0,11 (< 0,02 - 0,40)
Mai	2005	93	< 0,18 (0,04 - 0,68)	19	< 0,10 (0,01 - 0,51)
	2006	100	< 0,24 (< 0,01 - 2,80)	21	0,09 (0,02 - 0,23)
Juni	2005	86	< 0,50 (< 0,04 - 24,3)	23	< 0,08 (< 0,02 - 0,22)
	2006	83	< 0,21 (< 0,04 - 0,67)	18	0,11 (0,03 - 0,27)
Juli	2005	85	< 0,38 (0,02 - 8,40)	15	0,09 (0,01 - 0,22)
	2006	89	< 0,23 (0,02 - 1,03)	21	< 0,09 (0,01 - 0,32)
August	2005	95	< 0,19 (0,03 - 0,50)	17	< 0,07 (0,01 - 0,18)
	2006	89	< 0,29 (< 0,02 - 6,43)	18	< 0,10 (< 0,02 - 0,25)
September	2005	89	< 0,21 (0,02 - 1,24)	22	< 0,10 (0,01 - 0,30)
	2006	86	< 0,24 (< 0,02 - 1,75)	19	< 0,08 (0,01 - 0,20)
Oktober	2005	91	< 0,25 (0,00 - 2,20)	22	0,11 (0,01 - 0,49)
	2006	99	< 0,36 (0,02 - 3,90)	22	0,13 (0,03 - 0,48)
November	2005	85	< 0,24 (< 0,01 - 2,00)	13	0,17 (0,03 - 0,54)
	2006	84	< 0,28 (0,05 - 3,30)	18	0,18 (0,04 - 0,87)
Dezember	2005	85	< 0,29 (0,05 - 4,16)	15	0,13 (0,02 - 0,29)
	2006	80	< 0,31 (< 0,001 - 7,00)	16	< 0,12 (< 0,02 - 0,36)
Jahr (gesamt)	2005	1058	< 0,29 (< 0,00 - 24,3)	222	< 0,11 (< 0,00 - 0,54)
	2006	1050	< 0,29 (< 0,001 - 8,71)	231	< 0,12 (0,001 - 0,87)

**Tabelle 2.4.7-16 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)**

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2005	21	< 0,16 (0,03 - 0,60)	11	< 0,04 (0,01 - 0,07)
	2006	27	< 0,15 (< 0,03 - 0,48)	8	0,05 (0,01 - 0,08)
Februar	2005	24	< 0,16 (< 0,00 - 0,90)	3	0,01 (0,00 - 0,02)
	2006	22	< 0,26 (< 0,03 - 3,12)	8	< 0,13 (0,001 - 0,72)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
März	2005	17	< 0,20 (0,03 - 0,76)	5	0,04 (0,01 - 0,08)
	2006	19	< 0,17 (< 0,07 - < 0,45)	2	< 0,02 (0,01 - < 0,02)
April	2005	24	< 0,30 (0,02 - 4,32)	8	< 0,07 (0,01 - 0,24)
	2006	19	< 0,15 (< 0,02 - 0,61)	6	< 0,03 (< 0,02 - 0,09)
Mai	2005	18	< 0,13 (< 0,02 - < 0,40)	2	0,06 (0,02 - 0,09)
	2006	20	< 0,12 (< 0,02 - < 0,21)	4	< 0,11 (< 0,02 - 0,32)
Juni	2005	20	< 0,13 (< 0,02 - < 0,21)	2	0,07 (0,02 - 0,12)
	2006	20	< 0,15 (< 0,04 - 0,32)	5	< 0,09 (< 0,01 - 0,28)
Juli	2005	16	< 0,17 (0,02 - 0,62)	8	0,07 (0,01 - 0,31)
	2006	24	< 0,11 (0,02 - 0,25)	9	< 0,04 (< 0,01 - 0,12)
August	2005	23	< 0,12 (< 0,02 - 0,24)	6	< 0,03 (0,01 - 0,04)
	2006	21	< 0,14 (< 0,03 - 0,59)	3	< 0,07 (< 0,02 - 0,10)
September	2005	19	< 0,22 (< 0,04 - 1,50)	3	0,05 (0,03 - 0,07)
	2006	20	< 0,16 (0,03 - 0,45)	3	0,05 (0,01 - 0,08)
Oktober	2005	28	< 0,15 (< 0,04 - 0,36)	5	< 0,07 (0,01 - 0,28)
	2006	20	< 0,13 (< 0,03 - < 0,30)	4	< 0,04 (< 0,02 - 0,08)
November	2005	21	< 0,17 (< 0,05 - 0,64)	2	0,04 (0,04 - 0,04)
	2006	23	< 0,21 (< 0,001 - 1,70)	3	0,03 (0,01 - 0,05)
Dezember	2005	16	< 0,13 (< 0,04 - 0,58)	1	0,04
	2006	16	< 0,13 (< 0,03 - 0,42)	1	0,02
Jahr (gesamt)	2005	247	< 0,17 (< 0,00 - 4,32)	56	< 0,05 (0,001 - 0,31)
	2006	251	< 0,16 (< 0,001 - 3,12)	56	< 0,06 (0,001 - 0,72)

2.4.8 Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)

Die Aktivitätskonzentrationen in Pflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 2.4.8-1 und 2.4.8-2, für Obst in Tabelle 2.4.8-3 und für Kartoffeln in Tabelle 2.4.8-4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.4.8-1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM						
		2004		2005		2006		
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)	
BADEN-WÜRTTEMBERG								
FZ Karlsruhe	Cs-137	9	<0,07	22	<0,04	a)		
	Sr-90	3	0,11	7	0,18	a)		
KWO Obrigheim	Cs-137	17	<0,07	15	<0,06	a)		
	Sr-90	9	0,10	10	0,10	a)		
GKN Neckarwestheim	Cs-137	15	<0,08	12	<0,06	a)		
	Sr-90	8	0,09	7	0,08	a)		
KKP Philippsburg	Cs-137	4	<0,03	6	<0,06	1		<0,04
	Sr-90	2	0,05	2	0,08	1		0,07
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	12	<0,06	24	<0,09	a)		
	Sr-90	6	0,52	5	0,22	a)		
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	15	<0,11	15	<0,07	a)		
	Sr-90	4	0,14	6	0,08	a)		
BAYERN								
KRB Gundremmingen	Cs-137	1	<0,2	1	<0,2	a)		
	Sr-90	1	0,35	1	0,23	a)		
KKI Isar	Cs-137	1	<0,2	1	<0,2	1		<0,04
	Sr-90	1	0,33	1	0,18	1		0,10
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	1	<0,2	2	<0,2	3		<0,14 (<0,02 - 0,34)
	Sr-90	1	0,2	2	0,19	3		<0,11 (<0,02 - 0,26)
BERLIN								
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	13	<0,16	10	<0,15	9		<0,14 (0,06 - <0,22)
	Sr-90	3	0,17	3	0,10	1		0,11
BRANDENBURG								
KKR Rheinsberg	Cs-137	18	<0,14	17	<0,15	17	<0,13 (<0,09-<0,17)	
	Sr-90	14	0,11	17	0,20	17	0,19 (0,03 - 0,57)	
HESSEN								
KWB Biblis	Cs-137	10	<0,04	9	<0,07	a)		
	Sr-90	10	0,08	8	0,08	a)		

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
Nuklearbetriebe Hanau	Gesamt- α Asche			a)		a)	
	Pu-238 Asche	1	<0,06	1	<0,07	a)	
	Pu-(239+ 240) Asche	1	0,12	1	<0,07	a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	2	<0,12	a)		a)	
	Sr-90	2	0,14	a)		a)	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	4	<0,10	4	<0,11	3	<0,09 (<0,07 - <0,1)
	Sr-90	4	0,14	4	0,25	3	0,13 (0,09 - 0,19)
KKU Unterweser	Cs-137	7	<0,09	7	<0,11	4	<0,09 (<0,08 - <0,1)
	Sr-90	7	0,09	7	0,13	4	0,18 (0,09 - 0,28)
KWG Grohnde	Cs-137	5	<0,10	4	<0,11	3	<0,08 (<0,07-<0,09)
	Sr-90	5	0,18	4	0,28	3	0,08 (0,03 - 0,15)
KKE Emsland	Cs-137	7	<0,10	7	<0,13	4	<0,09 (0,06 - <0,12)
	Sr-90	7	0,24	7	0,23	4	0,23 (0,19 - 0,28)
Schacht Konrad II b)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137			3	<0,12	a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	10	<0,14	6	<0,12	4	<0,25 (<0,09 - <0,3)
	Sr-90	10	<0,20	5	0,07	4	0,09 (0,04 - 0,15)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	5	<2,1 (<1,5 - 3,3)	a)		7	<4,7 (<1,5 - 11,7)
	Uran (Bq/kg TM)	5	<0,26	a)		7	<0,31 (0,05 - 0,76)
	U-238 (Bq/kg TM)	5	<0,1	3	<0,4		
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,06	1	<0,02	a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)			

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	1	<0,1	5	<0,26	5	<0,11 (<0,09-<0,14)
	Sr-90	1	0,13	2	0,11	1	0,19
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	2	<0,2	2	<0,16	a)	
	Sr-90	1	0,19	1	0,25	a)	
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,10	1	<0,16	1	<0,08
	Sr-90	1	0,15	1	0,17	1	0,07
KKB Brunsbüttel	Cs-137	1	<0,07	1	<0,1	3	<0,10 (<0,08-<0,13)
	Sr-90					2	0,11 (0,07 - 0,14)
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,06	1	<0,05	2	<0,08 (<0,07-<0,08)
	Sr-90	2	0,08	1	0,13	1	0,05

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Gegen den Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad wurden mehrere Klagen eingereicht. Bis zur gerichtlichen Entscheidung durch das Bundesverwaltungsgericht Leipzig am 26.03.2007 befand sich die Schachanlage im Offenhaltungsbetrieb. Mit den gerichtlichen Urteilen ist der Planfeststellungsbeschluss rechtskräftig und vollziehbar.

Tabelle 2.4.8-2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Messver- fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	7	<0,07	6	<0,06	a)	
	Sr-90	2	0,32	3	0,16	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	6	<0,10	6	<0,16	a)	
	Sr-90	3	0,10	3	0,14	a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	6	<0,08	7	<0,11	a)	
	Sr-90	3		3	0,16	a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	7	<0,07	5	<0,09	1	<0,13
	Sr-90	4	0,15	3	0,11	a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	4	<0,08	4	<0,06	a)	
	Sr-90	4	0,27	3	0,20	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	3	<0,09	4	<0,09	a)	
	Sr-90	3	0,20	1	0,12	a)	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Messver- fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	4	<0,2	4	<0,2	1	0,04
	Sr-90	4	0,04	4	0,14	a)	
KKI Isar	Cs-137	5	<0,2	3	<0,2	5	<0,07 (0,04 - 0,11)
	Sr-90	5	<0,31	3	0,13	5	<0,07 (<0,02 - 0,12)
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	<0,2	2	<0,2	1	0,91
	Sr-90	2	0,19	2	0,26	1	0,08
SBWK Karlstein	Gesamt- α	2	<0,2	2	<0,2	1	<0,14
		2	0,47	2	0,18	1	0,16
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	a)		a)		a)	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	12	<0,10	9	<0,12	a)	
	Sr-90	10	0,08	9	0,13	a)	
Nuklearbetriebe Hanau	Gesamt- α Asche	a)		a)		a)	
	Pu-238 Asche	1	<0,06	a)		a)	
	Pu-(239+ 240) Asche	1	<0,05	a)		a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	7	<0,12	10	<0,17	a)	
	Sr-90	7	0,16	10	0,15	a)	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	2	<0,14	2	<0,13	a)	
	Sr-90	2	0,43	2	0,21	a)	
KKE Emsland	Cs-137	1	<0,17	1	<0,06	1	0,55
	Sr-90	1	0,55	1	0,40	1	0,12
Schacht Konrad II b)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Messver- fahren / Nuklid	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
NORDRHEIN-WESTFALEN							
Zwischenlager Ahaus	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
FZ Jülich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	18	<1,5	18	<1,5	18	<1,5 (<1,5 - <1,5)
	Uran (Bq/kg TM)	18	<0,23	18	<0,23	18	<0,23(<0,23 - <0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	4	<0,1	4	<0,4	a)	
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)			
SACHSEN							
VKTA Rossendorf	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	4	0,16	3	<0,18	3	<0,15 (<0,14-<0,16)
	Sr-90	1	0,22	1	0,08	2	0,19 (0,13 - 0,25)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
GKSS Geesthacht	Cs-137	1	<0,16	1	<0,17	1	<0,14
	Sr-90	1	0,23	1	0,33	1	0,41
KKB Brunsbüttel	Cs-137	2	<0,10	2	<0,08	a)	
	Sr-90	2	0,13	2	0,10	a)	
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,06	2	<0,07	2	0,05 (0,04 - 0,07)
	Sr-90	2	0,32	2	0,24	2	0,24 (0,23 - 0,24)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Gegen den Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad wurden mehrere Klagen eingereicht. Bis zur gerichtlichen Entscheidung durch das Bundesverwaltungsgericht Leipzig am 26.03.2007 befand sich die Schachanlage im Offenhaltungsbetrieb. Mit den gerichtlichen Urteilen ist der Planfeststellungsbeschluss rechtskräftig und vollziehbar.

Tabelle 2.4.8-3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	3	<0,05	5	<0,04	a)	<0,08 (<0,07 - <0,1)
	Sr-90	1	0,34	3	0,28	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	7	<0,05	6	<0,04	a)	
	Sr-90	3	0,10	3	0,08	a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	5	<0,06	5	<0,06	a)	
	Sr-90	2	0,08	2	0,09	a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	5	<0,08	5	<0,08	3	
	Sr-90	1	0,02	3	0,05	1	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	8	<0,05	5	<0,06	a)	
	Sr-90	1	0,02	3	0,18	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	<0,09	3	<0,05	a)	
	Sr-90	2	0,24	3	0,10	a)	
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	2	<0,2	2	<0,2	1	<0,02
	Sr-90	2	0,05	2	0,08	a)	
KKI Isar	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	3	<0,2	2	<0,2	5	<0,08 (<0,03-0,21)
	Sr-90	3	0,12	2	0,05	5	<0,03 (<0,02-0,05)
Berlin							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	4	<0,11	3	<0,09	4	<0,05 (<0,04-0,06)
	Sr-90	1	0,05	1	0,04	1	0,18
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		1	<0,1	a)	
	Sr-90	a)		1	0,1	a)	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	4	<0,02	4	<0,03	a)	
	Sr-90	4	0,01	4	0,009	a)	

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	14	<0,15	11	<0,13	a)	
	Sr-90	8	0,06	8	0,04	a)	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	3	<0,08	7	<0,05	4	<0,05 (<0,03-<0,06)
	Sr-90	3	<0,04	3	0,03	a)	
KKU Unterweser	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
KWG Grohnde	Cs-137	a)		1	<0,11	a)	
	Sr-90	a)		1	0,11	a)	
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
Schacht Konrad II b)	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	1	<0,2	1	<0,07	4	<0,17 (<0,08-<0,2)
	Sr-90	1	0,03	1	0,02	4	0,05 (0,04-0,06)
UAG Gronau	Fluor (mg/kg TM)	a)				2	3,3 (2,2-4,3)
	Uran (Bq/kg TM)	a)		a)		2	<0,23 (<0,23-<0,23)
	U-238 (Bq/kg TM)	3	<0,1	3	<0,4		
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	<0,04	2	<0,20	3	<0,04 (<0,03-<0,05)
	Sr-90	a)		a)		a)	
KKW Cattenom (Frankreich)	Cs-137	a)		a)			
SACHSEN							
VKTA Rossendorff	Cs-137	1	<0,08	1	<0,11	1	<0,09
	Sr-90	1	0,02	2	0,02	a)	
SACHSEN-ANHALT							
Endlager Morsleben	Cs-137	3	<0,13	4	<0,13	4	<0,14 (<0,11-<0,17)
	Sr-90	2	<0,14	2	<0,03	2	<0,03 (<0,0 -0,03)
SCHLESWIG-HOLSTEIN							
KKK Krümmel	Cs-137	2	<0,03	a)		2	<0,04 (<0,02-<0,06)
	Sr-90	2	0,05	a)		2	0,05 (0,05-0,06)

a) Messwerte lagen nicht vor

b) Gegen den Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad wurden mehrere Klagen eingereicht. Bis zur gerichtlichen Entscheidung durch das Bundesverwaltungsgericht Leipzig am 26.03.2007 befand sich die Schachanlage im Offenhaltungsbetrieb. Mit den gerichtlichen Urteilen ist der Planfeststellungsbeschluss rechtskräftig und vollziehbar

Tabelle 2.4.8-4 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)

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
BADEN-WÜRTTEMBERG							
FZ Karlsruhe	Cs-137	2	<0,03	3	<0,03	a)	
	Sr-90	2	0,02	1	0,03	a)	
KWO Obrigheim	Cs-137	2	<0,06	2	<0,05	a)	
	Sr-90	2	0,03	2	0,02	a)	
GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	<0,08	3	<0,05	a)	
	Sr-90	3	0,02	3	0,03	a)	
KKP Philippsburg	Cs-137	2	<0,04	2	<0,03	a)	
	Sr-90	4	0,02	1	0,03	a)	
KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	4	<0,06	4	<0,05	a)	
	Sr-90	4	0,05	2	0,05	a)	
KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	<0,09	3	<0,03	a)	
	Sr-90	2	0,02	a)		a)	
BAYERN							
KRB Gundremmingen	Cs-137	a)		a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
BERLIN							
Forschungsreaktor BERII	Cs-137	2	<0,20	2	<0,12	2	<0,1 (<0,09 - 0,1)
	Sr-90	a)		1	0,03	a)	
BRANDENBURG							
KKR Rheinsberg	Cs-137	a)		a)		1	<0,12
	Sr-90	a)		a)		a)	
HESSEN							
KWB Biblis	Cs-137	3	<0,05	7	<0,05	a)	
	Sr-90	3	0,03	7	0,03	a)	
MECKLENBURG-VORPOMMERN							
KGR Greifswald	Cs-137	1	<0,08	a)		a)	
	Sr-90	a)		a)		a)	
NIEDERSACHSEN							
KKS Stade	Cs-137	1	0,09	1	<0,12	1	0,13
	Sr-90	1	0,04	1	0,3	1	0,12

LAND/ Kerntechnische Anlage	Nuklid / Mess- verfahren	Aktivität in Bq/kg FM					
		2004		2005		2006	
		N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert (Bereich)
KKU Unterweser	Cs-137	1	0,21	1	<0,12	1	<0,08
	Sr-90	1	0,07	1	0,04	1	0,03
KWG Grohnde	Cs-137	1	0,07	1	<0,08	a)	
	Sr-90	1	0,06	1	0,05	a)	
KKE Emsland	Cs-137	a)		a)		1	0,09
	Sr-90	a)		a)		1	0,03
Forschungsbergwerk Asse	Cs-137			1	<0,12	a)	
NORDRHEIN-WESTFALEN							
FZ Jülich	Cs-137	a)		4	<0,12	1	<0,09
	Sr-90	a)		4	0,11	1	0,02
RHEINLAND-PFALZ							
KMK Mülheim-Kärlich	Cs-137	1	<0,03	2	<0,03	1	<0,04
KKW Cattenom (Frankreich)	Sr-90	a)		a)		a)	
	Cs-137	a)		a)			

a) Messwerte lagen nicht vor

2.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (Tobacco products, consumer goods, medical preparations and the constituent materials)

In Tabelle 2.5-1 sind die von der Leitstelle ermittelten Jahresmittelwerte der Cs-137- und K-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel und Tees dienen, für 2006 zusammengefasst. Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 liegen mit maximal 1.200 Bq/kg (TM) bei Brennesselblättern aus Bulgarien und minimal 60 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Bosnien-Herzegowina im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten des Cs-137 erreichen Spitzenwerte von etwa 320 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern aus Polen und etwa 30 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Bosnien-Herzegowina.

In Tabelle 2.5-2 sind spezifische Aktivitätswerte der Importproben aus der IMIS-Datenbank für Arzneimittelausgangsstoffe zusammengestellt, die von den Bundesländern im Rahmen der Vorgabe nach § 3 StrVG (Routinemessprogramm) ermittelt wurden.

Die erhobenen Messwerte der Bundesländer und der Leitstelle weisen vergleichbare Aktivitäten auf.

Tabelle 2.5-1 Jahresmittelwerte der Cs-137- und K-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Ausgangsstoffen für Arzneimittel für 2006 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of the Cs-137 and K-40 concentrations in different medicinal plants and products for pharmaceuticals, and indication of their country of origin, in the year 2006)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Ginkgoblätter	China	460	NWG: 0,1
Kürbiskerne	Österreich	300	0,1
Lindenblüten	Bulgarien	580	1,4
Pfefferminzblätter	Mazedonien	610	1,0
Salbei KBA ¹⁾	Kroatien	440	1,0
Kamillenblüten	Mazedonien	970	0,4
Hagebuttenschalen	Argentinien	590	NWG: 0,1
Island Moos	Bosnien-Herzegowina	60	30
Johanniskraut	Polen	500	0,14
Ringelblumenblüten	Ägypten	1.200	NWG: 0,3
Spitzwegerichkraut	Polen	1.160	0,40
Brennnesselblätter	Bulgarien	1.220	NWG: 0,3
Mateblätter, grün	Brasilien	420	0,4
Zimtrinde Stangen	Indonesien	220	0,7
Thymian, gerebelt	Polen	510	1,5
Lavendelblüten	Frankreich	610	0,4
Wacholderbeeren	Bosnien-Herzegowina	300	0,6
Majoran, gerebelt	Ägypten	800	0,3
Pfeffer, schwarz, ganz	Brasilien	440	0,8
Fenchel	Bulgarien	510	NWG: 0,2
Bitterkleeblätter	Polen	790	320
Grüner Tee	China	510	0,2
Melissenblätter	Serbien	820	0,7

¹⁾ KBA: kontrolliert biologischer Anbau

Tabelle 2.5-2 Cs-137- und K-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Ausgangsstoffen für Arzneimittel aus der IMIS-Datenbank für 2006, mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Cs-137 and K-40 concentrations in different medicinal plants and products for pharmaceuticals from the IMIS data base in the year 2006, and indication of their country of origin)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Pfefferminzblätter	Bulgarien	750	2,0
Kamillenblüten	Ägypten	850	NWG: 0,2
Hagebuttenschalen	Chile	610	NWG: 0,2
Brennnesselblätter	Polen	490	31
Hibiskusblüten	Thailand	700	1,3
Wacholderbeeren	Kroatien	280	NWG: 0,2
Fenchel	Ungarn	760	NWG: 0,2
Salbei	Albanien	580	1,7
Baldrian	Polen	370	1,6
Sennesblätter	Indien	220	NWG: 0,2
Süßholzwurzel	China	250	NWG: 0,2

2.6 Abwasser und Klärschlamm (Waste water and sludge)

Allgemeine Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm sind in Teil A - II - 2.6 dargestellt. Dem Bericht für das Jahr 2006 liegen die Messergebnisse aus 92 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. auf teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In Tabelle 2.6-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90 und den Uranisotopen.

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 der regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2006 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 750 Bq/kg TM (Vorjahr bis 2400 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 170 bzw. 110 Bq/kg TM (Vorjahr 230 bzw. 190 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: 37 Bq/kg TM; Maximalwert: 1700 Bq/kg TM, Vorjahr 43 bzw. 3100 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Maximalwert Abwasser: 28 Bq/l, Maximalwert Klärschlamm: 400 Bq/kg TM) sowie Tl-201 (Maximalwert: 45 Bq/kg TM) und In-111 (Maximalwert: 51 Bq/kg TM). Im Klärschlamm einer Hamburger Kläranlage wurden die Plutoniumisotope Pu-238 und Pu-(239+240), die bei Kernwaffenversuchen in den 50er und 60er Jahren freigesetzt worden sind, in Spuren von 0,0008 bzw. 0,02 Bq/kg TM nachgewiesen.

Von den infolge des Kernkraftwerkunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten sind für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung, wobei die Kontaminationen teilweise und bei letzterem Nuklid sogar hauptsächlich durch den Fallout aus der Zeit der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1975 bedingt sind. Das kurzlebige Cäsiumisotop Cs-134 ist praktisch nicht mehr nachzuweisen. Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Unfall 0,5 : 1 betrug, hat sich rechnerisch auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertszeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2006, d. h. im Laufe von 20 Jahren auf etwa 0,00095 : 1 verschoben (Vorjahr 0,0013 : 1). 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% 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 2006 zwischen 0,0014 und 0,01 Bq/l, bei einem Median von < 0,032 Bq/l (2005: zwischen 0,0012 und 0,20 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 starker Niederschläge Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 2.6-1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2006 – wie seit bereits mehr als eineinhalb Jahrzehnten - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 71 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 1998 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten 170, 180, 140, 140, 110, 110, 98, 86 und 71 Bq/kg TM.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme aller Bundesländer in den letzten acht Jahren ist in Abbildung 2.6-1 dargestellt. Die in der Vergangenheit deutlich sichtbare Tendenz einer kontinuierlichen Abnahme der Kontamination der Klärschlämme ist nur noch in wenigen Fällen zu beobachten, z. B. in Sachsen-Anhalt und Berlin. Dies gilt auch teilweise für höher kontaminierte Gebiete. Im Zeitraum von 1988 bis 2006 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich über ein nahezu konstantes Niveau in den Jahren 1999 bis 2002 weiterhin verringern: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38, 37, 44, 30, 25, 24 und 24 Bq/kg TM. Nach einem sehr drastischen Anstieg des Jahresmittelwertes in Bremen in Jahr 2003 zeigt sich auch in diesem Bundesland wieder eine Tendenz zur Abnahme der Cs-137-Gehalte (vergl. Abbildung 2.6-1). Der extrem starke Anstieg des Jahresmittelwerts für Rheinland-Pfalz wird verursacht durch ungewöhnlich hohe Kontaminationen dreier Klärschlammproben aus der Kläranlage Trier. Dieser Schlamm wird in einem Trockenbeet entwässert und kann als Folge unregelmäßiger Ausräumung u. U. sehr große Inhomogenitäten aufweisen. Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen im Wesentlichen durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 71 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 12 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 durch den radioaktiven Zerfall von 2,3% pro Jahr des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe um ein Vielfaches kompensiert wird.

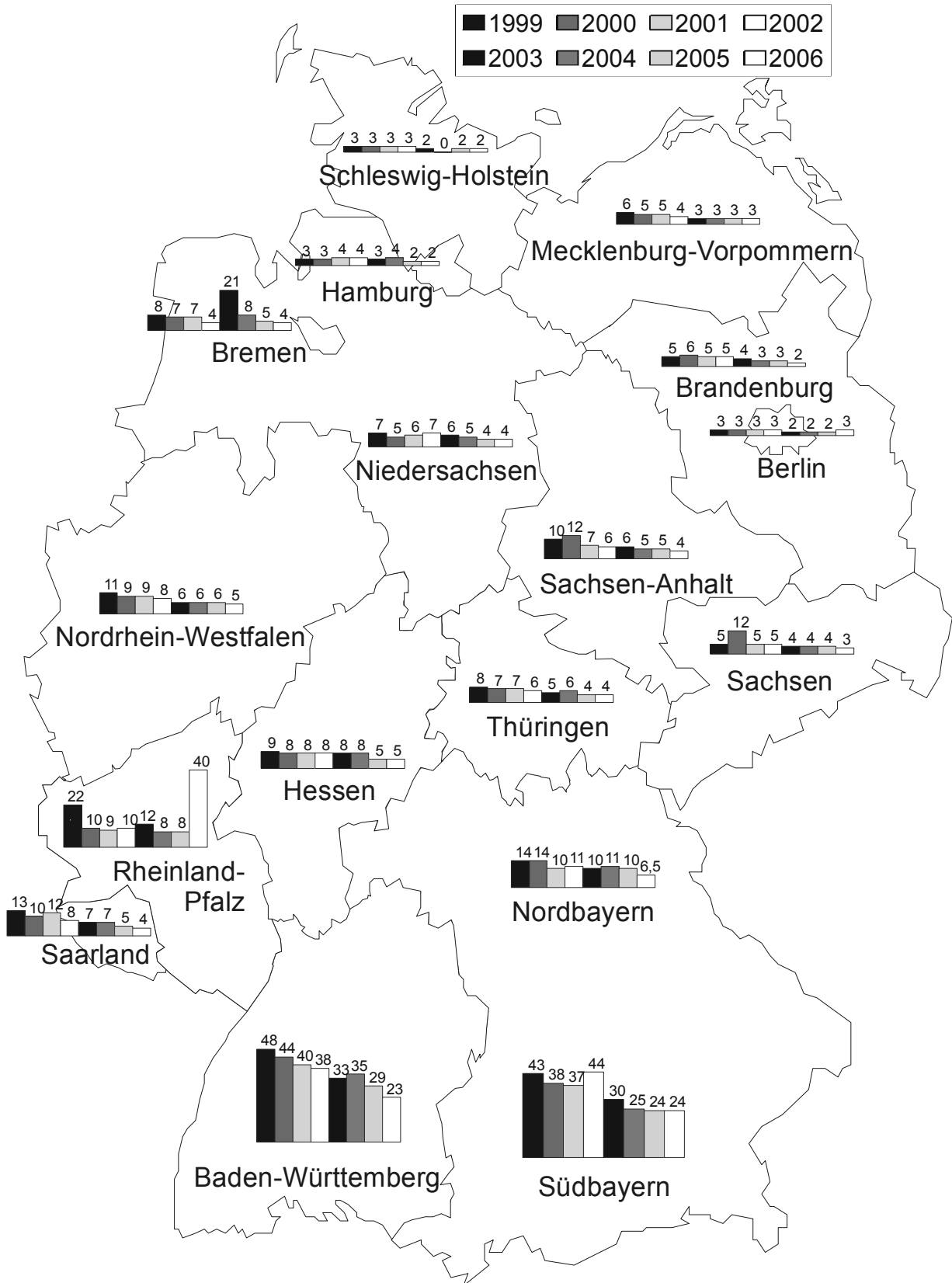


Abbildung 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal Länder)

Tabelle 2.6-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2006 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2006 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	20	0,07	1,1	0,39	<0,73
	Co-60	20	20				<0,086
	I-131	10	0				0,29
	Cs-137	20	20				<0,098
	Sr-90	4	4				<0,05
	U-234	4	4				<0,1
	U-235	4	4				<0,1
	U-238	4	4				<0,1
Hamburg	K-40	4	3	2,4	2,4	0,27	<1,6
	Co-60	4	4	0,14	0,38		<0,059
	I-131	4	0				0,29
	Cs-137	4	4				<0,057
	Sr-90	4	0				0,00066
	U-234	4	3				<0,00014
	U-235	4	4				<0,000078
	U-238	4	3				<0,00019
Niedersachsen	K-40	48	11			0,36	1,2
	Co-60	48	48	0,024	0,75	<0,025	
	I-131	48	16			0,082	
	Cs-137	48	48			<0,02	
	Sr-90	6	0			0,0084	
	U-234	4	2			0,0029	
	U-235	4	4			<0,00062	
	U-238	4	2			0,0024	
Bremen	K-40	8	2			1	2,4
	Co-60	8	8	0,13	0,56	<0,056	
	I-131	8	1			0,23	
	Cs-137	8	8			<0,063	
	Sr-90	4	4			<0,013	
	U-234	4	1			0,005	
	U-235	4	4			<0,00078	
	U-238	4	0			0,003	
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	31			0,53	5,1
	Co-60	40	40	0,05	0,58	<0,05	
	I-131	40	20			0,13	
	Cs-137	40	40			<0,05	
	Sr-90	4	2			0,15	
	U-234	4	1			0,0063	
	U-235	4	4			<0,0021	
	U-238	4	3			<0,0049	
Hessen	K-40	20	16			0,64	0,83
	Co-60	20	20	0,006	0,027	<0,048	
	I-131	15	15			<0,21	
	Cs-137	20	20			<0,052	
	Sr-90	4	4			<0,1	
	U-234	4	0			0,011	
	U-235	4	4			<0,005	
	U-238	4	1			0,008	

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Rheinland-Pfalz	K-40	20	9	0,67	2,6	1,4	<0,85
	Co-60	20	20				<0,026
	I-131	20	6	0,029	0,43	0,13	0,068
	Cs-137	20	20				<0,029
	Sr-90	4	0	0,0018	0,0026	0,0023	0,0024
	U-234	4	0	0,0045	0,047	0,023	0,019
	U-235	4	4				<0,0021
	U-238	4	0	0,0054	0,049	0,024	0,02
Baden-Württemberg	K-40	39	9	0,22	3,5	1,2	<0,78
	Co-60	39	39				<0,031
	I-131	39	24	0,023	0,51		<0,05
	Cs-137	39	39				<0,026
	Sr-90	4	1	0,0012	0,0015	0,0013	0,0014
	U-234	4	0	0,00061	0,0046	0,0033	0,0041
	U-235	4	4				<0,00062
	U-238	4	0	0,00061	0,0049	0,0029	0,003
Bayern	K-40	37	35	1,1	1,4		<1,2
	Co-60	37	37				<0,089
	I-131	6	0	0,16	0,72	0,42	0,43
	Cs-137	37	37				<0,097
	Sr-90	4	0	0,011	0,023	0,018	0,018
	U-234	4	0	0,0026	0,012	0,0075	0,0078
	U-235	4	3	0,00058	0,00058		<0,0007
	U-238	4	0	0,0026	0,013	0,008	0,0084
Saarland	K-40	6	0	0,46	1,2	0,82	0,85
	Co-60	6	6				<0,0099
	I-131	2	0	0,012	0,26	0,019	0,019
	Cs-137	6	6				<0,011
	Sr-90	2	0	0,004	0,0051	0,0046	0,0046
	U-234	2	0	0,002	0,0042	0,0031	0,0031
	U-235	2	2				<0,0002
	U-238	2	0	0,0014	0,0028	0,0021	0,0021
Berlin	K-40	4	0	0,078	0,91	0,82	0,8
	Co-60	4	4				<0,0011
	I-131	4	4				<0,024
	Cs-137	4	1	0,0019	0,0025	0,0022	0,002
	Sr-90	3	0	0,0027	0,0054	0,0039	0,0037
	U-234	3	0	0,0025	0,0057	0,0042	0,0045
	U-235	3	1	0,00016	0,00053	0,00035	0,00016
	U-238	3	0	0,0017	0,0035	0,0028	0,0033
Brandenburg	K-40	32	0	0,6	1,3	0,92	0,91
	Co-60	32	32				<0,006
	I-131	32	12	0,06	0,81	0,22	0,075
	Cs-137	32	20	0,0014	0,01		<0,0064
	Sr-90	11	0	0,002	0,0091	0,0035	0,003
	U-234	11	4	0,0007	0,002	0,0012	0,0008
	U-235	11	11				<0,00026
	U-238	11	5	0,0003	0,0017	0,00087	0,0004
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,32	1,1	0,66	0,65
	Co-60	20	20			0,12	<0,012
	I-131	15	0	0,023	0,39		0,08
	Cs-137	20	20			0,0069	<0,01
	Sr-90	4	1	0,0044	0,012	0,0081	0,0044
	U-234	4	2	0,0063	0,0099		<0,0082
	U-235	4	4				<0,0055
	U-238	4	4				<0,0011

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Sachsen	K-40	20	8	0,63	1,7	0,95	0,79
	Co-60	20	20				<0,072
	I-131	20	10	0,044	0,27		0,13
	Cs-137	20	20				<0,063
	Sr-90	4	4				<0,015
	U-234	4	0	0,0026	0,016	0,0072	0,0052
	U-235	4	4				<0,0018
	U-238	4	0	0,0028	0,013	0,0061	0,042
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	0,49	1,3	0,81	0,69
	Co-60	20	20				<0,0098
	I-131	20	5	0,013	0,58	0,16	0,053
	Cs-137	20	20				<0,0099
	Sr-90	3	3				<0,01
	U-234	3	0	0,003	0,051	0,032	0,043
	U-235	3	0	0,0014	0,0025	0,002	0,0021
	U-238	4	0	0,025	0,26	0,091	0,04
Thüringen	K-40	20	20				<2,1
	Co-60	20	20				<0,084
	I-131	3	0	0,088	0,29	0,16	0,11
	Cs-137	20	20				<0,09
	Sr-90	4	4				<0,0032
	U-234	4	0	0,0071	0,023	0,015	0,015
	U-235	4	4				<0,00073
	U-238	4	0	0,0044	0,012	0,0077	0,0072
Bundesrepublik Deutschland	K-40	358	164	0,22	5,1	0,96	<0,91
	Co-60	358	358				<0,035
	I-131	286	118	0,012	1,1	0,19	<0,095
	Cs-137	358	343	0,0014	0,01		<0,032
	Sr-90	69	27	0,00047	0,18	0,013	<0,0056
	U-234	67	17	0,00019	0,051	0,0091	0,005
	U-235	67	61	0,00016	0,0025		<0,00076
	U-238	68	22	0,00019	0,26	0,014	0,0039
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	18	230	67	62
	Co-60	20	20				<0,69
	I-131	20	0	4,5	57	26	22
	Cs-137	20	2	1,1	5,6	2,4	1,7
	Sr-90	4	0	2,3	4,1	3,1	3,1
	U-234	4	0	11	16	13	13
	U-235	4	4				<5
	U-238	4	0	9,5	14	12	12
Hamburg	K-40	8	0	100	420	260	250
	Co-60	8	8				<1,5
	I-131	8	0	11	260	79	61
	Cs-137	8	3	1,3	4,1	2,3	<2,8
	Sr-90	4	1	1	1,5	1,2	1,1
	U-234	4	0	11	16	13	12
	U-235	4	0	0,47	0,69	0,57	0,56
	U-238	4	0	9,7	14	11	11
Niedersachsen	K-40	40	0	37	750	210	120
	Co-60	40	40				<0,44
	I-131	40	0	6,9	1.700	170	70
	Cs-137	40	2	0,42	9,3	3,6	3,3
	Sr-90	4	0	2,1	7,8	3,8	2,6
	U-234	4	0	9,7	40	25	25
	U-235	4	1	0,44	1,5	1,1	1,3
	U-238	4	0	9,7	31	21	22

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Bremen	K-40	8	0	140	540	380	400
	Co-60	8	8				<2,9
	I-131	8	1	3,6	170	99	100
	Cs-137	8	2	1,8	5,9	4,2	5,2
	Sr-90	4	0	0,75	1,4	0,97	0,89
	U-234	4	0	9,8	14	12	12
	U-235	4	4				<0,68
	U-238	4	0	8,9	12	10	10
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	64	400	180	140
	Co-60	40	40				<0,25
	I-131	40	2	0,43	380	65	<3
	Cs-137	40	2	1,9	15	4,6	3,6
	Sr-90	4	0	2	18	12	14
	U-234	4	0	31	38	35	37
	U-235	4	0	0,9	1,7	1,4	1,5
	U-238	4	0	26	31	29	29
Hessen	K-40	20	0	90	280	150	150
	Co-60	20	20				<0,95
	I-131	19	3	5,1	140	50	31
	Cs-137	20	4	1,1	13	5,2	3,7
	Sr-90	4	1	0,44	1,7	1,1	1,3
	U-234	4	0	29	160	88	83
	U-235	4	0	1,1	5,2	2,9	2,7
	U-238	4	0	21	100	58	56
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	89	370	100	180
	Co-60	20	20				<0,51
	I-131	20	5	0,89	180	52	12
	Cs-137	20	3	1,3	340	40	5,3
	Sr-90	4	0	1,4	8,1	4,5	4,2
	U-234	4	0	38	53	46	46
	U-235	4	0	1,1	1,3	1,2	1,3
	U-238	4	0	29	34	32	32
Baden-Württemberg	K-40	39	0	64	470	200	170
	Co-60	39	39				<0,92
	I-131	39	9	2,1	700	110	48
	Cs-137	39	0	1,9	82	23	10
	Sr-90	4	0	0,63	1,5	1	1
	U-234	4	0	20	46	35	37
	U-235	4	0	0,7	1,9	1,4	1,4
	U-238	4	0	14	42	29	30
Baden-Württemberg (West ²)	Co-60	28	28				<0,79
	Cs-137	28	0	1,9	73	12	8,3
	Sr-90	2	0	0,63	0,65	0,64	0,64
Baden-Württemberg (Ost ³)	Co-60	11	11				<0,93
	Cs-137	11	0	16	82	52	56
	Sr-90	2	0	1,4	1,5	1,5	1,5
Bayern	K-40	39	0	61	560	250	230
	Co-60	39	39				<1,3
	I-131	35	0	9,3	1.600	99	35
	Cs-137	39	0	3,2	87	15	9,8
	Sr-90	4	2	8,8	15	12	12
	U-234	4	0	30	71	49	48
	U-235	8	0	1,1	9,8	5,6	5,7
	U-238	4	0	30	58	44	44
Bayern (Nord ²)	Co-60	19	19				<1,3
	Cs-137	19	0	3,2	13	6,5	6,6
	Sr-90	2	0	13	15	14	14

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Bayern (Süd ³)	Co-60	20	20				<1,3
	Cs-137	20	0	5,7	87	24	19
	Sr-90	2	0	8,8	12	10	10
Saarland	K-40	8	0	170	300	210	190
	Co-60	8	8				<0,42
	I-131	8	0	1,8	140	45	20
	Cs-137	8	0	1,7	7	4,3	3,9
	Sr-90	4	0	1,6	3,9	2,7	2,6
	U-234	4	0	36	47	43	45
	U-235	4	0	1,4	1,7	1,5	1,4
	U-238	4	0	27	33	31	32
Berlin	K-40	4	0	62	92	84	90
	Co-60	4	4				<0,74
	I-131	4	0	33	190	110	100
	Cs-137	4	1	1,6	3,9	2,5	1,9
	Sr-90	2	0	1,4	2,4	1,9	1,9
	U-234	2	0	7	16	11	11
	U-235	2	0	0,32	0,55	0,43	0,43
	U-238	2	0	6,6	14	10	10
Brandenburg	K-40	32	0	48	14	96	100
	Co-60	32	32				<0,22
	I-131	32	1	1	400	90	54
	Cs-137	32	0	1	5,9	2,1	1,8
	Sr-90	10	0	1,6	3,1	2,3	2
	U-234	10	0	14	38	19	18
	U-235	10	0	0,6	2	0,92	0,8
	U-238	10	0	10	33	17	16
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	59	200	110	110
	Co-60	20	20				<0,31
	I-131	20	0	5,1	160	65	61
	Cs-137	20	0	0,3	5,8	2,5	2,3
	Sr-90	4	1	2,7	4,5	3,5	3,4
	U-234	4	0	12	24	17	15
	U-235	4	1	0,45	0,94	0,73	0,87
	U-238	4	0	13	23	17	15
Sachsen	K-40	20	0	75	220	150	140
	Co-60	20	20				<0,57
	Cs-137	20	0	0,8	9,8	3,3	2,5
	Sr-90	4	1	0,88	4	2,3	2
	U-234	4	0	29	95	61	59
	U-235	4	2	3,2	3,6		3,2
	U-238	4	0	24	83	51	49
	Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	110	370	190
Co-60		20	20				<0,19
I-131		20	0	0,63	220	53	43
Cs-137		20	0	2,1	105	4,2	3,7
Sr-90		4	3	1,2	1,2		<5
U-234		4	0	74	110	89	88
U-235		13	0	1,7	5,9	3,4	3,1
U-238		17	0	17	110	62	60

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwert ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Thüringen	K-40	20	0	120	280	230	240
	Co-60	20	20				<0,44
	I-131	16	0	1,1	82	29	24
	Cs-137	20	0	2	6,5	4,1	4,4
	Sr-90	4	0	1,1	2	1,4	1,3
	U-234	4	0	40	170	95	84
	U-235	4	0	1,3	3,4	2,4	2,9
	U-238	20	0	23	96	59	63
Bundesrepublik Deutschland	K-40	358	0	18	750	180	150
	Co-60	358	358				<0,53
	I-131	329	21	0,43	1.700	85	37
	Cs-137	358	19	0,3	340	9	3,8
	Sr-90	68	6	0,44	18	3,6	2
	U-234	68	0	7	170	40	30
	U-235	82	12	0,32	9,8	2,3	1,5
	U-238	97	0	6,6	110	39	31
Bundesrepublik Deutschland (Nord ²)	Co-60	327	327				<0,47
	Cs-137	327	19	0,3	340	6,5	3,4
	Sr-90	64	6	0,44	18	3,4	2
Bundesrepublik Deutschland (Süd ³)	Co-60	31	31				<1,1
	Cs-137	31	0	5,7	87	34	24
	Sr-90	4	0	1,4	12	5,8	5,2

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

2.7 Reststoffe und Abfälle (Residues and waste)

Allgemeine Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Reststoffen und Abfällen sind in Teil A - II - 2.7 zusammengefasst. Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2006 der Leitstelle Messwerte zu den Umweltmedien 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.

In Tabelle 2.7-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Cs-137, I-131, K-40 und Tritium. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel unterschieden, da diese etwa die Grenze zwischen den durch den Unfall von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit für die sonstigen aufgeführten Radionuklide nicht besteht, wurden die Messwerte aus allen Ländern zusammengefasst ausgewertet.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Unfall in Tschernobyl im Jahre 1986 etwa 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 2006 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,00095 : 1 (2005: 0,0013 : 1) abgenommen. Deshalb ist in den Proben kein Cs-134 mehr nachzuweisen.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** sind bei den höchsten Werten für Cs-137 kaum noch Unterschiede zwischen Nord- und Südbayern zu bemerken. Die Maximalwerte liegen bei 0,58 Bq/l bzw. 0,57 Bq/l (2005: 1,4 Bq/l bzw. 0,86 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,063 Bq/l (2005: <0,067 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,047 Bq/l bis 58 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (2005: 0,090 bis 90 Bq/l, Median: 13 Bq/l). Tritium wurde in 75% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,1 und 440 Bq/l (2005: 5,7 bis 1500 Bq/l) gefunden.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel bei 270 Bq/kg TM (2005: 280 Bq/kg TM), für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt er bei 140 Bq/kg TM (2005: 150 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 270 Bq/kg TM bis 3.200 Bq/kg TM, der Median bei 1300 Bq/kg TM (2005: 270 bis 3.000 Bq/kg TM, Median: 1.400 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,67 Bq/kg TM bis 320 Bq/kg TM (2005: 0,42 bis 49 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 16 Bq/kg TM (2005: 14 Bq/kg TM). Die gemessenen Werte südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel liegt bei 2,9 bis 10 Bq/kg TM (2005: 9,2 Bq/kg TM),

Für K-40 wurden Messwerte von 130 Bq/kg TM bis 1.500 Bq/kg TM (2005: 120 bis 3.800 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,63 Bq/kg TM bis 45 Bq/kg TM (2005: 0,32 bis 12 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegt der Median des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 0,91 Bq/kg TM (2005: 1,7 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 2,3 Bq/kg TM (2005: 1,9 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 1,0 Bq/kg TM bis 2100 Bq/kg TM (2005: 3,4 bis 1.700 Bq/kg TM) mit einem Median von 120 Bq/kg TM (2005: 120 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,30 Bq/kg TM bis 16.000 Bq/kg TM (2005: 0,16 bis 3.200 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Abwasser) liegt der ermittelte Wert für Cs-137 in den höher belasteten Gebieten unterhalb der gefundenen Nachweisgrenze (2005: alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der Bundesrepublik wurde ein Median von <0,092 Bq/l (2005: <0,089 Bq/l) berechnet.

I-131 wurde in 27 Proben mit Werten zwischen 0,026 Bq/l und 37.000 Bq/l (2005: 0,22 und 5200 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 1,8 Bq/l (2005: 15 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 südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel Werte von 23 Bq/kg TM bis 53 Bq/kg TM (2005: 21 bis 46 Bq/kg TM) mit einem Median von 28 Bq/kg TM (2005: 35 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 2,0 Bq/kg TM und 25 Bq/kg TM (2005: 2,2 bis 31 Bq/kg TM), der Median liegt bei 6,5 Bq/kg TM (2005: 7,5 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 130 Bq/kg TM bis 860 Bq/kg TM, der Median bei 480 Bq/kg TM (2005: 150 bis 920 Bq/kg TM, Median: 540 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird bei Verwendung üblicher Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen 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 oft noch durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 2.7-1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2006
(*Monitoring of residues and wastes in the year 2006*)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^{a)}	Maximal- wert ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Median
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	101	61	0,003	0,58		<0,061
Südlich *)	Cs-137	7	0	0,095	0,57	0,3	0,19
Alle Länder	K-40	108	12	0,047	58	17	13
	H-3	108	27	3,1	440	52	19
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	57	1	0,7	140	26	19
Südlich *)	Cs-137	3	0	210	270	230	220
Alle Länder	K-40	59	0	270	3.200	1.300	1.300
	I-131	40	19	0,67	320	29	<1,1
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	57	2	0,10	16	2,8	1,7
Südlich *)	Cs-137	3	0	2,9	10	7,4	9,4
Alle Länder	K-40	60	0	130	1.500	340	280
	I-131	41	29	0,63	45		<0,62
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	49	17	0,12	68	9,6	2,3
Südlich *)	Cs-137	3	0	0,22	1,6	0,92	0,91
Alle Länder	K-40	52	5	1,0	2.100	330	110
	I-131	46	3	0,30	16.000	720	14
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	33	26	0,036	0,66		<0,096
Südlich *)	Cs-137	3	3				<0,078
Alle Länder	K-40	36	13	0,69	45	8,6	2,5
	I-131	32	5	0,026	37.000	1.700	2,9
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	52	0	2,0	25	7,7	6,5
Südlich *)	Cs-137	4	0	23	53	33	28
Alle Länder	K-40	56	0	130	860	470	480

*) Nördlich/westlich und südlich/östlich der Linie Radolfzell-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

2.8 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

(*Monitoring of incorporation among the population*)

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- und Cs-134-Aktivität durchgeführt, wobei ab dem Jahr 1998 kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden konnte. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 2.8-1 und 2.8-2 zusammengefasst und in den Abbildungen 2.8-1 bis 2.8-4 dargestellt. Unter „Jahresmittelwert“ wird hier der Mittelwert über die Monate, 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 2.8-5 und 2.8-6 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 20 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,2 mSv.

**Tabelle 2.8-1 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)**

Messstelle: Bundesamt für Strahlenschutz
Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	Spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	Spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K 40	Cs 137		K 40	Cs 137
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
2005	444	55	<1,3	299	61	<1,1
2006	456	55	1,4	314	61	1,1
Monatsmittelwerte für 2006						
Januar	44	56	< 1,4	30	60	< 1,1
Februar	39	55	< 1,4	25	60	< 1,2
März	40	55	< 1,4	25	60	< 1,1
April	33	54	< 1,3	27	63	< 1,2
Mai	39	54	< 1,3	30	60	< 1,1
Juni	30	55	< 1,3	24	60	< 1,1
Juli	39	54	< 1,3	26	61	< 1,1
August	29	57	< 1,4	24	62	< 1,1
September	37	56	< 1,3	24	60	< 1,1
Oktober	41	57	< 1,4	25	61	< 1,1
November	44	57	< 1,4	29	62	< 1,1
Dezember	41	55	< 1,4	25	61	< 1,1

Tabelle 2.8-2 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)

Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	Spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	Spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K 40	Cs 137		K 40	Cs 137
1994	112	49	<0,20	102	52	<0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 a)	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
2000	109	51	<0,16	106	60	<0,27
2001	94	52	<0,20	101	61	<0,31
2002	86	50	0,22	86	60	0,31
2003	56	52	0,20	54	59	0,31
2004	62	53	0,24	56	61	0,32
2005	41	52	0,16	35	57	0,26
2006	19	41	0,17	18	44	0,21
Monatsmittelwerte für 2006						
Januar	1	52	0,28	3	56	0,31
Februar	2	49	0,12	0	-	-
März	1	50	0,21	1	67	0,68
April	3	51	0,11	3	59	0,07
Mai	0	-	-	1	57	0,00
Juni	1	47	0,12	2	58	0,53
Juli	0	-	-	4	61	0,26
August	3	49	0,18	2	62	0,30
September	1	49	0,16	1	57	0,27
Oktober	1	49	0,43	0	-	-
November	2	48	0,13	1	55	0,07
Dezember	4	47	0,04	0	-	-

a) Mai 1996 keine Messungen

- Messwertermittlung nicht möglich

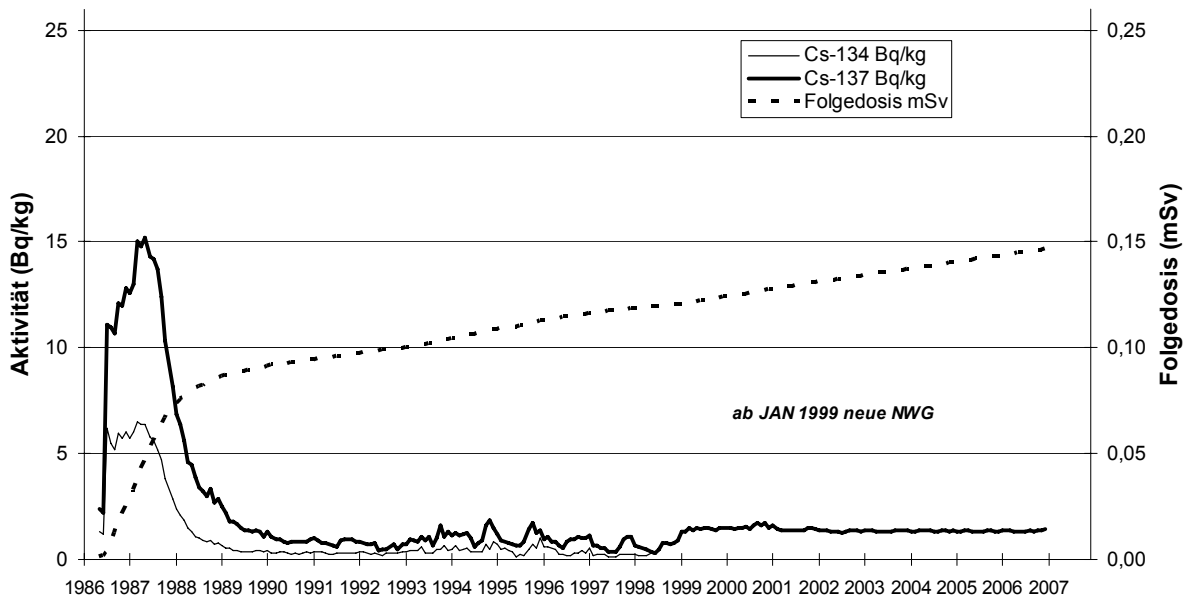


Abbildung 2.8-1 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munic, women)*

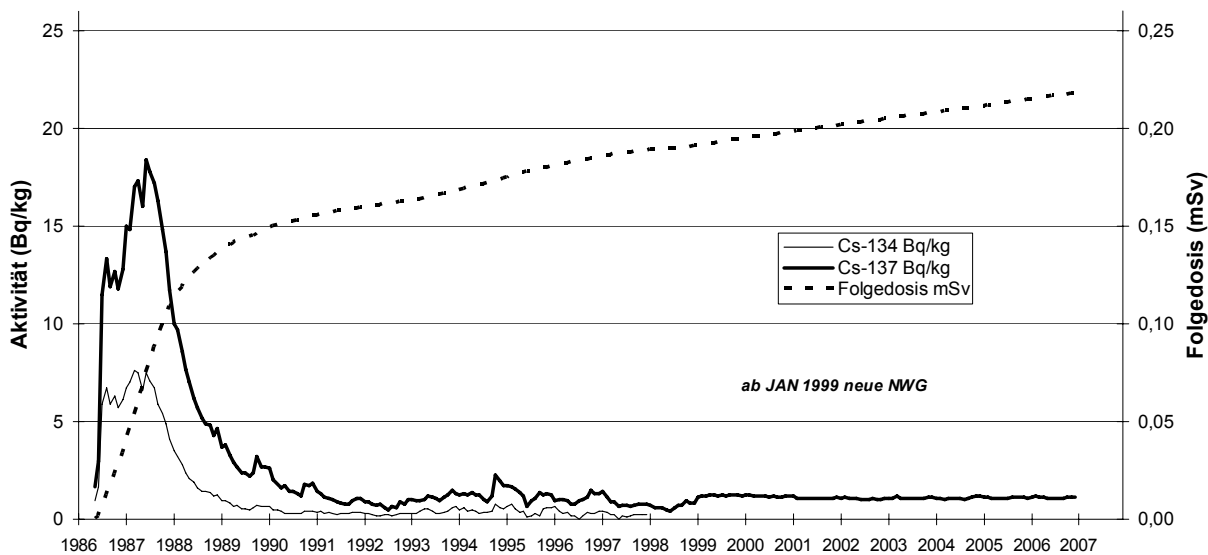


Abbildung 2.8-2 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: BfS Munic, men)*

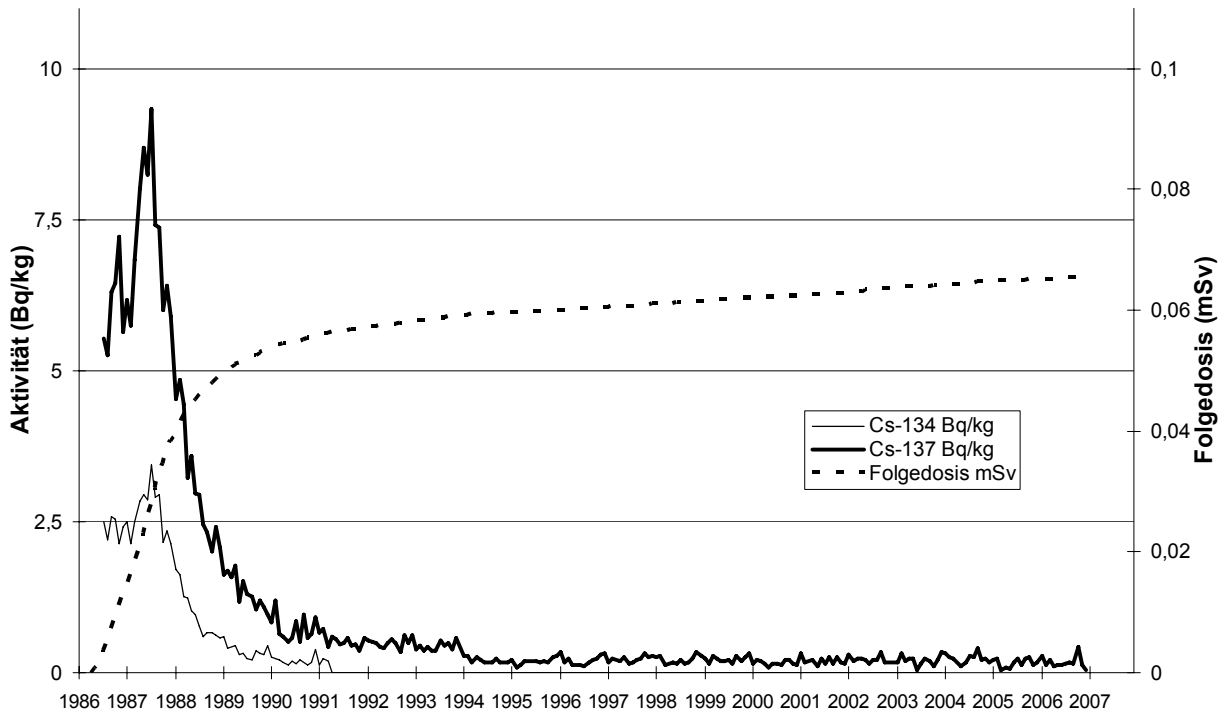


Abbildung 2.8-3 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, women)*

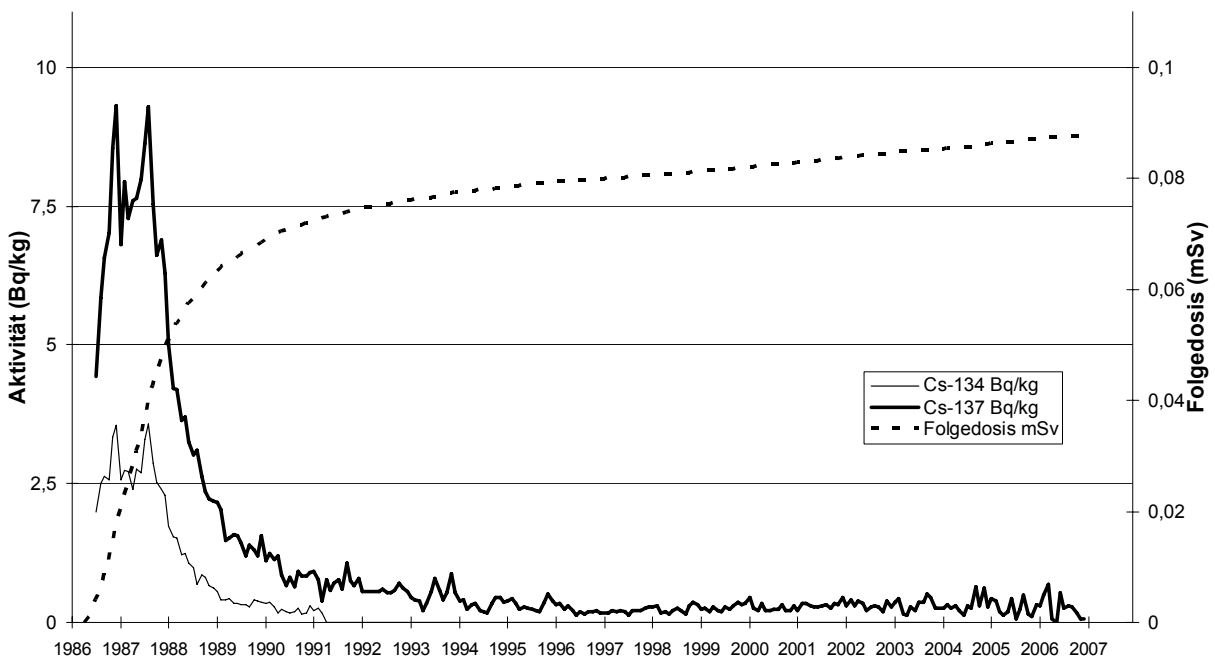


Abbildung 2.8-4 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
Reference group: Karlsruhe, men)*

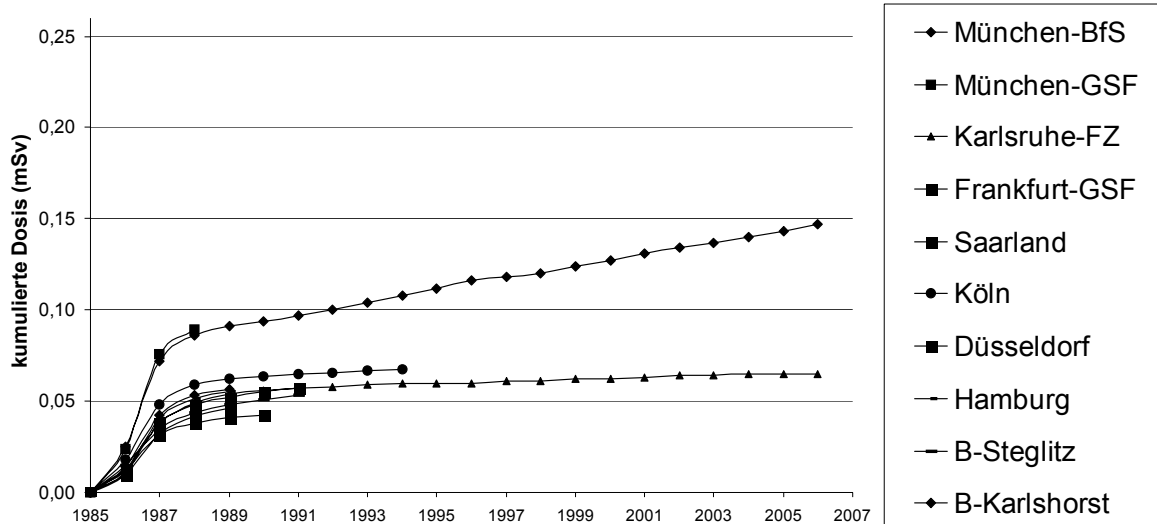


Abbildung 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: women)

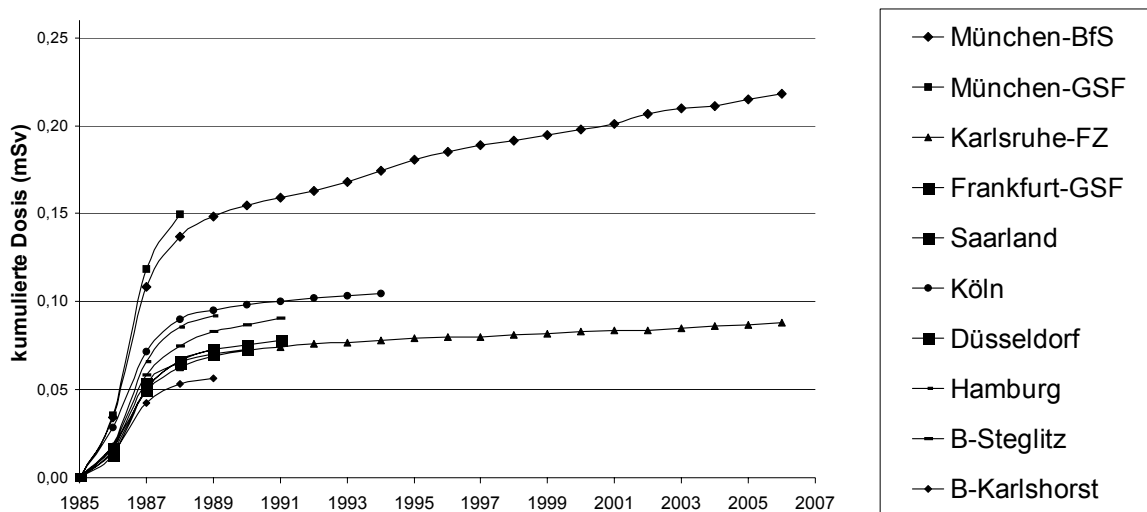


Abbildung 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Überwachung der beruflichen Strahlenexposition (*Monitoring of occupational radiation exposure*)

1.1 Personendosismessungen (*Personal dose measurements*)

1.1.1 Dosimeterüberwachte Personen (*Monitoring with personal dosimeters*)

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von fünf behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Gesamtzahl der überwachten Personen betrug im Jahr 2006 311.711. Die Zahl der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, betrug 23.029 (siehe Tabelle 1.1.1-1). Da 77% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches „Medizin“ gesondert ausgewiesen.

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 55 und 56 StrlSchV und § 31a und 31b RöV bei den 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 1.1.1-2) oberhalb dieses Wertes liegt - bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten - bei 0,004% im Jahr 2006 (12 Personen).

Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt, u. a.m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine amtliche Ersatzdosis festsetzen. Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 5 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitskittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis, sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Soweit die Ergebnisse nachfolgender Ermittlungen bekannt geworden sind, wurden sie in der Tabelle 1.1.1-2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung der Fälle mit erhöhter Personendosis 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 Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.1.1-3 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 erfasste berufliche Strahlenexposition verteilte sich auf nur rund 17% aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Tabelle 1.1.1-4 enthält Zeitreihen über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2006 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 2006 betrug sie 41 Personen-Sv.

Bei der Beurteilung der Mittelwerte ist zu beachten, dass beim größten Teil aller Überwachten (ca. 83%) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter liegen, d. h. die Messstellen legten den Wert Null fest. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 54.000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,77 mSv.

Tabelle 1.1.1-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2006
 (Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
 (*Monitoring with official personal dosimeters in the year 2006*)
 (Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland Daten: Stand Juni 2007	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	43.224	30.626	3.238	2.522
Bayern	58.399	43.375	4.228	3.569
Berlin	15.800	11.718	1.047	823
Brandenburg	6.184	5.071	456	342
Bremen	3.049	2.574	222	171
Hamburg	10.228	5.708	559	433
Hessen	25.193	17.954	1.690	1.377
Mecklenburg-Vorpommern	5.317	3.708	332	260
Niedersachsen	28.245	21.846	2.262	1.824
Nordrhein-Westfalen	65.908	53.510	5.057	4.272
Rheinland-Pfalz	14.341	12.189	1.001	853
Saarland	4.360	4.013	401	352
Sachsen	12.207	9.912	867	631
Sachsen-Anhalt	7.369	6.206	506	371
Schleswig-Holstein	10.527	8.030	806	672
Thüringen	5.911	5.604	363	311
Bundeswehr	1.329	1.048	50	35
Gesamtzahl 2006*)	311.711	240.134	23.029	18.780
Anteil Medizin		77%		82%
Gesamtzahl 2005	312.646	239.977	23.889	19.442
Anteil Medizin		77%		81%
Änderung gegenüber 2005	-0,3%	+0,1%	-3,6%	-3,4%

*) 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 1.1.1-2 Anzahl der Personen mit Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2006
 (*Number of annual personal doses above 20 mSv in the year 2006*)

Bundesland Daten: Stand Juni 2007	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	3	2	1
Bayern	4	3	1
Berlin	1	1	
Brandenburg	1		1
Bremen			
Hamburg			
Hessen			
Mecklenburg-Vorpommern			
Niedersachsen	1	1	
Nordrhein-Westfalen	1		1
Rheinland-Pfalz	1	1	
Saarland			
Sachsen			
Sachsen-Anhalt			
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2006	12	8	4
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2006	0,004%	0,003%	0,006%
Gesamtzahl 2005	8	6	2
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2005	0,003%	0,003%	0,003%

Tabelle 1.1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2006
(Distribution of the annual personal doses in the year 2006)

Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	257.768	82,69%	204.820	85,29%	53.533	74,03%
0<H≤0,2	27.582	91,55%	20.482	93,83%	7.183	83,98%
0,2<H≤0,4	8.106	94,15%	5.564	96,15%	2.565	87,53%
0,4<H≤0,6	4.170	95,49%	2.695	97,27%	1.485	89,58%
0,6<H≤0,8	2.773	96,38%	1.769	98,00%	1.012	90,98%
0,8<H≤1,0	1.996	97,02%	1.196	98,50%	806	92,10%
1<H≤2	4.590	98,49%	2.315	99,47%	2.283	95,25%
2<H≤4	2.770	99,38%	951	99,86%	1.828	97,78%
4<H≤6	923	99,68%	195	99,94%	730	98,79%
6<H≤8	424	99,81%	64	99,97%	360	99,29%
8<H≤10	225	99,88%	28	99,98%	197	99,56%
10<H≤15	288	99,98%	25	99,99%	263	99,93%
15<H≤20	59	99,99%	10	100,00%	50	99,99%
H>20	12	100,00%	8	100,00%	4	100,00%
Gesamt*	311.711		240.134		72.312	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann

Tabelle 1.1.1-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual individual dose and annual collective dose of the persons monitored by personal dosemeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv
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	0,37	27
2004	0,13	42	0,07	16	0,35	26
2005	0,15	46	0,07	17	0,39	29
2006	0,13	41	0,07	17	0,34	25

Daten: Stand Juni 2007

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1986 ist in Abbildung 1.1.1-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Zahlen der festgestellten Personendosen oberhalb von 20 mSv pro Jahr eingetragen. Abbildung 1.1.1-2 zeigt die Beiträge zur Kollektivdosis aus den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1986 - 2006. Bis einschließlich des Jahres 1998 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Bis dahin entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da Arbeitskräfte, die bei einem Arbeitsplatzwechsel auch die Messstelle wechselten, mehrfach gezählt wurden. Ab dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

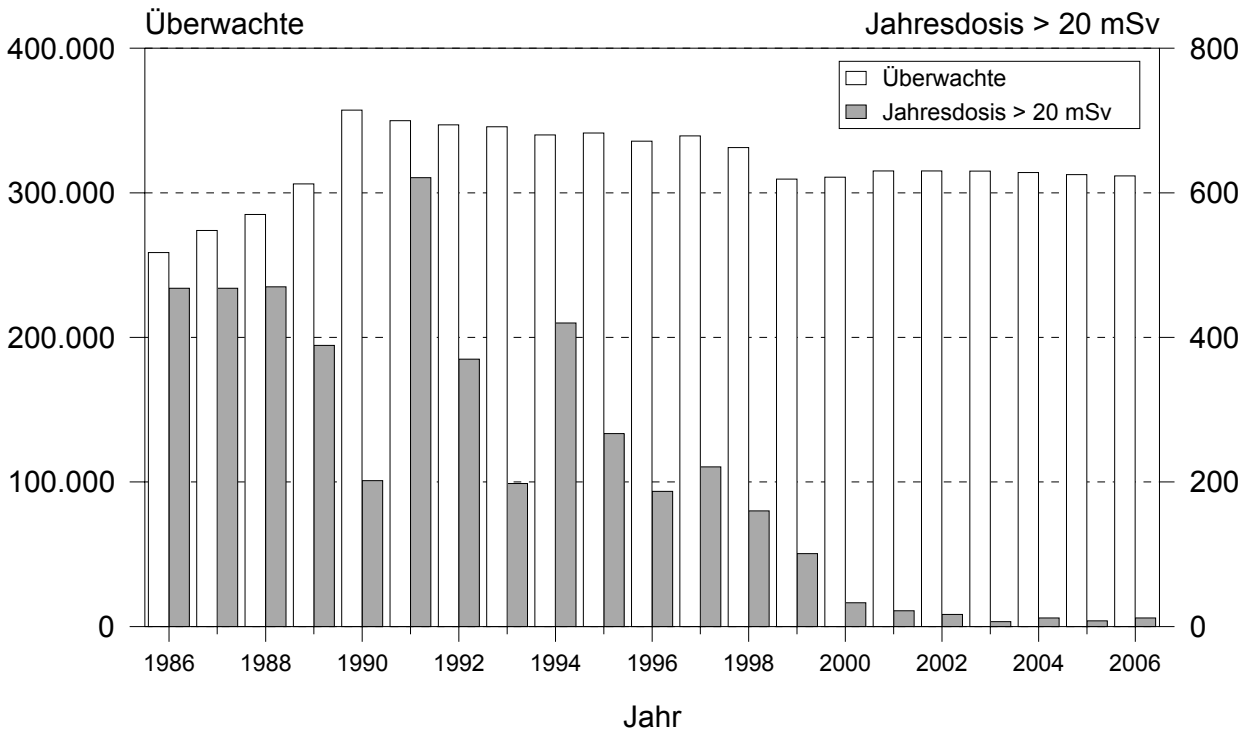


Abbildung 1.1.1-1: Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer, ab 1999 ohne Mehrfachzählungen der Messstellen – siehe Text)
(Number of monitored persons and the persons exceeding the annual dose of 20 mSv - as from 1990 including the new federal Länder)

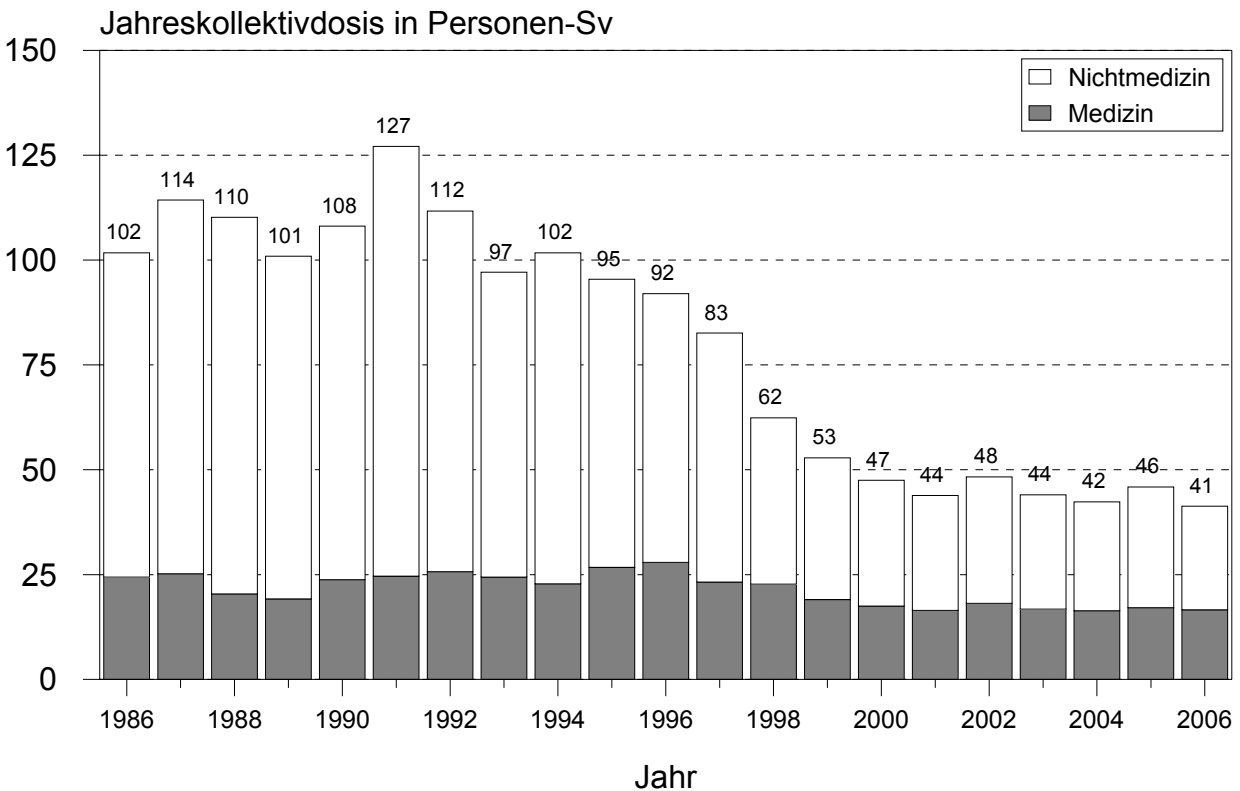


Abbildung 1.1.1-2: Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical occupational areas - as from 1990 including the new federal Länder)

1.1.2 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 Landesbehörden sowie Erhebungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) 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 1.1.2-1 bis 1.1.2-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis. Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In den Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2006 in Kernkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf.

Tabelle 1.1.2-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
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	28.677	22.384	19	17
2004	18	28.777	22.972	18	15
2005	18	30.222	24.118	21	18
2006	17	31.999	26.039	23	21

Daten: Stand Juni 2007

Tabelle 1.1.2-2 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb und Stilllegung von Forschungsreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of research reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
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
2005	10	2.331	1.359	0,2	0,1
2006	10	2.465	1.415	0,2	0,1

Daten: Stand Juni 2007

Tabelle 1.1.2-3 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 durch Photonen in Personen-Sv	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	Gesamt	davon Fremdpersonal
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	2.983	1.970	1,0	0,7
2004	7	2.726	1.831	1,1	0,8
2005	7	2.339	1.623	0,5	0,4
2006	6	1.765	1.212	0,3	0,3

Daten: Stand Juni 2007

1.2 Berufliche Strahlenexposition durch natürlich erhöhte Radonkonzentrationen *(Occupational radiation exposures from natural enhanced concentrations of radon)*

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 2006 wurden dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt für 420 Personen Dosiswerte auf Grund dieser Regelungen übermittelt, von denen ca. 58% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Die Kollektivdosis der 420 Beschäftigten betrug 0,8 Personen-Sv, die mittlere Jahresdosis 1,9 mSv. 84 Beschäftigte wiesen eine Jahresdosis von 0 mSv auf. Im Jahr 2006 gab es sechs Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv, jeweils in Betrieben der Wasserversorgung; die höchste effektive Jahresdosis betrug 57 mSv. Bei 33 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Für Beschäftigte in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis im Jahr 2006 0,81 mSv, der höchste Jahreswert lag bei 4,4 mSv.

1.3 Überwachung von Flugpersonal (Air crew monitoring)

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 mit Computerprogrammen zur Ermittlung der kosmischen Strahlenexposition die Dosiswerte, ordnen diese individuell ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. In Deutschland wurden im Jahr 2006 32.340 Personen überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,2 mSv (Vorjahr 2,0 mSv). Der Anstieg von 10% ist durch den Anstieg der Höhenstrahlung infolge des Sonnenzyklus bedingt. Der höchste Jahresdosiswert liegt bei 7,6 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 1.3-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2006 beträgt ca. 71 Personen-Sv. Damit bildet das fliegende Personal sowohl bezüglich der mittleren Dosis als auch bezüglich der Kollektivdosis eine der am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland.

Tabelle 1.3-1 Verteilung der Jahrespersonendosen für fliegendes Personal im Jahr 2006
(Distribution of the annual personal doses for air crews in the year 2006)

Dosis H in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H=0	265	0,82%
0 <H≤0,5	2.611	8,89%
0,5 <H≤1,0	2.704	17,25%
1,0 <H≤2,0	8.945	44,91%
2,0 <H≤3,0	9.051	72,90%
3,0 <H≤4,0	7.149	95,01%
4,0 <H≤5,0	1.479	99,58%
5,0 <H≤6,0	76	99,81%
6,0 <H≤10,0	60	100,00%
H>10,0	0	100,00%
Gesamt	32.340	

1.4 Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen (Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Danach wurden von den meldenden Messstellen 1.417 Personen im Jahr 2006 überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,04 Personen-Sv. Die höchste Jahresdosis infolge von Inkorporation betrug 3,7 mSv. Im Jahr 2006 gab es damit keine inkorporationsbedingte Überschreitung des Grenzwertes von 20 mSv.

Tabelle 1.4-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2006
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2006)

Dosis H durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H=0	1.253	88,43%
0 <H≤0,2	113	96,40%
0,2 <H≤1,0	44	99,51%
1,0 <H≤6,0	7	100,00%
6,0 <H≤20,0	0	100,00%
H>20,0	0	100,00%
Gesamt	1.417	

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Für die Auswertung werden aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Modellannahmen erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich sehr konservative Annahmen durch realistischere Schätzungen ersetzt werden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten etwas geringere Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2004 – 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 2004 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 135 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 87 Mio. Röntgenuntersuchungen). Während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2004 ist für die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland ein leicht abnehmender Trend zu verzeichnen, wobei der Wert für das Jahr 2004 bei etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr liegt (siehe Abbildung 1.1-1). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) macht konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen aus. 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 Computertomographie(CT)-Untersuchungen – insgesamt um etwa 65% über den beobachteten Zeitraum (siehe Abbildung 1.1-1). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z. B. der Spiral-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den „alternativen“ bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, siehe Abbildung 1.1-1 und Abschnitt 1.4).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Schädels, des Thorax und des Bauchraumes einschließlich des oberen Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Urogenitaltrakts abgenommen.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2004 – 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.

Für konventionelle Röntgenuntersuchungen wurde dabei jeweils eine konstante Einzeldosis pro Untersuchungsart über den gesamten Zeitraum 1996 bis 2004 angenommen. Nach den bisherigen Erfahrungen stellt dies ein sinnvolles Prozedere dar. Für CT-Untersuchungen hingegen wurde ein Modell verwendet, welches eine variable Dosis über den betrachteten Zeitraum postuliert. Damit wird es möglich, die rasante technische Entwicklung auf dem Gebiet der CT (insbesondere Zunahme von Mehrschichtsystemen) zu berücksichtigen. Unter diesen Annahmen beläuft sich die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland für das Jahr 2004 auf ca. 1,8 mSv und stieg damit über den Beobachtungszeitraum nahezu kontinuierlich an (siehe Abbildung 1.1-2). Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2004 ab (siehe Abbildung 1.1-2).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen nur wenig zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2004 jedoch nahezu drei Viertel (siehe Abbildung 1.1-3).

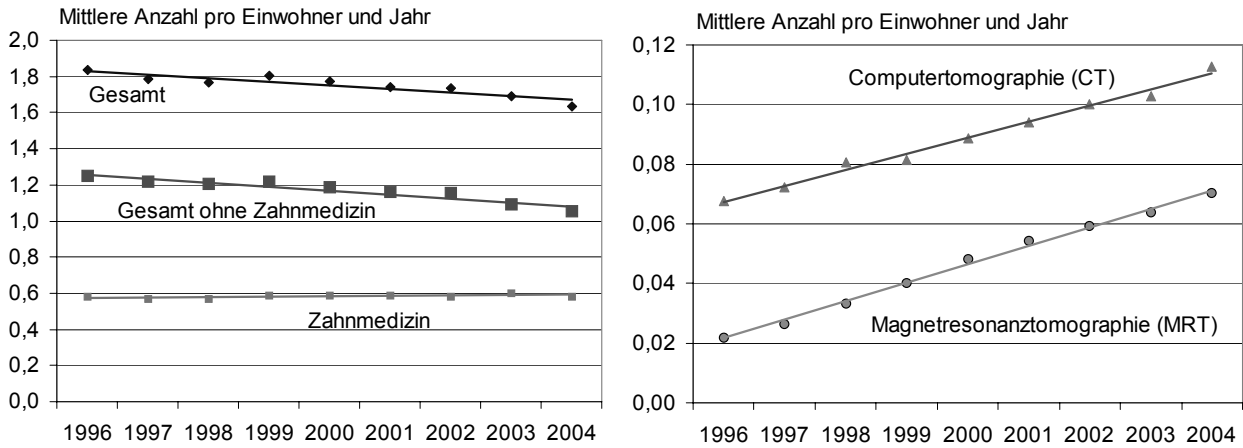


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgen- und CT- / MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray and of CT / MRT examinations in Germany)

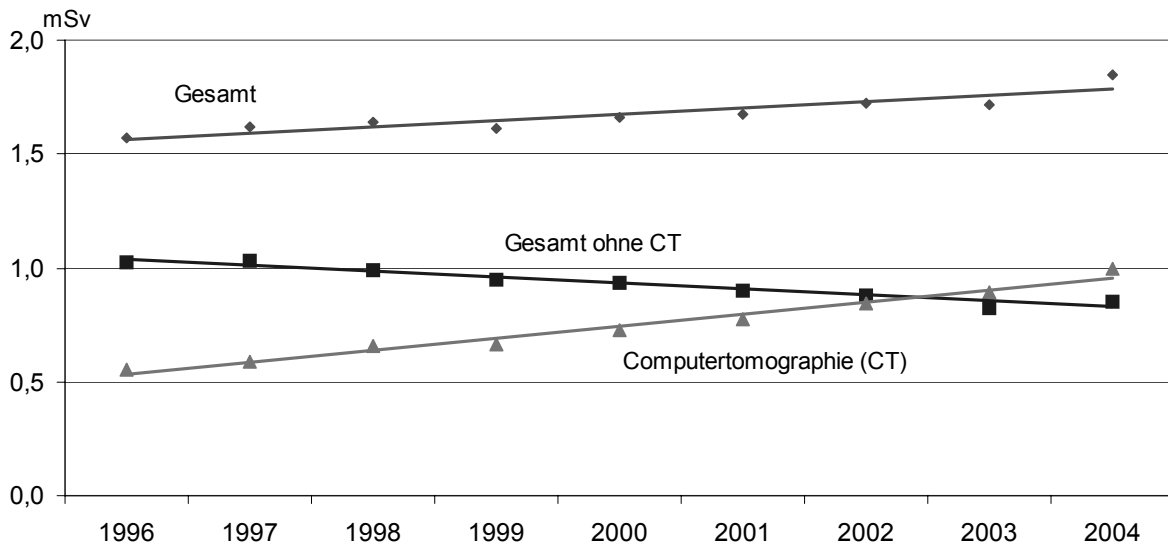


Abbildung 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose per capita (mSv) and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

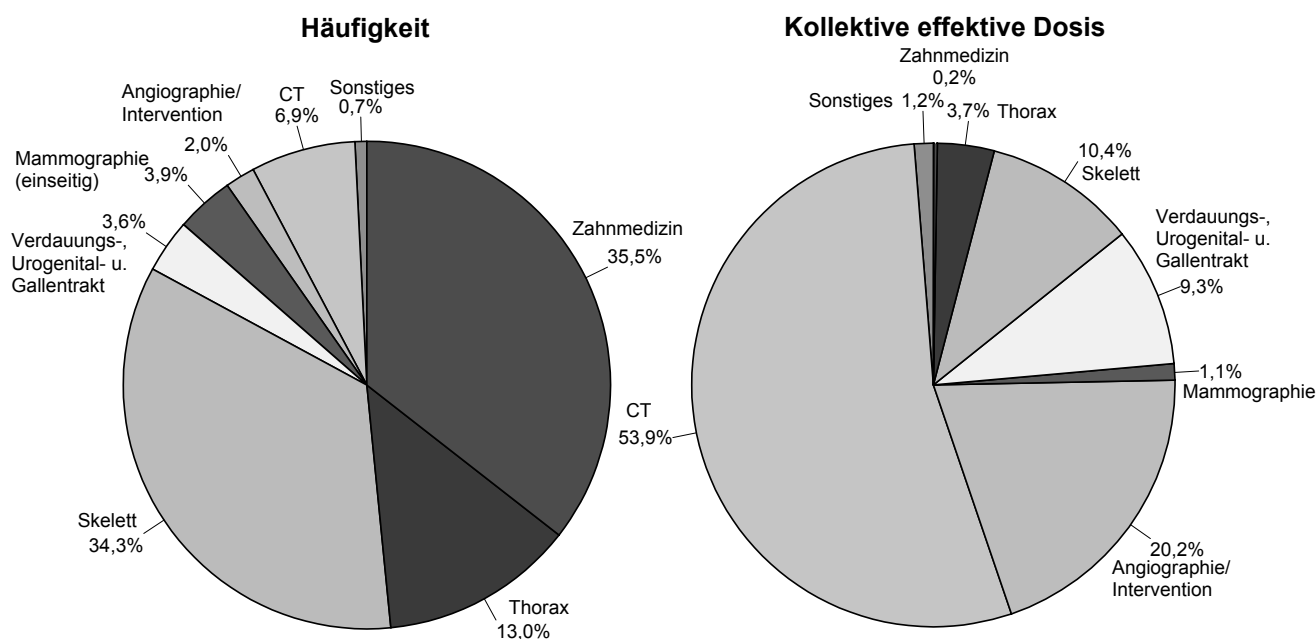


Abbildung 1.1-3 Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2004
(Contribution of various examination types to total frequency (left) and to collective effective dose (right) in 2004)

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (Nuclear medicine diagnostics)

In den Jahren 1996 - 2004 wurden in Deutschland ca. 3,6 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 44 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. Abbildung 1.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 9.700 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von ca. 0,12 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Herz-, Skelett- und Schilddrüsenszintigraphie (s. Abbildung 1.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsintigraphien 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.

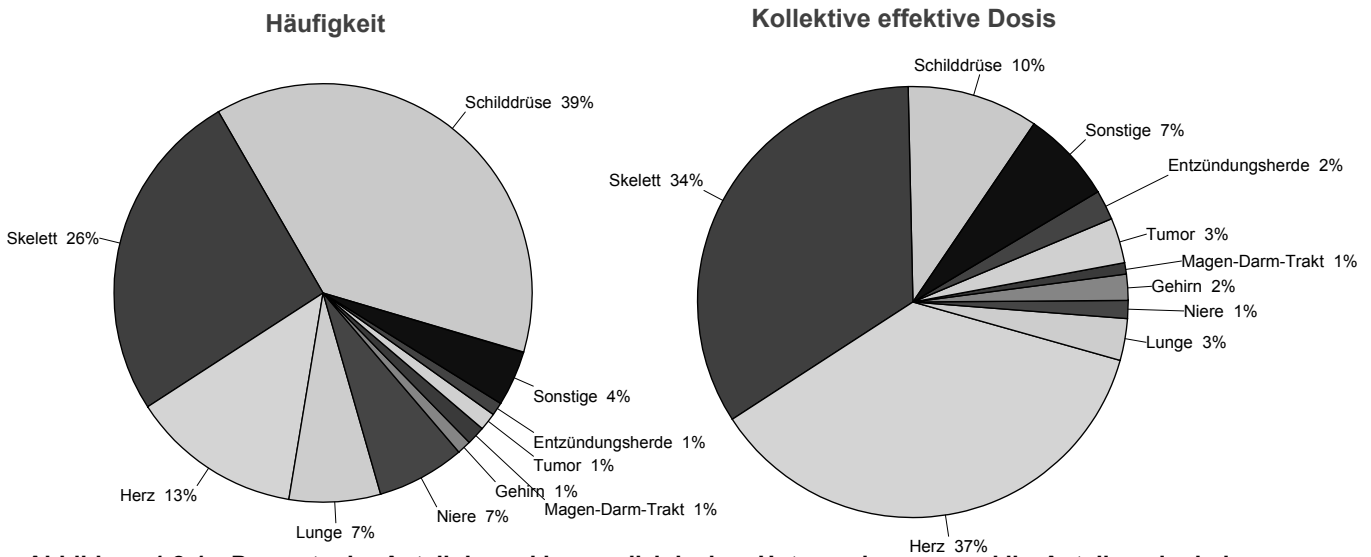


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1996 - 2004
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 1996 - 2004)

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

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2004 etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen, insbesondere röntgendiagnostischen Maßnahmen.

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

Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese 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 vom BfS initiiert: Für Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) wegen eines Pankreaskarzinoms untersucht wurden, wurden alle relevanten Daten zu Röntgenuntersuchungen gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Pilotstudie beträgt – hochgerechnet auf Deutschland – der Anteil der allein aus den Röntgenuntersuchungen bei Pankreaskrebspatienten resultierenden kollektiven effektiven Dosis an der kollektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen 0,4%. Die im Rahmen dieser Pilotstudie etablierte Methodik wird zurzeit auch auf andere Krebsarten angewendet werden.

Bei Patienten handelt es sich typischerweise um ältere Menschen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. Von großem Interesse ist daher die Differenzierung der Daten nach Alter. Angaben zur Altersverteilung von Personen, bei denen strahlendiagnostische Untersuchungen durchgeführt werden, sind über die Krankenkassen bislang nicht zu erhalten. Ein vom BMU gefördertes Forschungsvorhaben ermittelte jedoch altersspezifische Daten für den Krankenhausbereich. Abbildung 1.3-1 zeigt, wie sich die Häufigkeit und die kollektive effektive Dosis von Röntgenuntersuchungen auf die einzelnen Alterskategorien von stationären Patienten im Jahre 2002 verteilen. Zum Vergleich ist auch die Altersverteilung der deutschen Bevölkerung dargestellt. Mehr als 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich werden bei Patienten durchgeführt, die 60 Jah-

re oder älter sind. Lediglich 5% der Röntgenuntersuchungen betreffen Kinder und Jugendliche unter 20 Jahren. Wird die Verteilung der kollektiven effektiven Dosis betrachtet, so wird deutlich, dass dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, vor allem im höheren Alter durchgeführt werden. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems.

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 Auswertungsmethoden in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich 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. Entsprechende Empfehlungen werden von der Arbeitsgruppe voraussichtlich bis Ende 2007 erarbeitet sein.

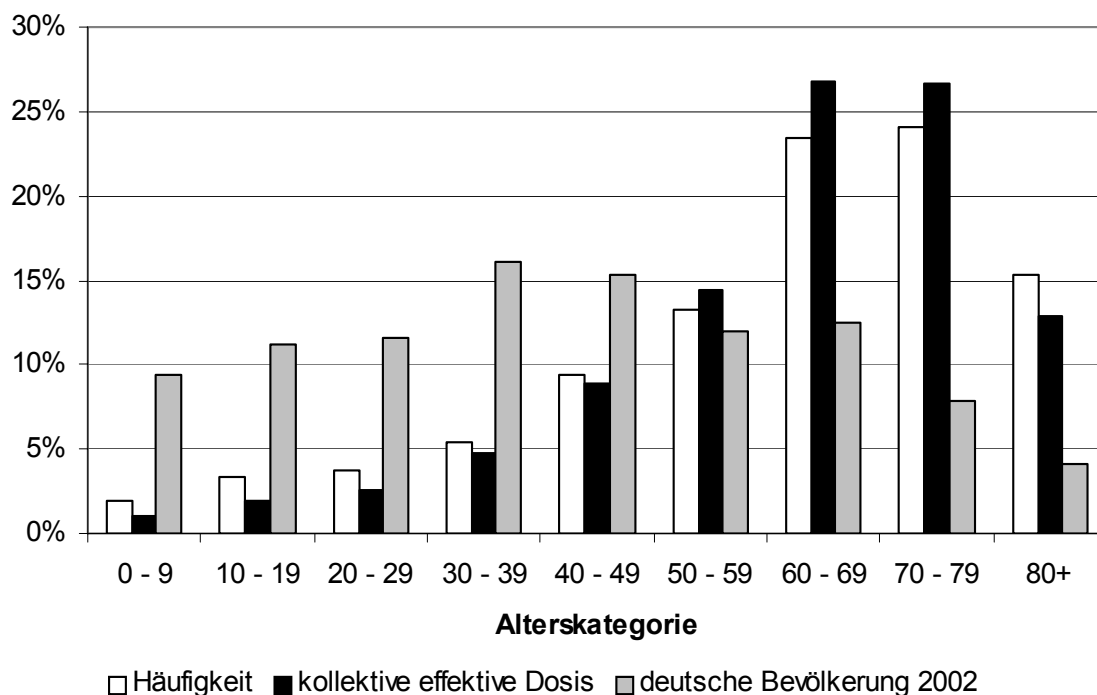


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit (weiße Balken) und kollektiver effektiver Dosis (schwarze Balken) von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002 (graue Balken)

(Distribution of frequency [white bars] and collective effective dose [black bars] of x-ray examinations conducted in in-patients of specified age in 2002. For comparison: age distribution of the German population in 2002 [grey bars])

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den hohen Standard der Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den offensichtlichen Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Andererseits existiert sicherlich auch ein deutliches Einsparpotenzial ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung. Hierzu können die diagnostischen Referenzwerte zur Optimierung der medizinischen Exposition (bessere Qualität der Untersuchung, niedrigere Dosis) einen wesentlichen Beitrag leisten sowie strengere Kriterien bei der Indikationsstellung zur Durchführung röntgendiagnostischer Maßnahmen, die Vermeidung von Doppeluntersuchungen (höhere

Transparenz zwischen Arztpraxen) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (MRT, Sonographie).

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 1,8 mSv pro Person im Jahr 2004) 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 Herzszintigraphie.

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 den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund tritt.

Tabelle 1.3-1 Häufigkeit und effektive Dosis von CT-Untersuchungen im Jahr 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*)

Im Berichtszeitraum wurde eine Abschätzung der Häufigkeit der alternativen bildgebenden Diagnoseverfahren Sonographie und MRT in Deutschland für die Jahre 1996 bis 2004 einschließlich einer Trendanalyse durchgeführt. 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 1.1-1) eine stetige Zunahme der Häufigkeit zu verzeichnen. Besonders auffallend ist der Anstieg der MRT-Untersuchungshäufigkeit um etwa 240% während des betrachteten Zeitraumes (CT: Zunahme um 65%).

Demgegenüber ist die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen moderat (etwa 16% 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 2004 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.

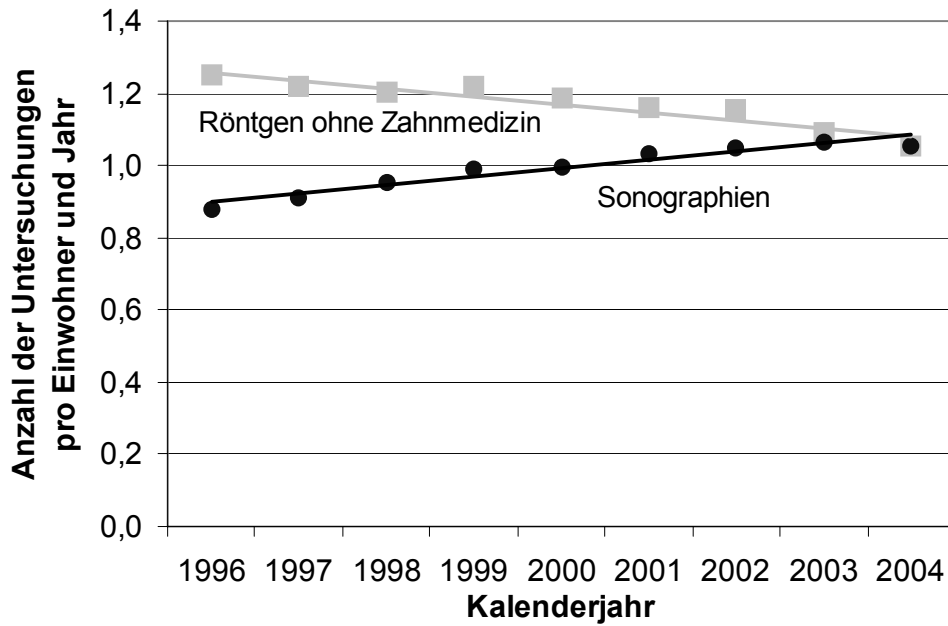


Abbildung 1.4-1 Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)
 (Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of x-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

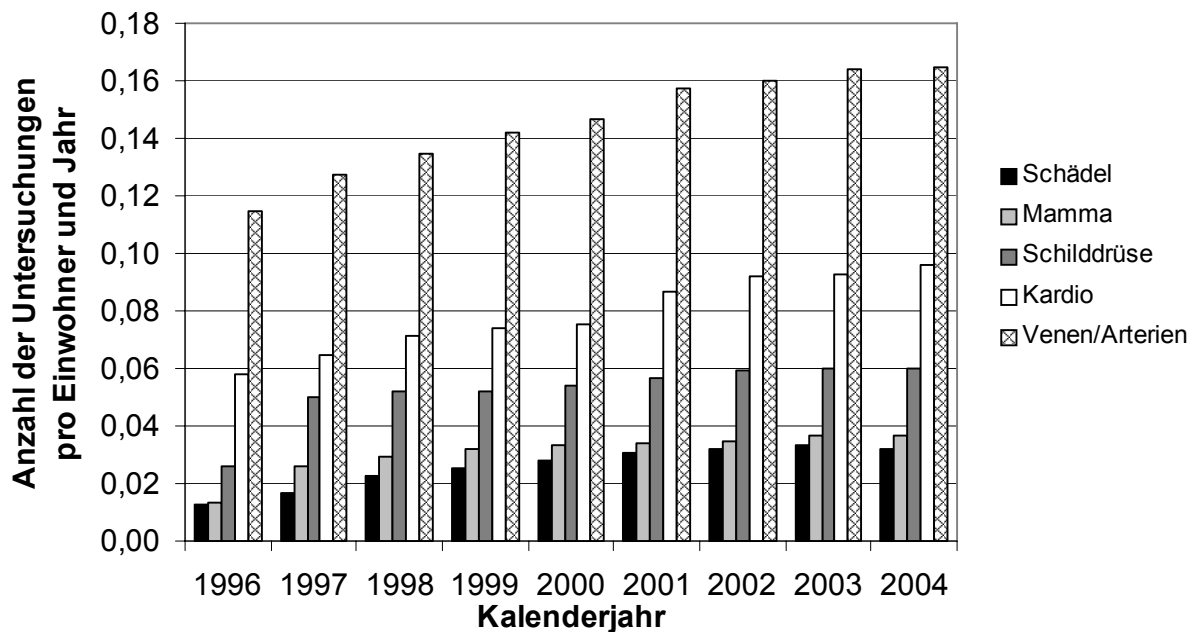


Abbildung 1.4-2 Häufigkeit verschiedener Sonographie-Untersuchungen
 (Frequencies of various ultrasound examinations)

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

Nach Aussage des Robert-Koch-Institutes erkrankten im Jahre 2002 etwa 424.000 Menschen an Krebs. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat.

Nach Angaben der Internetpublikation „Strahlentherapie in Norddeutschland“ (H.-J. Brodersen: Strahlentherapie in Norddeutschland 06/07 – Daten zur Radioonkologie aus 6 Bundesländern, 13. Auflage, 15. März 2007, siehe www.strahlentherapie-nord.de) wurden im Jahre 2006 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 50.850 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12% der Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhalten jährlich etwa 240.000 Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ ist eine mittlere jährliche Steigerung der Strahlentherapien von 5% zu verzeichnen.

3. Herzschrittmacher (*Pacemakers*)

Im Jahr 2006 wurden - wie bereits seit 1977 - keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert.

Tabelle 3-1 enthält die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Pu-238. Alle Herzschrittmacher mit Pm-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, (Stand: 31.12.2006)
(*Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources at 31 Dec. 2006*)

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
1989	0	9

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
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
2005	0	0
2006	0	0
Gesamt	284	265

a) 1 HSM in Kambodscha verschollen

4. Medizinische Forschung (Medical research)

Da sich im Rahmen der Antragstellung bzw. des Genehmigungsverfahrens Fragen bezüglich der Genehmigungsbedürftigkeit der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung im Rahmen geplanter Studien ergaben, wurde vom BfS ein „Vorfrageverfahren“ 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 2006.

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 2006
(*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 2006*)

Anzahl der erteilten Genehmigungen	Anzahl der bearbeiteten Voranfragen
267	60

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

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

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

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

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich beinahe verdreifacht (Tabelle 1.1-1), was ausschließlich von der Zunahme bei den umschlossenen Strahlenquellen um diesen Faktor herrührt. Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (900 GBq).

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen ist wieder eine Abnahme zu verzeichnen, die innerhalb der üblichen Schwankungsbreite liegt. An bestrahltem Material sind 2006 nur 9 kg eingeführt worden.

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden auch 2006 nicht eingeführt.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq hat sich im Jahr 2006 mehr als vervierfacht (Tabelle 1.1-2). Wie bei der Einfuhr liegt dies ausschließlich an der Zunahme bei den umschlossenen Strahlenquellen auf mehr als das Fünffache.

Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (1.006 GBq).

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2006 wie auch im Vorjahr nicht ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt) und Ausgangsstoffen ist wieder ein Anstieg auf gut das 2,5-fache festzustellen. Die ausgeführte Gesamtmenge entspricht damit ziemlich genau dem Durchschnitt der Gesamtausfuhrmenge der in der Tabelle angegebenen vergangenen 19 Jahre. Derartige Schwankungen könnten am durch Revisionen/Stillstandszeiten vorübergehenden Minderbedarf an Brennstoff liegen.

Tabelle 1.1-1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(*Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany - without radioactive waste*)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 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)
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
2005	488.683	0	27.969.374	28.458.227	4.219.415
2006	336.046	0	80.811.680	81.148.626	3.397.848

1) seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

Wie Tabelle 1.1-2 zeigt, gab es auch 1995 eine deutlich niedrigere Liefermenge, der 1991 eine erheblich höhere Menge ausgeführten Materials vorausging. Im Übrigen zeigt Tabelle 1.1-1 solche Schwankungen auch bei der Einfuhr. Selbstverständlich bestimmt auch der jeweils aktuelle Preis des Materials das Einkaufsverhalten der Betreiber im In- und Ausland. Bestrahltes Material ist nur noch in Kleinmengen ausgeführt worden.

Tabelle 1.1-2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland - ohne radioaktive Abfälle
(Export of radioactive materials from the Federal Republic of Germany - without radioactive waste)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 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)
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
2005	293.648	0	919.800	1.213.957	1.244.377
2006	238.211	0	5.112.175	5.351.392	3.111.272

1) seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

1.2 Einfuhrstatistik (Import statistics)

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1.850 GBq

Tabelle 1.2-1 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es zeigt sich hier ein Gesamtrückgang um weitere 31%. Die Abnahme findet sich im Wesentlichen bei den Nukliden Kobalt-60 und Promethium-147, sonst sind auch Zuwächse zu verzeichnen. Sr-90, Y-90 und Yb-169 kamen in 2006 mit relevanten Mengen hinzu.

Tritium ist zum größten Teil in Form von Tritiumgaslichtquellen eingeführt worden (60.212 GBq). Als Leuchtfarbe waren es im Berichtszeitraum 4.515 GBq.

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.2-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137 und Ir-192.

Die Einfuhr ist 2006 im Vergleich zum Vorjahr auf fast das Dreifache angestiegen und zwar im Wesentlichen bei Co-60. Hier findet sich wie immer der größte Posten in dieser Rubrik mit 98,6% der Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus Kanada und auch bei der Ausfuhr ist dies der größte Posten. Der umfangreiche Tausch von ausgedienten, in Deutschland genutzten Quellen gegen neue aus Kanada ist hier deutlich zu erkennen.

Tabelle 1.2-1 Aktivität der 2006 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2006 - without sources at levels of above 1850 GBq)

Versender- land	H-3	C-14	Fe-5 5	Co-6 0	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Aktivität in GBq													Summe		
												Cs-13 7	Pm-1 47	Gd-15 3	Yb-16 9	W-18 8	Ir-192	Am-24 1	Cf-25 2	Sonst.							
Norwegen	518	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	523	
Schweiz	31.165	38	11	25	17	1.295	0	5	7	22	0	0	73	9.401	4	0	0	0	832	6	0	28	0	0	28	42.929	
USA	3.918	73	66	0	309	699	2.555	36	0	466	0	10.827	2	561	1.244	0	0	0	12.931	723	763	510	0	0	1	35.760	
Kanada	5.217	0	1	0	143	0	0	0	68	8.562	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13.992
Australien	0	0	1	0	2	0	7	0	780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	790
Japan	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.265	0	0	0	0	0	0	0	4.289
Russland	17	4.203	1	2.600	18	60.493	51.060	9.800	0	11.751	0	0	0	0	0	0	597	0	9.546	2	354	2	354	2	354	150.442	
Belarus	0	1.480	749	3.404	0	0	0	0	0	0	0	0	0	629	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6.266	
Südafrika	0	7	0	0	0	0	4	0	0	0	0	42.809	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	140	42.965	
Ägypten	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.514	0	0	0	0	0	0	2.529	
Kuwait	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	682	0	0	0	0	0	0	685	
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	475	0	0	0	0	0	0	525	
Israel	33.802	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.803	
Sonstige	2	0	1	14	157	0	11	10	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	266	2	0	81	0	0	81	548	
Summe	74.640	4.321	1.562	3.388	4.052	62.487	53.676	9.851	855	20.801	42.809	10.908	9.453	1.194	1.244	674	21.965	10.283	765	1.118	765	1.118	765	1.118	81	336.046	

Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2006 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2006 with levels of above 1850 GBq)

Versenderland	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
	Aktivität in GBq				
USA		0	0	8.800	8.800
Kanada	59.514.200	0	238.800	0	59.753.000
Türkei	66.000	0	0	0	66.000
Russland	16.821.300	385.000	531.380	0	17.737.680
Belarus	3.246.200	0	0	0	3.246.200
Summe GBq	79.647.700	385.000	770.180	8.800	80.811.680
Stückzahl	208	161	41	1	411

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2006 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein leichter Rückgang um knapp 20% festzustellen, der sich in der üblichen Schwankungsbreite bewegt.

Die Schwerpunkte liegen wie üblich bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235. Das aufgeführte Plutonium ist in MOX-Brennelementen aus Belgien enthalten. An bestrahlten Kernbrennstoffen wurden nur 9 kg eingeführt.

Tabelle 1.2-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2006
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2006)

Versenderland	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10% U-235	>10-20% U-235	>85% U-235	Plutonium	Thorium	Summe
	in kg								
Frankreich	4.584	1.403.734	0	205.556	117	66	0	0	1.614.057
Belgien	48.004	541	2.918	26.212	0	0	3.563	0	81.238
Niederlande	0	0	0	137.501	0	0	0	0	137.501
Großbritannien	0	123.245	0	57.551	0	0	0	0	180.796
Schweden	0	747	0	23.732	0	0	0	0	24.479
Schweiz	0	0	0	2	0	0	0	157	159
USA	1.019	361.502	3.346	3.399	0	0	0	0	369.266
Kanada	0	536.447	0	0	0	0	0	0	536.447
Russland	2.391	259.219	0	188.132	0	0	0	0	449.742
Südafrika	2.533	0	0	0	0	0	0	0	2.533
Sonstige	1.619	0	0	2	0	0	0	0	1.621
Summe	60.150	2.685.435	6.264	642.087	117	66	3.563	157	3.397.839

1.3 Ausfuhrstatistik (Export statistics)

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle 1.3-1 nahm von 293.648 GBq (2005) um 19% weiter ab auf 238.211 GBq (2006). Der mächtigste Einzelposten ist nicht mehr Co-60; denn hier finden sich ganz im Gegensatz zu den Strahlenquellen ab 1.850 GBq nur noch niedrige Aktivitäten.

Einzig hieraus erklärt sich auch der leichte Gesamtrückgang, während bei den meisten anderen Nukliden Zuwächse festzustellen sind. Das Nuklidspektrum ist gegenüber 2005 unverändert geblieben. Beinahe das gesamte ausgeführte Tritium war im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Ausfuhren von Tritium-Leuchtfarbe wurden hingegen in 2006 nicht registriert.

Tabelle 1.3-1 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1850 GBq im Jahr 2006
(Export of sealed and unsealed radionuclides up to 1850 GBq in the year 2006)

Verbraucher- land	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonst.	Summe	Aktivität in GBq									
																		Schweiz	Norwegen	USA	Kanada	Australien	Japan	Südkorea	Türkei	Kroatien	Rumänien
	4.703	1	14.607	3	17	1.443	1.552	155	0	175	253	2	8	999	115	53	24.086										
	4	0	0	1	2	0	4	0	0	4	0	285	18	0	9	31	358										
	35.669	3.288	0	270	2.001	52.625	3.174	463	1	181	0	9	1.416	5.301	3.653	557	108.608										
	4.513	0	0	44	35	0	20	1	0	415	0	49	0	13	7	8	5.105										
	1.250	0	0	1	2	0	3	2	0	53	0	396	37	0	3	15	7.552										
	80	0	0	261	1	0	1.519	11	10	1	0	48	1.043	16.280	1.133	1	20.388										
	0	0	0	818	66	0	286	6	0	2	15.656	428	140	370	451	13	18.236										
	11	0	0	51	9	0	90	0	0	75	0	30	13	33	19	13	344										
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	419	0	0	0	0	33	453										
	0	0	0	1	55	0	0	0	0	0	829	167	0	0	26	0	1.078										
	0	0	0	332	13	0	81	0	0	36	0	4	41	0	0	4	511										
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.513	0	0	59	0	1.572										
	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	54	0	0	266	3	327										
	0	0	0	2	6	0	32	0	0	0	0	636	0	0	39	7	722										
	1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.140	0	1	28.149										
	0	0	0	0	12	0	11	0	0	0	0	222	25	0	2	1	273										
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	74	0	183	0	0	258										
	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	12	0	514	0	0	529										
	0	0	0	3	3	0	2.235	2	0	0	0	270	25	0	28	0	2.564										
	240	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	22	25	0	1	2	293										
	0	0	0	0	24	0	54	2	0	0	0	2.729	191	0	4.101	13	7.415										
	0	0	0	301	6	0	514	2	0	0	0	1.357	87	0	3.989	4	6.198										
	0	0	0	239	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	222	3	240										
	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	293	0	0	27	0	365										
	0	0	0	18	0	0	4	0	0	205	0	36	18	0	15	90	559										
	207	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	36	0	0	15	90	559										
	137	0	0	236	42	0	190	2	3	0	49	773	148	34	367	47	2.028										
	46.815	3.289	14.607	2.592	2.299	54.068	9.788	649	5.804	1.152	17.206	9.409	3.235	51.867	14.532	899	238.211										

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq (Tabelle 1.3-2) hat sich in erster Linie wegen des starken Zuwachses bei Co-60 mehr als verfünffacht.

Dieser drastische Anstieg liegt in der Tatsache begründet, dass in 2006 wieder in diese Rubrik fallende Co-60-Quellen an den Hersteller nach Kanada zurückgeliefert wurden. Deshalb findet sich der größte Posten innerhalb der Spalte für Co-60, wie auch bei der Einfuhr in Tabelle 1.2-2, ebenfalls bei Kanada. Die Summe bei Co-60 entspricht 85,6% der Gesamtausfuhr aus der Tabelle 1.3-2.

Tabelle 1.3-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2006
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2006)

Verbraucherland	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
	Aktivität in GBq				
Schweiz	0	0	81.400	0	81.400
Türkei	566.000	0	0	0	566.000
USA	0	285.990	0	0	285.990
Kanada	3.432.800	0	0	0	3.432.800
Südkorea	0	0	88.800	0	88.800
Kroatien	0	0	0	20.000	20.000
Saudi-Arabien	0	0	5.550	0	5.550
Ägypten	0	0	0	10.545	10.545
Vein.Arab.Emirate	0	0	0	4.070	4.070
Kuwait	0	0	0	1.850	1.850
China	0	0	142.450	0	142.450
Indien	212.000	0	5.550	0	217.550
Bangladesch	0	0	0	3.000	3.000
Malaysia	0	0	0	5.920	5.920
Vietnam	163.000	0	0	0	163.000
Kolumbien	0	0	81.400	0	81.400
Libyen	0	0	0	1.850	1.850
Summe GBq	4.373.800	285.990	405.150	47.235	5.112.175
Stückzahl	120	120	21	21	282

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Ausfuhrmenge ist in 2006 mit 3.111.251 kg gegenüber 1.226.615 kg (2005) hauptsächlich wegen des Wiederanstiegs bei angereichertem Uran recht exakt auf den Durchschnittswert der vergangenen 19 Jahre angestiegen.

So liegt hier mit 2.510.894 kg, die zum Zwecke der Wiederanreicherung auf den U-235-Gehalt von Natururan nahezu vollständig nach Russland verbracht wurden, der mengenmäßig größte Anteil. Es sind 80,7% der Gesamtausfuhr. Fast der gesamte Rest findet sich bei angereichertem Uran mit 3-10%igem Anteil an U-235.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden ist im Berichtszeitraum nur in kleinen Mengen ausgeführt worden. Es handelt sich dabei um Forschungsreaktor-Brennelemente. Plutonium und Thorium wurden 2006 nicht ausgeführt.

Tabelle 1.3-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2006
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2006)

Verbraucher- land	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10%U-235	>10-20%U-235	>20-85%U-235	Summe
	in kg						
Frankreich	0	527	0	109.678	0	0	110.205
Belgien	0	0	321	152.123	0	0	152.444
Niederlande	0	0	0	9.093	0	0	9.093
Großbritannien	3	102	0	58.698	0	0	58.803
Schweden	0	0	14	121.895	0	0	121.909
USA	1.094	78	14	121.383	0	0	122.569
Kanada	0	80	0	0	0	0	80
Russland	2.504.800	0	0	0	119	207	2.505.126
Kasachstan	0	495	709	0	0	0	1.204
Brasilien	0	0	0	12.809	0	0	12.809
China	414	0	0	12.012	0	0	12.426
Südafrika	3.046	0	0	0	0	0	3.046
Sonstige	1.537	0	0	0	0	0	1.537
Summe	2.510.894	1.282	1.058	597.691	119	207	3.111.251

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.3-4 waren bisher die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt. Diese bewegten sich im Maßstab bis zu einigen hundert Tonnen: In 2005 waren dies noch ca. 18.000 kg, 2004 110.000 kg und davor sogar die sonst etwa üblichen Mengen (370.000 kg in 2003 und 335.000 kg in 2002).

Es handelte sich um die üblichen Lieferungen des Brennstoffes aus zivilen Leistungsreaktoren zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien. Diese Verbringungen dürfen gemäß § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG seit dem 01. Juli 2005 nicht mehr erfolgen.

Die in 2006 insgesamt ausgeführte Kleinmenge von nur noch 21 kg setzt sich wie folgt zusammen:

- Das in die Schweiz ausgeführte abgereicherte und leicht angereicherte Uran war nebst 131 g Plutonium in Brennstäben sowie Brennstabsegmenten für wissenschaftliche Untersuchungen enthalten.
- Das in die USA verbrachte höher angereicherte Material stellt zusammen mit 74 g Plutonium den Inhalt von MTR („Material-Testing-Reactor“- Brennelementen dar, die nicht unter § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG fallen, Eigentum der Vereinigten Staaten sind und somit nach deren Nutzungsdauer zurückzuliefern waren.

Tabelle 1.3-4 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2006
(Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2006)

Empfängerland	abger. Uran	bis 3% U-235	>10-20% U-235	>20-85% U-235	Summe
	in kg				
Schweiz	7	4	0	0	11
USA	0	0	3	7	10
Summe	7	4	3	7	21

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (Licenses and reports)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2006. Neu in dieser Tabelle ist die Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“. Hier sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQs) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12. August 2005 nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQs sind sinngemäß in der Rubrik „Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ enthalten, wo sich zuvor lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10⁸-fache der Freigrenzen pro Versandstück überschritt.

Ferner ist in der Tabelle seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte „Genehmigungen nach § 108 StrlSchV“ enthalten; sie ersetzt die Auflistung der Anzeigen nach § 12 Abs. 3 der alten Strahlenschutzverordnung.

Da grenzüberschreitende Verbringungen von Konsumgütern nach § 108 StrlSchV jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird in dieser Spalte lediglich die Anzahl der im Berichtszeitraum erteilten Genehmigungen angegeben, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben.

Die einschneidendste Änderung ebenfalls seit 2002 liegt jedoch im Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe. Die vorliegende Statistik enthält daher hierüber keine Daten.

Durch den Beitritt der 10 neuen Mitgliedstaaten zum 01. Mai 2004 sind diese in den Tabellen bereits seit der Statistik für 2005 auch nicht mehr aufgeführt. Die im laufenden Jahr der EU neu beigetretenen Mitgliedstaaten hingegen werden erst in der Jahresstatistik für 2007 entfallen.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 43 Einfuhr- und 85 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 55 Ausfuhr- und 19 Einfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Die vorliegende Statistik enthält auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle; diese sind vielmehr den regelmäßigen Berichten („Bericht über die Anwendung in den Mitgliedstaaten der Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft“; Daten von 2006 derzeit noch unveröffentlicht) an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2006 gingen 3.637 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 6.205 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 wieder leicht angestiegen.

Tabelle 1.4-1 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2006
(*Overview of the number of licenses and reports in the year 2006*)

Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrlSchV			Anzahl der Anzeigen § 20 StrlSchV		Anzahl der Genehmigungen § 108 StrlSchV	
für	erteilt	genutzt	Abs. 1 u. 3	Abs. 2	Nr. 1 (Einfuhr)	Nr. 2 (Ausfuhr)
Einfuhr § 3 AtG	43	39	3.637	6.205	6	7
Ausfuhr § 3AtG	85	55				
Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)	19	19				
Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)	55	52				

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

Das BfS ist auf dem Gebiet des Transports von radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen die zuständige Bundesbehörde zur Erteilung von Beförderungsgenehmigungen gemäß dem Atomgesetz (Beförderung von Kernbrennstoffen) und der Strahlenschutzverordnung (Beförderung von Großquellen) für alle Verkehrsträger.

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

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Zulassungsverfahren 2006 war der Abschluss der mehrjährigen, umfassenden sicherheitstechnischen Begutachtung des französischen Transport- und Lagerbehälters der neuen Bauart TN85 und dessen verkehrsrechtliche Zulassung durch das BfS. Behälter dieser Bauart werden für die Beförderung von hochradioaktiven Glaskokillen (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung in das Transportbehälterlager Gorleben benötigt. Der TN 85 gestattet gegenüber den bisher eingesetzten Behältern der Bauart CASTOR[®] HAW 20/28 CG die Beförderung von Glaskokillen mit höherer Wärmeleistung.

Entsprechend der in den gefahrgutrechtlichen Vorschriften festgelegten Zuständigkeiten wurde die sicherheitstechnische Begutachtung des TN85 hinsichtlich der mechanischen und wärmetechnischen Auslegung, der Dichtheit und Qualitätssicherung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und hinsichtlich der Strahlungsabschirmung, der Kritikalitätssicherheit und der Inhaltsspezifikation durch das BfS vorgenommen. Auf der Grundlage von Modellversuchen, Berechnungsverfahren und Ähnlichkeitsbetrachtungen wurde die Erfüllung aller sicherheitstechnischen Anforderungen durch den Antragsteller nachgewiesen, so dass am 14. März 2006 für den TN85 die verkehrsrechtliche Zulassung als Versandstückmuster vom Typ B(U)F-96 durch das BfS erteilt werden konnte.

Für den Transport der verglasten hochradioaktiven Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague/Frankreich in das zentrale Zwischenlager Gorleben im Jahr 2006 wurde am 05.05.2006 für 12 Transportbehälter vom Typ CASTOR[®] HAW 20/28 CG die Genehmigung nach § 4 AtG vom BfS erteilt. Der Transport wurde vom 11. bis 13. November durchgeführt.

Weitere Genehmigungen nach § 4 AtG wurden für die Versorgung von Forschungsreaktoren in Berlin, Geesthacht und Garching mit unbestrahlten MTR-(Materialtestreaktor)-Brennelementen sowie für den Abtransport von bestrahlten MTR-Brennelementen aus dem Forschungsreaktor Jülich in die USA erteilt. Ein weiterer Schwerpunkt war das Genehmigungsverfahren für den Abtransport von Restbeständen an hochangereicherten unbestrahlten Brennstoffen aus dem Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. nach Russland im Rahmen eines internationalen Entsorgungsprojekts unter Beteiligung der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEA), der USA und Russlands. Die Beförderungsgenehmigung für den beantragten Straßen- und Lufttransport wurde am 30. November 2006 erteilt und der Transport wurde am 18. Dezember 2006 durchgeführt.

Die eingesetzten Transportbehälter sind nach internationalen Richtlinien für den Straßen- und Lufttransport zugelassen. Bei der Prüfung der Zulassungsvoraussetzungen durch das BfS wurde auch nachgewiesen, dass selbst bei einem Flugzeugabsturz das zu transportierende Inventar nicht kritisch wird und der erforderliche Schutz der Bevölkerung gegenüber eventuellen radiologischen Auswirkungen gegeben ist.

Die Vorbereitung der im Zusammenhang mit der Stilllegung kerntechnischer Anlagen künftig notwendigen Abtransporte von kontaminierten und/oder bestrahlten Großkomponenten (z. B. Dampferzeuger, Reaktordruckgefäß) ergab 2006 neue Aufgabenstellungen für das BfS als Genehmigungsbehörde für die Erteilung der erforderlichen verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen. So wurden Vorprüfungen durchgeführt, um die Anforderungen an Art und Umfang der von den Antragstellern einzureichenden Prüfunterlagen zu spezifizieren.

Die im Jahr 2005 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) als neues Beratungsgremium gegründete „Arbeitsgruppe Klasse 7“ des Gefahrgutverkehrsbeirats hat unter der Leitung des BfS ihre Arbeit mit zwei Sitzungen im Jahr 2006 erfolgreich fortgesetzt. Dabei wurden insbesondere Vorschläge zur Regelwerksfortentwicklung für das zuständige BMVBS auf dem Gebiet des Gefahrgutbeförderungsrechts erarbeitet, die dann als Stellungnahmen Deutschlands in die Arbeit der internationalen Expertengremien bei IAEA und den Vereinten Nationen (UN) zur Weiterentwicklung der IAEA Transportempfehlungen TS-R-1 und der UN-Empfehlungen zur Beförderung gefährlicher Güter der Klasse 7 „Radioaktive Stoffe“ eingeflossen sind.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe (Overview of transport licenses 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 2006 wurden zusammen 134 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

**Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2006 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of shipments of nuclear fuels reported in the year 2006 – for various modes and types of transport)**

Anzahl der Inlandtransporte	
Schiene / unbestrahltes Material	0
Schiene / bestrahltes Material	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0
Straße / unbestrahltes Material	79
Straße / bestrahltes Material	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0
Insgesamt	79
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte	
Luft / unbestrahltes Material	4
Luft / bestrahltes Material	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0
See / unbestrahltes Material	100
See / bestrahltes Material	2
See / Reststoffe und Abfall	3
Schiene / unbestrahltes Material	0
Schiene / bestrahltes Material	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	1
Straße / unbestrahltes Material	215
Straße / bestrahltes Material	19
Straße / Reststoffe und Abfall	0
Insgesamt	344

2006 wurden insgesamt 423 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 21 Transporte mit Großquellen durchgeführt.

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2006 vom BfS insgesamt 15 Zulassungen für Transportbehälter und 14 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie 3 Beförderungsgenehmigungen erteilt.

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

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

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

Die folgenden Angaben für das Jahr 2006 wurden vom EBA für den Jahresbericht 2006 erstellt.

Tabelle 2.2-1 spiegelt die gesamte Anzahl der im Jahr 2006 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren wider.

Tabelle 2.2-2 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2006, spezifiziert nach der Art der beförderten radioaktiven Stoffe, im Vergleich zum Vorjahr auf.

Tabelle 2.2-3 zeigt die Gesamtgammaaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2006. Die Gesamtgammaaktivität im Wagenladungsverkehr ist durch den kompletten Wegfall der aktivitätsintensiven Beförderungen von bestrahlten Brennelementen wiederum niedriger als im Jahr zuvor.

Jahr	Anzahl Wagenladungen
1990	558
1991	744
1992	562
1993	662
1994	745
1995	654
1996	780
1997	678
1998	415
1999	204 a)
2000	258 a)
2001	336
2003	552
2004	509
2005	610
2006	536

Tabelle 2.2-1

**Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen
(*Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials*)**

a) rückläufig, überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 Wagenladungssendungen 2006
(Truck-loads in 2006)

Art der beförderten Stoffe	Anzahl der Wagen	
	2005	2006
Kernbrennstoffe		
Unbestrahlte Brennelemente	-	-
Bestrahlte Brennelemente	8	-
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	12	12
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-
angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF ₆) - UF ₆ -Konversionsprodukten	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆) Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels) Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆)	149	218
Urannerze, Urannerzkonzentrate	299	187
Radioaktiver Abfall aus kerntechnischen Anlagen	117	113
Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken	12	3
Leere Verpackungen, innen kontaminiert	3	-
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	10	-
Freigestellte Versandstücke	-	3
Summe	610	536

Tabelle 2.2-3 Beförderte Gesamtgammaaktivität 2006
(Total activity transported 2006)

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität	
	(Werte zum Teil geschätzt) PBq	
	2006	2005
Kernbrennstoffe		
Unbestrahlte Brennelemente	-	-
Bestrahlte Brennelemente	-	1.442,020
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	4.100,642	4.054,708
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-
Angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF ₆) - UF ₆ -Konversionsprodukten	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe		
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆) Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels) Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆)	0,139	0,108
Urannerze, Urannerzkonzentrate	0,122	0,181
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 I-Metallfässern	0,031	0,505
Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken	0,169	0,742
Leere Verpackungen, innen kontaminiert	-	< 0,001
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	-	0,060
Freigestellte Versandstücke	-	-
Summe	4.101,104	5.498,324

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

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

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

In Tabelle 3.1-1 ist die Zahl der in 2006 gültigen Genehmigungen nach §§ 7, 11, 15, 16, 106 StrlSchV und § 9 AtG in einer Übersicht, aufgeschlüsselt auf die Bundesländer, wiedergegeben.

Die Genehmigungen verteilen sich in 2006 im Wesentlichen zu 77,1% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 3,3% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, zu 1,8% auf Beförderung und zu 17,5% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen. Nur ca. 0,3% der Genehmigungen betrafen § 9 AtG und 0,1% den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern.

Gemäß § 7 „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen“ waren im Jahr 2006 15.471 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen ist in Tabelle 3.1-2 aufgelistet und betrug insgesamt 10.891, davon waren

- 24% im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 12% im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 57% im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und
- 7% in sonstigen Bereichen, z. B. Behörden registriert.

In Tabelle 3.1-3 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender ausschließlich umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2006 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2006 deutlich höher als in den anderen Bereichen.

Eine Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2006 gibt Tabelle 3.1-4.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2006 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 12.572 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 23 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. zwei Am-241-Quellen, zwei Sr-90-Quellen, eine Cs-137-Quelle, eine Pb-210-Quelle, eine Ra-226-Quelle, eine Co-57-Quelle und eine Ni-63-Quelle. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

Die Daten des Landes Bremen fehlen in der Zusammenstellung.

In den Tabellen 3.1-6 und 3.1-7 ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RÖV im Jahr 2006 unterteilt in die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin“ sowie „Technik / Nichtmedizin“ für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1.297 und ist für die Bundesländer in Tabelle 3.1-7 gesondert aufgeführt. 37% der nach § 3 Abs.1 RÖV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2006 wurden im technischen Bereich 8.441 Röntgeneinrichtungen gemäß §4 Abs.1 angezeigt.

Die Daten des Landes Bremen fehlen in der Zusammenstellung.

**Tabelle 3.1-1 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)**

Land	Am 31.12.2006 gültige Genehmigungen nach: ^{a)}					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Errichtung und Betrieb von Anla- gen zur Erzeugung von Strahlen) ^{b)}	§ 15 StrlSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrlSchV (Zusatz radioak- tiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrenn- stoffen)
Baden- Württemberg	3.061	Abs. 1: 64 Abs. 2: 69	1.182	133	3	14
Bayern	1.546	Abs. 1: 1 Abs. 2: 69	353	10	6	12
Berlin	1.015	Abs. 2: 55	256	26	2	2
Brandenburg	295	Abs. 2: 9	63	7	0	0
Bremen			keine Angaben			
Hamburg	302	Abs. 2: 7	61	2	1	0
Hessen	933	Abs. 2: 48	203	8	0	5
Mecklenburg- Vorpommern	198	Abs. 1: 1 Abs. 2: 6	79	1	0	0
Niedersachsen	2.026	Abs. 2: 53	265	58	0	2
Nordrhein- Westfalen	3.478	Abs. 1: 4 Abs. 2: 149	478	49	0	11
Rheinland-Pfalz	489	Abs. 2: 20	152	31	0	2
Saarland	141	Abs. 2: 8	23	4	0	0
Sachsen	557	Abs. 2: 26	172	13	2	8
Sachsen-Anhalt	444	Abs. 1: 0 Abs. 2: 17	69	14	0	0
Schleswig-Holstein	546	Abs. 2: 36	125	6	2	1
Thüringen	440	Abs. 2: 17	23	2	1	0
Summe:	15.471	Abs. 1: 66 Abs. 2: 440	3.504	364	17	57

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

b) getrennt nach § 11 Abs. 1 und Abs. 2 StrlSchV

**Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^{a)} nach § 7 StrlSchV zum Umgang
mit radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2006)
(Survey on the number of licensees according to § 7 StrlSchV)**

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	432	180	1.057	78
Bayern	249	39	725	135
Berlin	459	350	196	10
Brandenburg	29	25	234	13
Bremen			keine Angaben	
Hamburg	43	23	123	15
Hessen	201	90	380	37
Mecklenburg- Vorpommern	47	30	177	20
Niedersachsen	170	91	603	37
Nordrhein-Westfalen	668	185	1.596	65
Rheinland-Pfalz	99	67	260	50
Saarland	27	2	47	4
Sachsen	99	145	267	28
Sachsen-Anhalt	50	47	284	29
Schleswig-Holstein	43	13	121	12
Thüringen	34	10	185	156
Summe:	2.650	1.297	6.255	689

a) Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle 3.1-3 Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^{a)} nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen (Stand: 31.12.2006)
(Survey on the number of licensees according to § 7 StrlSchV - sealed radioactive sources only)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV (umschlossene rad. Stoffe)				
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	116	60	645	58	44
Bayern	41	23	682	10	126
Berlin	124	20	124	12	2
Brandenburg	21	13	210	8	7
Bremen	keine Angaben				
Hamburg	6	12	116	2	9
Hessen	37	9	257	3	18
Mecklenburg-Vorp.	15	28	167	1	13
Niedersachsen	28	20	473	26	17
Nordrhein-Westf.	115	139	1.398	88	43
Rheinland-Pfalz	71	39	188	12	35
Saarland	4	1	34	5	4
Sachsen	32	49	247	13	11
Sachsen-Anhalt	12	10	248	20	20
Schleswig-Holstein	26	8	71	4	13
Thüringen	8	4	154	13	150
Summe:	656	435	5.014	275	512

a) Genehmigungen nach § 11 StrlSchV und nach den §§ 6, 7, 9 AtG in Verbindung mit § 7 StrlSchV sind nicht berücksichtigt

Tabelle 3.1-4 Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen ^{a)} nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2006)
(Survey on the number of licensees according to § 11 StrlSchV)

Land	Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 11 StrlSchV			
	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	44	17	9	0
Bayern	42	8	9	0
Berlin	23	17	0	0
Brandenburg	6	1	0	0
Bremen	keine Angaben			
Hamburg	5	1	1	1
Hessen	20	4	2	0
Mecklenburg-Vorpommern	7	1	0	0
Niedersachsen	20	6	4	0
Nordrhein-Westfalen	91	9	5	0
Rheinland-Pfalz	16	1	0	0
Saarland	5	0	0	0
Sachsen	16	7	3	0
Sachsen-Anhalt	6	0	4	0
Schleswig-Holstein	21	2	0	0
Thüringen	6	1	1	0
Summe:	328	75	38	1

a) einschließlich in Verbindung mit nach § 7 StrlSchV erteilten Genehmigungen

Tabelle 3.1-5 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen § 66 StrlSchV im Jahre 2006
(Survey on the results of monitoring of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2006)

Land	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:											Anzahl und Nuklid der bei den Prüfungen als undicht ermittelten Präparate
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Baden-Württemberg	1.978	93	561	435	31	2	19	431	112	294	6		
Bayern	3.489	220	558	638	45	2	396	763	130	737	1 x Ni-63, 1 x Sr-90, 1 x Pb-210, 1 x Ra-226, 2 x Am-241		
Berlin	220	16	58	78	5	0	5	28	4	26	1 x Co-57		
Brandenburg	473	93	11	227	3	0	3	72	42	22	0		
Bremen													
Hamburg	455	31	74	90	0	0	80	90	7	83	0		
Hessen	423	104	107	91	2	1	8	28	25	57	0		
Mecklenburg-Vorp.	239	44	36	91	1	0	1	31	8	27	0		
Niedersachsen	2.023	207	242	556	14	3	326	264	112	299	5		
Nordrhein-Westfalen	99	47	0	33	0	0	0	19	0	0	0		
Rheinland-Pfalz	279	13	38	78	12	0	1	90	1	46	2		
Saarland	60	24	15	15	1	0	0	5	0	0	0		
Sachsen	1.798	802	191	592	7	1	3	88	40	74	1 x Sr-90		
Sachsen-Anhalt	462	18	3	345	0	1	1	22	9	63	1 x Cs-137		
Schleswig-Holstein	358	26	56	113	5	0	52	56	27	23	1		
Thüringen	216	41	16	116	3	0	2	17	3	18	0		
Summe:	12.572	1.779	1.966	3.498	129	10	897	2.004	520	1.769	23		

keine Angaben

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin in 2006 (Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in human medicine, dentistry and animal health in 2006)

Am 31.12.2006 gültige Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen

Land	Humanmedizin		Zahnmedizin		Tiermedizin		
	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 2 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) für die Behandlung von Menschen	Untersuchung		Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 Nr. 2 angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 RöV angezeigten RöE
		Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RöV genehmigten RöE und davon gesondert RöE zur Teleradiologie nach § 3 Abs. 1 und 4 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 angezeigten RöE				
Baden-Württemberg	71	1.204 (25)	5.104	1.676	12.786	329	571
Bayern	53	739 (61)	5.600	798	13.356	322	848
Berlin	17	87 (2)	1.741	50	3.711	36	328
Brandenburg	3	61 (13)	847	6	2.063	48	208
Bremen			keine Angaben				
Hamburg	9	67 (2)	817	84	2.332	23	75
Hessen	23	126 (39)	2.354	158	6.150	125	469
Mecklenburg-Vorp.	2	42 (10)	713	7	1.921	15	126
Niedersachsen	39	265 (10)	3.787	284	7.959	114	734
Nordrhein-Westfalen	138	1.822 (53)	8.968	1.586	16.059	263	1.043
Rheinland-Pfalz	18	122 (17)	1.839	58	3.604	54	302
Saarland	9	75 (12)	600	21	896	15	69
Sachsen	12	128 (27)	1.820	62	4.863	42	286
Sachsen-Anhalt	9	58 (7)	1.116	8	2.595	16	156
Schleswig-Holstein	16	117 (7)	1.265	170	2.946	82	246
Thüringen	9	18 (7)	954	3	2.598	11	141

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2006
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted sources of interference generators in technological / non-medical areas in 2006)

Am 31.12.2006 gültige Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen

Land	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 RÖV genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE)		Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 angezeigten 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-Württemberg	39	745	921	586	365
Bayern	313	522	635	611	299
Berlin	84	206	233	203	95
Brandenburg	73	46	91	66	13
Bremen			keine Angaben		
Hamburg	65	67	172	80	42
Hessen	86	580	334	308	124
Mecklenburg-Vorp.	30	17	35	16	12
Niedersachsen	134	154	439	341	131
Nordrhein-Westfalen	674	537	1.172	1.017	292
Rheinland-Pfalz	79	158	118	168	51
Saarland	11	29	141	22	41
Sachsen	157	145	191	83	67
Sachsen-Anhalt	105	44	77	56	47
Schleswig-Holstein	42	17	79	105	1
Thüringen	40	24	89	52	9

3.2 Bestand radioaktiver Abfälle (Stock of radioactive waste)

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Tabelle 3.2-1 enthält die zusammengefassten Daten für die Jahre 2005 und 2006 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle.

Tabelle 3.2-1 Übersicht über die Volumina zwischengelagerter radioaktiver Abfälle am 31. Dezember, Angaben in m³
(Survey on the volume of intermediately stored radioactive wastes on 31 December, indications in m³)

Abfallart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd		wärmeentwickelnd	
	in m ³			
	2006	2005	2006	2005
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Jahresende	17.035	23.092	61	56
Zwischenprodukte Bestand Jahresende	9.503	8.159	1.252	
Anfall im Jahr	1.344	1.883	1.252	
konditionierte Abfälle Bestand Jahresende	88.515	86.096	544	1.803
Anfall im Jahr (gemeldetes Aufkommen)	3.983	3.660	60	60

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern im Jahr 2006 17.035 m³ unbehandelte Abfälle (Vorjahr 23.092 m³); wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung belief sich auf 9.503 m³ (Vorjahr 8.159 m³). Diese lagern zum überwiegenden Teil bei den Abfallverursachern, zum Teil aber auch in zentralen Zwischenlagern. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung betrug am 31. Dezember 2006 insgesamt 88.515 m³ (Vorjahr 86.096 m³). Auch diese Bestände lagern sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle sind für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-2 und für wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-3 für die einzelnen Abfallverursachergruppen aufgeführt.

Tabelle 3.2-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember, Angaben in m³
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes, intermediate products and conditioned wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December, indications in m³)

Gruppe	unbehandelte Rohabfälle		Zwischenprodukte		konditionierte Abfälle	
	in m ³					
	2006	2005	2006	2005	2006	2005
Forschungseinrichtungen	6.113	7.692	2.685	1.204	39.190	38.446
kerntechnische Industrie	465	1.016	2.403	2.136	6.433	7.089
Kernkraftwerke	3.166	5.881	849	405	15.010	14.489
stillgelegte Kernkraftwerke	4.825	5.199	949	2.411	10.707	9.235
Landessammelstellen	1.222	1.805	654	1.808	3.343	3.107
Sonstige	1.226	1.139	1.963			
Wiederaufarbeitung (WAK)	18	360		195	13.832	13.730
Summe	17.035	23.092	9.503	8.159	88.515	86.096

Der Mittelwert des jährlichen Anfalls über alle Verursachergruppen beträgt in den 23 Jahren, in denen eine Abfallerhebung durchgeführt wurde, ca. 4.400 m³ (Vorjahr ca. 4.480 m³).

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2006 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 61 m³ wärmeentwickelnde Rohabfälle (Vorjahr ca. 56 m³) und ca. 544 m³ wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle (Vorjahr 1.803 m³). Zusätzlich waren 1.252 m³ wärmeentwickelnde Zwischenprodukte zwischengelagert. Neben den HAW-Kokillen aus der Wiederaufbereitung in Frankreich handelt es sich bei den konditionierten wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen u. a. um hochaktivierte Teile und Brennelementteile aus der WAK, um Konzentrate und um unsortierten Abfall z. B. aus dem Abbau der WAK und des KNK. Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Spaltproduktkonzentrat aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) sowie um Abfälle des Forschungsreaktors Garching II. Die Aufteilung des Bestandes an wärmeentwickelnden Abfällen wird in Tabelle 3.2-3 aufgezeigt.

Tabelle 3.2-3 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen und konditionierten wärmeentwickelnden Abfällen nach Verursachergruppen am 31. Dezember, Angaben in m³
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes and conditioned heat generating wastes according to groups of waste producers on 31 December, indications in m³)

Verursachergruppe	unbehandelte Rohabfälle		konditionierte Abfälle	
	in m ³			
	2006	2005	2006	2005
Forschungseinrichtungen kerntechnische Industrie			90	90
Kernkraftwerke stillgelegte Kernkraftwerke	5		1	6 1.314
Landessammelstellen			19	19
Sonstige				56
Wiederaufarbeitung (WAK)		56	56	
Wiederaufarbeitung (HAW)	56		378	318
Summe	61	56	544	1.803

Bis zum 31.12.2006 sind in Deutschland 12.122 Mg SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) bestrahlte Brennelemente angefallen (Vorjahr 11.800 Mg SM). Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Kernkraftwerken. Davon wurden 6.662 Mg SM - zur Wiederaufarbeitungsanlage AREVA NC (vormals COGEMA), Sellafield Ltd. (vormals BNFL) und WAK abgegeben sowie in sonstigen Anlagen im europäischen Ausland entsorgt.

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (*Exceptional events subject to reporting*)

Tabelle 4-1 enthält eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2006. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalles, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle 4-1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen (*Unusual events in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and during the transport of radioactive material and in the operation of X-ray devices*)

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
Nachmeldung 17.11.05	Überschreitung des zulässigen Grenzwertes der Gesamtemissionen für Sr-90 und Alpha-Strahler bei Wartungsarbeiten in einem Forschungszentrum	Unbekannt	Keine	Unbekannt
03.01.06	Verlust eines Messgerätes mit einem Prüfstrahler (Sr-90)	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Unbekannt, vermutlich keine	Polizeiliche Ermittlungen, Messgerät bislang nicht aufgefunden, Warnung über Zeitungsmeldung
11/2005 - 02/2006	Fund natürlicher radioaktiver Stoffe (Pechblende/Uran, 18 µSv/h am Gestein) in einem Privathaushalt	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.01.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 26 µSv/h an Oberfläche) in einem elektronischen Bauteil bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.01.06	Verlust eines Schulstrahlers (Ra-226, 37 kBq)	Fehlerhafte Jahresmeldung	Keine	Keine
16.01.06	Unfall mit einem LKW, der ein Ionenmobilitätsspektrometer (Ni-63, 370 MBq) geladen hatte	Missachtung der Straßenverkehrsvorschriften	Keine, da Versandstück unversehrt geblieben ist	Keine
17.01.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226; Kr-85, 13 µSv/h an Oberfläche) in einem elektronischen Bauteil bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.01.06	Absturz des Strahlerstativs einer Röntgeneinrichtung	Unbeabsichtigte Betätigung des Steuerhebels	Tod der Patientin durch Erdrücken (kein radiologischer Unfall)	Polizeiliche Ermittlungen, Untersuchung durch Sachverständigen, Information an MPG-Behörden zur Überprüfung des Stands der Technik bei Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
21.01.06	Verlust von 54 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226, insgesamt 160 kBq) bei Abrissarbeiten	Unterlassene Kontrollen	Keine	Einleitung von Maßnahmen zur Auffindung der vermissten Ionisationsrauchmelder, ordnungsgemäße Entsorgung des Bauschutts
24.01.06	Fund von zwei Prostata-Seeds (I-125) nach Behandlung eines Patienten in einem Krankenhaus	Unbemerktter Verlust von Seeds aus der Implantationsnadel vor Einbringen in den Patienten	Keine (Seeds befanden sich in einem Abschirmbehälter)	Veränderung des Arbeitsablaufs, Protokollierung und Kontrolle der implantierten Seeds
25.01.06	Fund eines radioaktiven Stabstrahlers (Ra-226, 850 μ Sv/h am Strahler) in einer Schrottladung durch Messungen beim Empfänger in Luxemburg	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücksendung nach Deutschland, Radioaktivität bei Nachmessungen nicht verifiziert, radioaktiver Stoff daher möglicherweise falsch identifiziert (Nuklid mit kurzer Halbwertszeit)
26.01.06	Verlust einer Bohrgarnitur (Cs-137, 14,8 kBq und 1,85 kBq)	Verbleib des Messinstrumentes bei einer Teufe von 3486 m im Bohrloch	Keine	Verbleib des Messinstrumentes im wieder verschlossenen Bohrloch
01.02.06	Fund eines Strahlers (Cs-137, 18 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.02.06	Fund radioaktiver Chemikalien (Uranperoxid und Uranylacetat) in einem Privathaushalt	Illegaler Besitz radioaktiver Stoffe	Keine	Beschlagnahmung und ordnungsgemäße Entsorgung
03. - 17.02.06	Fehlbestrahlung von drei Patienten mit einer Afterloadinganlage in einem Klinikum	Fehlerhafte Eingabe von Steuerungsparametern der Behandlungs-Software nach Einspielung eines Software-Updates	Unbeabsichtigte Dosen bis 24 Gy in umgebendes gesundes Gewebe, Hautrötungen bei einigen Patienten, teilweise mit Epithelabhebung und Pigmentanomalien	Medizinische Kontrolle der Patienten, Änderung von Arbeitsabläufen und Anweisungen, Fortbildungen des Personals, Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
07.02.06	Fund eines Strahlers (Ra-226, 4 μ Sv/h an Containeroberfläche) im Hausmüll auf einem Klinikgelände	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.02.06	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 29,6 kBq)	Unzulässige Entsorgung mit Bauschutt	Keine	Ermittlungen zum Verbleib erfolglos
15.02.06	Störung beim Zurückfahren des Strahlers (Ir-192, 440 GBq) eines Afterloading-Gerätes während einer Funktionsprüfung in einem Krankenhaus	Lösen des Quellendrahthes aus den Führungsrollen und Aufwicklung auf das Antriebszahnrad	2,6 mSv effektive Dosis und 22 mSv Handdosis bei dem Mitarbeiter der Servicefirma	Zwischenlagerung des Strahlers in einem Notfallbehälter, Wartung des Gerätes, Ersatz modifizierter Antriebsteile, Ursachenanalyse noch nicht abgeschlossen
16.02.06	Irrtümliche Exposition von 14 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage	Personen hielten sich illegal im Laderaum des LKW auf	Gering	Keine
17.02.06	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Teilen (Th-232, 6 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
27.02.06-07.03.06	Vorübergehende Unauffindbarkeit von drei Versandstücken, die Radiopharmaka enthielten (I-131, 2,3 GBq) bei einer Speditionsniederlassung	Mangelnde Sorgfalt	Keine	Keine
20.03.06	Fund eines Fluginstrumententeils mit Leuchtfarbe (Ra-226, 10 µSv/h am Instrument) in einem Schrottcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.03.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 13 µSv/h an Oberfläche) in einem Bauteil bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.03.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Co-60, 60 µSv/h an Oberfläche) in einem Metallteil bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.06	Fund eines Strahlers (Ra-226, 450 kBq) im Schrott bei einer Recycling-Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.06	Verlust eines Teils einer Sendung von uranhaltigen Elektroden (U-234, 8,3 MBq)	Mangelnde Sorgfalt beim Absender	Keine	Optimierung der organisatorischen Abläufe beim Absender
30.03.06	Fund eines kontaminierten (Uran-angereichert 80 %, 3,8 MBq) Rohrstücks, das nach AtG als Kernbrennstoff einzustufen ist, in einer Schrottlieferung bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung von hoch angereichertem Uran aus vermutlich militärischer Nutzung	Gering	Sicherstellung und Einleitung der ordnungsgemäßen Entsorgung, Veranlassung einer radiologischen Überprüfung der restlichen Schrottmenge
02.04.06	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 1,3 MBq)	Kauf einer Privatperson auf einem Flohmarkt	Keine	Ablieferung an die Landessammelstelle
03.04.06	Fund einer Radiometrie-Einrichtung mit einem Strahler (Am-241, 1,67 GBq) in zur Verschrottung vorgesehenen Anlagenteilen	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Dichtheitsprüfung und ordnungsgemäße Entsorgung
18.04.06	Fund eines Messgeräts mit einem Strahler (Kr-85, 1,85 GBq) in einem verschrotteten PKW in einer Schiffsladung	Unzulässige Einfuhr	Keine	Sicherstellung, polizeiliche Ermittlungen
07.05.06	Fund eines Strahlers (Cs-137, 23,9 GBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
22.05.06	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierten Schlämmen in den Abfällen einer Aluminium verarbeitenden Firma	Bearbeitung von bereits mit Kontaminationen angeliefertem Rohmaterial	Keine	Behördliche Anordnung von Kontrolluntersuchungen zur Aktivitätsbestimmung, ordnungsgemäße Entsorgung
06/2005 - 05/2006	Verlust eines Schulquellensatzes (Kr-85, 185 kBq; Cs-137, 185 kBq; Pb-210, 18,5 kBq) in einer Schule	Wahrscheinlich bei Sanierungsarbeiten versehentlich unzulässig entsorgt	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen ohne Ergebnis
22.05.06	Fund von radioaktiven Stoffen (28 µSv/h an Oberfläche) in einem Stahlstück bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
24.05.06	Verlust einer Sr-89-Quelle	Irrtümlich konventionelle Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
02. - 07.06.06	Verlust von radioaktiven Schulstrahlern (Ra-226, 5 x 3,7 kBq; U-238/Pa-234m, 5 x 45 kBq)	Diebstahl radioaktiver Stoffe	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, Rückgabe von zwei Strahlern an die Polizei, restliche Strahler nicht aufgefunden
14.06.06	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (Eu-152, 3,1 GBq) an einem Schrottteil bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Max. 13 µSv effektive Dosis für den Fahrer	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.06.06	Fund von aktiviertem Schrott (Co-60; Bandstahl) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung, bzw. Verbringung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung
28.06.06	Versehentliche Bestrahlung eines Mitarbeiters während der morgendlichen Prüfung an einem Beschleuniger in einer Praxis	Mangelnde Kontrolle bei der Inbetriebnahme des Beschleunigers durch eine Mitarbeiterin, Außerbetriebnahme der Personenüberwachungsanlage wegen einer Störung	Personendosis des Mitarbeiters: 10 µSv	Blutanalyse des betroffenen Mitarbeiters, Störungsbeseitigung der Personenüberwachungsanlage, Überarbeitung der Arbeitsanweisungen
30.06.06	Fund einer Zieleinrichtung mit Leuchtfarbe (Ra-226, 15 µSv/h an der Zieleinrichtung) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.07.06	Verlust von zwei Schulquellensätzen (Co-60; Cs-137; Na-22; Kr-85) und zwei Uranglaswürfeln in einer Schule	Unbekannt	Keine	Polizeiliche Ermittlungen ohne Ergebnis
11.07.06	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Kabels (Ra-226, 2,2 MBq) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.07.06	Glasbruch einer Fliegeruhr mit Leuchtzifferblättern (Ra-226, 0,4 µSv/h an der Uhr) bei der ordnungsgemäßen Abgabe	Ungeschick	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.07.06	Fund einer Messeinrichtung mit einem Strahler (Cs-137) auf einem Fahrzeug bei der Einfuhr nach Deutschland in einem Hafen	Fehlende Deklaration bei der Einfuhr, Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Demontage durch Fachfirma, Rücksendung an Hersteller
24.07.06	Irrtümliche Exposition von 5 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage	Personen hielten sich illegal im Laderaum des LKW auf	Gering	Keine
28.07.06	Fund kontaminierter Rohre (Ra-226, 96 Bq/g; Th-232, 33 Bq/g) in einer stillgelegten Anlage	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.08.06	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Rohrstücks (Ra-226) in Ofenschrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.08.06	Eindringen von Wasser in einen mit I-125-Abfällen gefüllten Abklingkeller	Unwetterbedingte Regenfälle in Verbindung mit einer der Praxis benachbarten Straßenbaustelle	Keine	Behördliche Anordnung von Maßnahmen bzgl. der Lagerbedingungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
28.08.06	Fund von zwei Strahlern (Cs-137, 15 µSv/h an Oberfläche) und von radioaktiven Stoffen in Metallteilen (Ra-226) bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.09.06	Beschädigung einer Troxler-Sonde, die einen Strahler (Cs-137, 296 MBq) enthält	Unfall mit einem Fahrzeug	Keine	Sicherung des Strahlers im Transportbehälter, Rückgabe zur Überprüfung an den Hersteller
07.09.06	Fund einer Schulstrahlenquelle (Ra-226, 240 kBq) in Metallschrott	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.09.06	Verlust von zwei Fläschchen mit einer radioaktiven Lösung (Ni-63, 2,1 TBq) in einer Privatfirma	Unbekannt	Unbekannt	Polizeiliche Ermittlungen, zurzeit jedoch noch keine Erkenntnisse, Maßnahmen zur Verhinderung derartiger Vorkommnisse durch Firma angekündigt
19.09.06	Verlust eines Schmuggelwarendektors mit einem Strahler (Ba-133, 1,75 MBq) bei einer Zollbehörde	Unbekannt, Verlust möglicherweise bereits im Mai 2004	Keine	Behördliche Ermittlungen
25.09.06	Verlust einer Strahlenquelle (Ge/Ga-68 Linienquelle, Restaktivität ca. 1,5 MBq) beim Transport von einer Klinik in Spanien zum Hersteller	Unsachgemäße Verpackung der Quelle	Keine	Nachforschungen bei der Transportfirma ergebnislos, Information des BMVBS
27. / 28.09.06	Einfuhr von 3000 Petroleum-Hochdrucklampen mit 6000 thorierten Gasglühstrümpfen (Th-232, 3,5 MBq Gesamtaktivität) nach Deutschland	Mangelnde Genehmigung beim Einführer	Keine	Tausch der thoriumhaltigen Gasglühstrümpfe gegen nur geringfügig mit Thorium (ca. 1,5 Bq/g) verunreinigte, ordnungsgemäße Entsorgung der thoriumhaltigen Gasglühstrümpfe
10/2006 bis 12/2006	Ableitung von C-14 oberhalb der zugelassenen mittleren jährlichen Aktivitätskonzentration in einer Landessammelstelle	Falschdeklaration von radioaktiven Abfällen eines Ablieferers mit nachfolgender falscher Behandlung des Abfalls durch die Landessammelstelle	Keine	Ermittlung und Eindämmung der Emissionsquellen, Überprüfung durch Sachverständigen, Ermittlungen noch nicht abgeschlossen, behördliche Anordnung von Maßnahmen beim Abfalllieferanten
04.10.06	Unzulässiger Versand eines Transportbehälters mit ca. 300 g abgereichertem Uran (ca. 4 MBq) per Post an eine Technologiefirma der Kerntechnik	Illegaler Besitz und illegale Weitergabe radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung der Ampulle bis zum Abschluss der polizeilichen Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung
13.10.06	Fund von kontaminierten Inkontinenz-Materialien (Sm-153, 28 MBq) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklinglagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.10.06	Fund eines mit radioaktiven Stoffen kontaminierten Kabels (Ra-226, 90 µSv/h am Kabel) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
17.10.06	Fund eines Strahlers (Ra-226, 8 µSv/h an Containeroberfläche) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.10.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 25 µSv/h an Oberfläche) an einem Instrument bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
24.10.06	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 8,6 MBq) in einem Schrottteil bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und Klärung des Verbleibs
27.10.06	Fund von 45 mit Leuchtfarbe versehenen Anzeigeinstrumenten (Ra-226, 3 µSv/h in nächster Nähe) bei einem Elektrostahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.11.06	Fund eines Strahlers (Kr-85, 2,4 GBq) im Schrott bei einer Stahl verarbeitenden Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.11.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 45 µSv/h an Oberfläche) an Blechstreifen bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
27.11.06	Fehlfunktion eines Computertomographen beim morgendlichen Checkup in einem Klinikum	Unbekannt	Unverzügliches Verlassen des Kontrollbereichs nach Erkennen des fehlerhaften Betriebszustands, Expositionen unterhalb der Nachweisgrenze	Prüfung durch Gerätehersteller, Änderung der Bedienungsanweisung durch Strahlenschutzbeauftragten
01.12.06	Kontamination einer Verpackung von radioaktiver Lösung (C-14, 1308 MBq) bei einer firmeninternen Versendung	Beschädigung der Innenverpackung durch Verwendung eines falschen Verpackungstyps, mangelhafte Papiere, Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Information des Verursachers
01.12.06	Angebot von Thorium-IV-Nitrat bei einer Internet-Auktionsbörse durch eine Privatperson	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Unbekannt
12.12.06	Meldung einer Personendosis von 13,8 Sv bei einer MTRA-Auszubildenden durch die Messstelle	Fehlerhafte Konfektionierung des Filmdosimeters bei der Messstelle	Keine	Einleitung einer medizinischen Überwachung trotz des offensichtlichen Messfehlers, bisher keine Auffälligkeiten
13.12.06	Feststellung einer Asymmetrie bei der Qualitätskontrolle eines Elektronenbeschleuniger in einer Klinik, die seit ca. einem Monat bestand	Fehlerhafte Reaktion eines Technikers auf eine Interlock-Warnanzeige des Geräts	Auswirkungen für betroffene Patienten nach Aussage der Klinik gering	Überarbeitung der Vertragsbedingungen zur Gerätewartung durch die Herstellerfirma
19.12.06	Fund eines radioaktiven Stoffes (Ra-226, 4 µSv/h an Fundstück) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.12.06	Sicherstellung von kontaminierten (Po-210) Gegenständen in einem Privathaus	Kontaminierung durch eine Kontaktperson des durch absichtliche radioaktive Vergiftung verstorbenen A. Litvinenko	Keine	Sicherstellung der kontaminierten Gegenstände und ordnungsgemäße Entsorgung
21.12.06	Fund von radioaktiven Stoffen (Ra-226, 25 MBq) in Verkrustungen an Schrottteilen bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und Klärung des Verbleibs
22.12.06	Verlust eines Fasses mit schwach radioaktivem Abfall von einem Transportfahrzeug	Mangelnde Befestigung auf der Ladefläche	Keine	Absperrung des betroffenen Bereichs, ordnungsgemäße Entsorgung des verloren gegangenen Materials

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen (*Electric, magnetic and electromagnetic fields - research and current topics*)

1.1 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (*Low-frequency electric and magnetic fields*)

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien wird in der Fachwelt eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder z. B. für kindliche Leukämie bei zeitlich gemittelten magnetischen Flussdichten über etwa 0,4 μT diskutiert. Die SSK hat ein erhöhtes Risiko für Leukämieerkrankungen bei Kindern, die längere Zeit einer nächtlichen Exposition von 0,4 μT magnetischer Flussdichte und darüber ausgesetzt sind, als Verdacht für eine mögliche gesundheitliche Beeinträchtigung eingestuft. Von der IARC (International Agency for Research on Cancer) werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft, ebenso wie z. B. Koffein oder Autoabgase. Da für niedrige Intensitäten niederfrequenter Magnetfelder nach wie vor kein Wirkungsmechanismus bekannt ist, empfiehlt die SSK, die geltenden Grenzwerte beizubehalten.

In der wissenschaftlichen Literatur wird über einen Einfluss niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin und bestimmten Krebsmedikamenten auf Brustkrebszellen berichtet. Die wachstumshemmende Wirkung wurde dabei abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesumweltministeriums (UFOPLAN) von 1999 bis 2004 durchgeführt wurde, bestätigte diese Ergebnisse, die zunächst nur einen biologischen Effekt an einigen Brustkrebszelllinien beschreiben. Ein Wirkungsmechanismus hierzu ist unbekannt.

Um die gesundheitliche Relevanz für den Menschen beurteilen zu können, sind demnach weitere Untersuchungen vor allem zur Aufklärung des molekularen Mechanismus erforderlich. Daher wird seit 2004 im Rahmen des UFOPLANs ein Vorhaben mit dem Titel „Untersuchung des Wirkungsmechanismus für die Veränderung des Wachstums von Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Onkostatika und niederfrequenten Magnetfeldern“ durchgeführt. Es werden Veränderungen der Genexpression und der Signaltransduktion von Steroidhormonrezeptoren untersucht. Ferner soll geklärt werden, bei welchen Zelllinien die Effekte auftreten und ob die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente ebenfalls beeinträchtigt wird. Erste Zwischenergebnisse bei der Zelllinie MCF-7 zeigen, dass nach Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer magnetischen Flussdichte von 1,2 μT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe so genannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, wurden die interessantesten und für die Krebsentstehung (Kanzerogenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene mit weiteren Methoden näher untersucht. Es zeigen sich erneut einige signifikante Veränderungen. Auf Grund der Vielzahl von Daten erfordert die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich ihrer tatsächlichen biologischen Bedeutung aber eine Zusammenstellung und kritische Gesamtbeurteilung aller Ergebnisse. Der in einem früher durchgeführten Vorhaben beobachtete Effekt, dass eine Flussdichte von 1,2 μT eine stärkere Wirkung auf die wachstumshemmende Wirkung des Tamoxifen (Krebsmedikament) hat als eine Flussdichte von 100 μT konnte bei den Untersuchungen der Genexpression bestätigt werden.

Eine Studie mit dem Titel „Machbarkeitsstudie – Verifizierung der Beschwerden 'Elektrosensibler' vor und nach einer Sanierung“ beschäftigte sich mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. Sie ist abgeschlossen, der Abschlussbericht ist auf der Homepage des Bundesumweltministeriums (www.bmu.de/strahlenschutz/doc/5942.php) veröffentlicht. Es zeigte sich, dass die zahlreichen Beschwerden, die von den Betroffenen auf elektrische und magnetische Felder zurückgeführt werden, in der Bevölkerung weit verbreitet sind. Es ergaben sich aber keine Hinweise auf eine spezifische Häufung von Symptomen bei einer bestimmten Gruppe von Personen, womit möglicherweise die Existenz einer Gruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt gewesen wäre. Mit Hilfe der „transkraniellen Magnetstimulation“ wurden die objektive motorische Schwelle und die möglicherweise vorhandene Fähigkeit elektrosensibler Personen und Kontrollpersonen gemessen, subjektiv zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Dabei zeigte sich, dass sich die objektiven motorischen Schwellen der Elektrosensiblen von denen der Kontrollpersonen nicht unterscheiden. Andererseits konnte eine klar verminderte Fähigkeit der subjektiv elektrosensiblen Personen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem tatsächlichen Magnetimpuls zu unterscheiden.

Die Ergebnisse dieser Studie konnten bei einem Vorhaben zum Thema „Elektrosensibilität“, das im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms durchgeführt wurde, an einer größeren Gruppe von Personen im Wesentlichen bestätigt werden. Da die Altersverteilung der Probanden in dieser Studie gegenüber der Machbarkeitsstudie wesentlich breiter war, konnten auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen aufgezeigt werden. Die Ergebnisse dieses Vorhabens werden im Zusammenhang mit weiteren Studien im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms diskutiert und bewertet, wobei auch die Ergebnisse der internationalen Untersuchungen zum Thema „Elektrosensibilität“ berücksichtigt werden.

1.2 Hochfrequente elektromagnetische Felder (High-frequency electromagnetic fields)

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2006 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (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 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.

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm

Um die Risikobewertung bezüglich möglicher „Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurde das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) vom Bundesumweltministerium initiiert, das im Rahmen des UFOPLANS durch das BfS umgesetzt und fachlich betreut wird. Hierfür stehen für den Zeitraum von 2002 bis 2008 insgesamt 17 Mio. Euro zur Verfügung, die vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern anteilig übernommen werden.

Gestützt auf mehrere öffentliche Fachgespräche unter Beteiligung der deutschen Strahlenschutzkommission und Vertretern aus Wissenschaft, Politik, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie der Öffentlichkeit im Rahmen einer öffentlichen Konsultation über das Internet (www.emf-forschungsprogramm.de/oeffentlichkeit) wurde das Gesamtprogramm mit Priorisierung der Forschungsvorschläge festgelegt.

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm beinhaltet insgesamt 53 Forschungsprojekte, wovon 22 Projekte dem Bereich Biologie, 15 Projekte dem Bereich Dosimetrie, 9 Projekte dem Bereich Epidemiologie und 7 Projekte dem Bereich Risikokommunikation zugeordnet sind. In 2006 wurden die Finanzmittel vollständig festgelegt, somit ist sichergestellt, dass die im Rahmen des DMF die zugesagten Mittel von insgesamt 17 Mio. Euro vollständig ausgeschöpft werden. Eine Übersicht über die Vorhaben befindet sich in Tabelle 2.2-1

Tabelle 2.2-1 Forschungsvorhaben zum Mobilfunk

Biologische Wirkungen (Biologie)
• 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
• <i>In-vitro</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
• Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (<i>in vivo</i>)
• Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut
• 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
• 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 (Hauptstudie)

- Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
- 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 des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
- Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
- Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen
- Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)

Erfassung der Exposition (Dosimetrie)

- 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 Mobilfunkbasisstationen
- 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
- Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
- Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern
- Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
- Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen
- Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte
- Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien

Epidemiologie

- Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hoch-exponierter (Berufs)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisiko durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen
- Machbarkeit einer prospektiven Kohortenstudie unter Handynutzern
- Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
- 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)
- Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie

- Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
- 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

Repräsentative Umfrage zum Thema Mobilfunk

Die Befragung im Jahr 2006 war die letzte in einer jährlichen Befragungsreihe, die das Bundesamt für Strahlenschutz seit dem Jahr 2003 beim infas-Institut für angewandte Sozialwissenschaften in Auftrag gegeben hatte. Anhand der Befragungen werden die aktuelle Wahrnehmung der Bevölkerung in Bezug auf gesundheitliche Risiken von elektromagnetischen Feldern erfasst sowie mögliche Veränderungen über den Untersuchungszeitraum hinweg beleuchtet.

Als Sondermodul wurde im Jahr 2006 wieder ein vertiefender Fragenkomplex zur Kenntnis und Anwendung von Vorsorgemaßnahmen aufgegriffen, der bereits im Jahr 2004 Bestandteil der Befragung war. Ziel war es zu überprüfen, ob innerhalb der letzten beiden Jahre Veränderungen in diesem Bereich festzustellen sind. Zudem wurde ein im Jahr 2005 aufgenommenes Sondermodul zu Begleitumständen der Sorgen bzw. Beeinträchtigungen wegen elektromagnetischer Felder in verkürzter Form weitergeführt.

In Telefoninterviews wurden – wie auch jeweils in den Jahren 2003 bis 2005 – 2500 Zielpersonen einer bundesweit repräsentativen Stichprobe der in Privathaushalten lebenden Bevölkerung ab 14 Jahren zu der Thematik befragt.

Die hohe Konstanz der Ergebnisse, die sich in den vergangenen Untersuchungsjahren abgezeichnet hat, setzt sich auch in dieser abschließenden Befragung durch. Insgesamt zeigt sich allerdings in den diesjährigen Befragungsergebnissen eine im Vergleich mit den Vorjahren etwas sorgenfreiere Einschätzung der Bevölkerung hinsichtlich verschiedener Befragungsinhalte. Die Befragung fand auf Grund des Projekt-Zeitplans im Juni/Juli des Jahres 2006 statt. Dieser Befragungszeitraum fiel auf das sportliche und gesellschaftliche Ereignis des Jahres – die Fußballweltmeisterschaft – sowie einen langen Zeitraum überdurchschnittlich heißer Sommerwochen. Die Einflüsse, die diese Umstände auf Teilnahmebereitschaft und Zusammensetzung der realisierten Stichprobe sowie auf die Befragungsergebnisse möglicherweise haben, werden im Bericht detailliert beschrieben.

Die Anteile der Personen, die sich im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks besorgt (27%) oder gesundheitlich beeinträchtigt (9%) beschreiben (30% bzw. 10% im Jahr 2005) sind etwas geringer (nicht statistisch signifikant). Nach wie vor trägt die Mobilfunksendeanlage stärker als das Handy zu Besorgnis und Beeinträchtigung wegen elektromagnetischer Felder bei. Dieser Unterschied wird mit zunehmender Stärke der Besorgnis bzw. Beeinträchtigung deutlicher.

Auch der Vergleich der Wahrnehmung gesundheitlicher Risiken durch mobilfunkrelevante Strahlungsquellen mit anderen möglichen gesundheitlichen Risikofaktoren zeigt gegenüber den Vorjahren eine deutliche Konstanz (sowohl im Grad der Besorgtheit als auch in der Reihenfolge): um die verschiedenen, mit dem Mobilfunk bzw. elektromagnetischen Feldern verbundenen Aspekte macht sich die Bevölkerung deutlich weniger Sorgen als z. B. um Luftverschmutzung, den Verzehr von Fleisch unbekannter Herkunft, gentechnisch veränderte Lebensmittel, oder die UV-Strahlung.

Die Bekanntheit des SAR-Wertes hat gegenüber dem Jahr 2005 um vier Prozentpunkte auf 27% abgenommen, allerdings ist ein weiterer (wenn auch gegenüber 2005 geringer) Zuwachs der Bedeutung des SAR-Wertes bei getätigten Entscheidungen zur Wahl eines bestimmten Handys zu verzeichnen.

Die Ergebnisse des Fragenkomplexes zu Kenntnis und Anwendung von Vorsorgemaßnahmen zeigte nur geringfügige Veränderungen im Vergleich zu den beiden Vorjahren 2004 und 2005.

Die detaillierten Ergebnisse zu diesem Fragenkomplex und zu den zahlreichen anderen Themenkomplexen sind in dem Abschlussbericht auf der Internetseite des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms einzusehen.

Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ (Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK), Heft 29, 2001; www.ssk.de/werke/volltext/2001/ssk0103.pdf) darauf hingewiesen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen.“ Sie weist darauf hin, dass „– entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft – die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder aus Geräten, z. B. bei Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne.“ Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys, 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“ in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 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. Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/elektro/oekolabel.html.

Ende 2006 umfasste diese Erhebung insgesamt 814 Geräte von 26 verschiedenen Herstellern, wovon 56 Handys UMTS-Geräte waren. Ein standardisiert ermittelter SAR-Wert konnte für 742 Handys gefunden werden. Es lässt sich erkennen, dass aus Sicht des Strahlenschutzes mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 30% der in 2006 auf dem deutschen Markt befindlichen Handys mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ hätten ausgezeichnet werden können, wobei der Aspekt der umwelt- und recyclingfreundlichen Produktion allerdings nicht berücksichtigt ist. Informationen zu den Vergabegrundlagen für den „Blauen Engel“ für Handys sind auf der Internetseite des RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. zu finden. .

Die Handyhersteller lehnen das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte nach wie vor geschlossen ab. Ihre ablehnende Haltung begründen sie damit, dass es sich um einen globalisierten Markt handelt und dass die Geräte europäischen Vorgaben entsprechen. Außerdem suggeriere der „Blaue Engel“, dass entsprechend gekennzeichnete Handys gesundheitlich unbedenklicher seien als solche ohne den „Blauen Engel“. Das Prinzip, die SAR-Werte aus Vorsorgegründen abzusenken, wird von den Herstellern nicht anerkannt. Es fehlt an der Bereitschaft, mit dem „Blauen Engel“ einen zusätzlichen aktiven Beitrag zum vorsorgenden Gesundheits- und Verbraucherschutz zu leisten. Dabei würden nahezu ein Drittel der auf dem Markt befindlichen Mobiltelefone das Kriterium „strahlungsarm“ des „Blauen Engels“ bereits erfüllen. Die Hersteller sind aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich einer verstärkten Verbraucherinformation nicht zu verschließen.

Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone

DECT-Telefone halten auf Grund ihrer niedrigen mittleren Sendeleistung von weniger als 20 mW den geltenden SAR-Basisgrenzwert von 2 W/kg ein. Es muss daher nicht, wie bei Mobiltelefonen üblich, der SAR-Wert nach DIN EN 50360 zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Grenzwerten ermittelt und von Herstellerseite angegeben werden.

Die Basisstationen der nach dem DECT-Standard arbeitenden Schnurlos-Telefone senden allerdings im Stand-by-Betrieb (kontinuierliches Kontrollsignal zwischen Basisstation und Mobilteil), also auch dann wenn nicht telefoniert wird. Darüber hinaus wird beim Telefonieren unabhängig vom Abstand zwischen dem Telefon und der Basisstation permanent mit der maximalen Leistung gesendet.

Unter dem Aspekt einer vorsorglichen Reduzierung der Exposition ist zu fordern, dass die Basisstationen im Stand-by-Betrieb automatisch abgeschaltet und die Telefone mit einer bedarfsgerechten Regelung der Sendeleistung ausgestattet werden.

Strahlungsarme DECT-Telefongeräte sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Abschaltung oder mindestens 100.000-fache Absenkung des Kontrollsignals im Standby-Betrieb unabhängig von der Anzahl der angemeldeten Mobilteile, wobei sich das Mobilteil nicht notwendigerweise in der Basis befinden muss
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung des Mobilteils beim Telefonieren in mehr als 2 Stufen ähnlich der beim Handy
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung der Basisstation während des Telefonierens
- Möglichkeit des Anschlusses eines Headsets an das Mobilteil
- Möglichkeit der Einstellung / Begrenzung der Reichweite

Diesen Forderungen kommen die Hersteller nur zögerlich nach: Zu Beginn des Jahres 2006 erschienen erstmals zwei Geräte auf dem deutschen Markt, die eine Absenkung des Kontrollsignals zwischen Basisstation und Mobilteil ermöglichen. Hierzu muss sich das Mobilteil in der Basisstation befinden und es darf nur ein Mobilteil an der Basis angemeldet sein. Diese Geräte können als „bedingt strahlungsarm“ bezeichnet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine Liste der in 2006 auf dem deutschen Markt erhältlichen bzw. annoncierten „bedingt strahlungsarmen“ DECT-Schnurlostelefone sowie Art und Ausmaß ihrer Strahlungsreduzierung zusammengestellt. Diese Liste ist im Internet unter: www.bfs.de/elektro/Strahlungsarme_Dect_Schnurlostelefone.html veröffentlicht.

2. **Optische Strahlung - Forschung und aktuelle Themen**
(Optical radiation - research and current topics)

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

An den Messstationen des deutschen UV-Messnetzes (ausführliche Informationen in Teil A - VI - 1.4) wird täglich die UV-Strahlung gemessen.

Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden vom BfS (<http://www.bfs.de/uv/uv2/uvi>) als UVI-Werte veröffentlicht. In Abbildung 1.1-1 wurden für das Jahr 2006 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen Dortmund, Lindenberg und Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

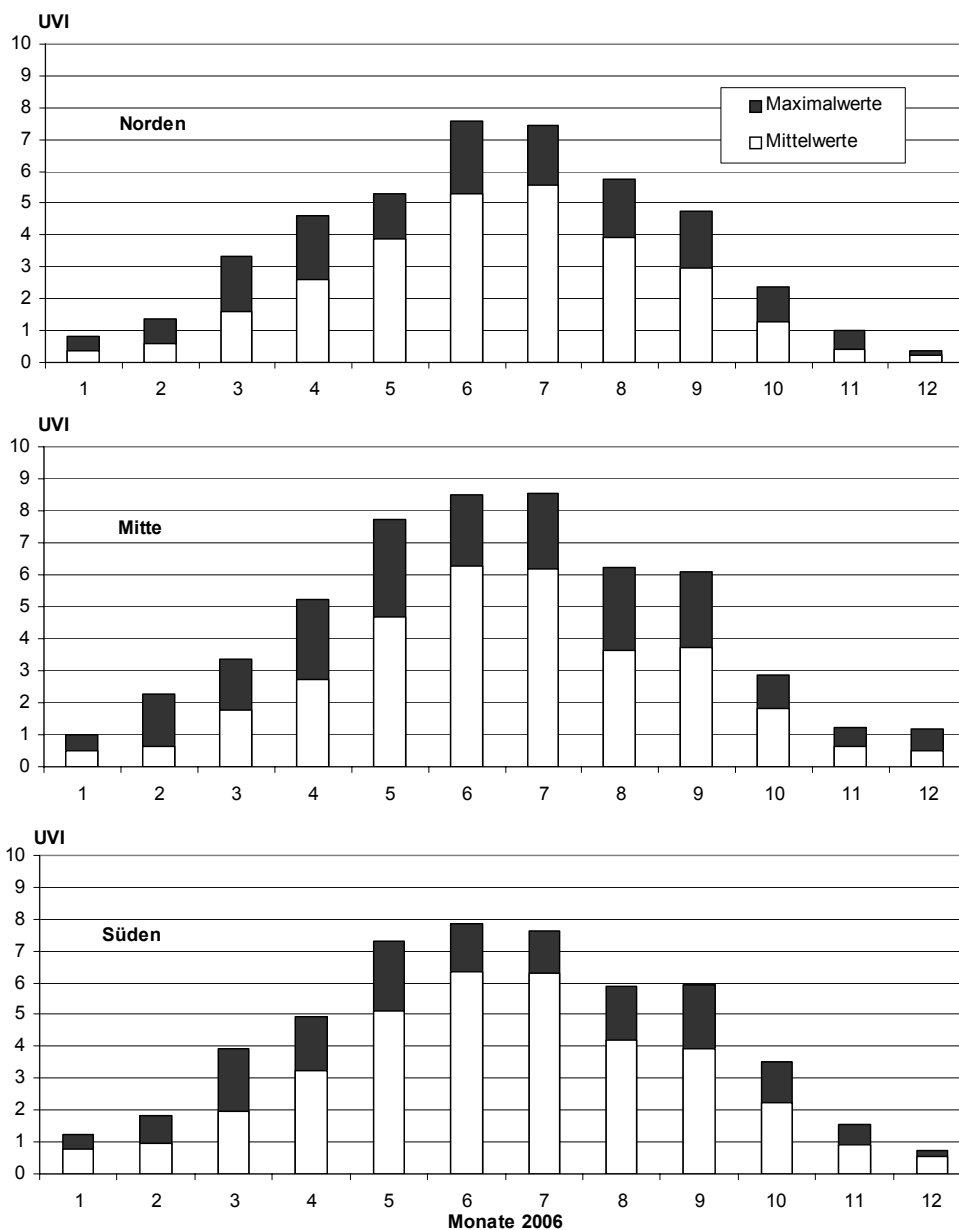


Abbildung 1.1-1 **Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2006**
(Maximum and mean UVI values per month in the year 2006)

2.2 Forschung bei optischer Strahlung (Research on optical radiation)

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung auf die Haut führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen. Mittels epidemiologischer Studien und durch Untersuchungen an Tiermodellen und Zellen konnte weiterhin gezeigt werden, dass auch chronische Bestrahlung mit Infrarot (IR; Wärmestrahlung) sowohl allein als auch in Kombination mit UV-Strahlung Hautschäden hervorrufen kann. Deswegen wurden im Jahr 2006 Forschungsvorhaben im Bereich UV und auch in Bezug auf das mögliche Zusammenwirken von UV und IR durch das BfS betreut.

Forschungsvorhaben zum Thema UV

- Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs Teilprojekt 2: „Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen“
- 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

Im Rahmen des Projektes „Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs; Teilprojekt 2 'Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen' (2002 – 2004) 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. Die Reparatur UV-bedingter DNA-Schäden unterliegt offensichtlich einer Regulation. Es konnte gezeigt werden, dass die Reparatur durch das Zytokin Interleukin 12, aber auch durch andere Mediatoren und durch die Phenole des Grünen Tees beeinflusst werden kann. Diese Ergebnisse könnten für eine Verbesserung des UV-Schutzes genützt werden. Außerdem wurden wertvolle Erkenntnisse für eine bessere Aufklärung der Bevölkerung gewonnen. Nach neueren Erkenntnissen bietet die Anwendung von Sonnenschutzmitteln allein keinen ausreichenden Schutz gegen Hautkrebs, so dass zusätzliche Vorsorgemaßnahmen dringend erforderlich sind. Im Vorhaben wurden Vorarbeiten geleistet für die Entwicklung eines Screening-Tests für das individuelle Risiko, an Hautkrebs zu erkranken. Dieser könnte einen wesentlichen Beitrag für verbesserte Vorsorgemaßnahmen liefern.

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“ (2002 – 2005) hatte zum Ziel, weitere Einsichten in die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses zu erlangen. Es konnte gezeigt werden, dass in der Basalzellschicht der Epidermis menschlicher Haut nach UV-Exposition *in-vivo* Zellen auftreten, die einen der wichtigsten UV-induzierten DNA-Schäden, das Cyclobutan-Pyrimidindimer (CPD), im Kern akkumulieren. Die Zellen („CPD-retaining basal cells“ CRBCs) verbleiben mindestens 6 Wochen, d. h. über einen Regenerationszyklus der Haut hinweg, in der Epidermis und es haben sich Hinweise darauf ergeben, dass es sich bei einem Teil der CRBCs um epidermale Stammzellen handelt. Die Induktion der CRBCs scheint in erster Linie von der UV-Exposition abzuhängen und erfolgt in gleicher Weise in gesunden Personen wie in Personen mit Hautkrebs. Wichtig für die Entstehung von Hautkrebs ist deshalb offensichtlich das weitere „Schicksal“ der CRBCs, d. h. Prozesse, die nach der Induktion von CRBCs in der Epidermis ablaufen. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die bisherige Empfehlung, Sonnenbrände zu vermeiden, offensichtlich nicht ausreicht, um das Hautkrebsrisiko zu senken. Nach den Ergebnissen des Vorhabens führen bereits tägliche UV-Expositionen, die noch nicht zu einem Sonnenbrand führen, über einen längeren Zeitraum zu einer dauerhaften Schädigung der Epidermis. Chronischen UV-Expositionen mit niedrigen Dosen ist ein Großteil der Bevölkerung zumindest während der Sommermonate ausgesetzt. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse müssen bei der Aufklärung der Bevölkerung über die schädigende Wirkung von UV-Strahlung und bei den entsprechenden Empfehlungen berücksichtigt werden. Dies gilt auch für die Untersuchungen, die gezeigt haben, dass eine UVA-Bestrahlung (wie sie z. B. in Solarien angeboten wird) die Kapazität der Zellen, durch solares UV induzierte Schäden zu reparieren, möglicherweise herabsetzt. Die oft empfohlene Vorbräunung im Solarium hätte demnach keine Schutzwirkung, sondern im Gegenteil eher eine propagierende Wirkung auf die Hautkrebsentstehung.

Forschungsvorhaben zum Thema IR

- Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung

Ziel des Vorhabens „Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung“ (2006 - 2008) ist es zu beschreiben, auf welchem Weg IR-Strahlung allein und in Kombination mit UV-A- und UV-B-Strahlung zur beschleunigten Hautalterung und Krebsentstehung beiträgt und soweit möglich den Wirkungsmechanismus aufzuklären. Es soll beruhend auf diesen Erkenntnissen aufgezeigt werden, wie ein optimaler Schutz vor den schädlichen Wirkungen sowohl von UV- als auch von IR-Strahlung im Alltag aussehen könnte.

2.3 Zertifizierung von Solarienbetrieben (*Certification of solaria*)

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens (u.a. Fernreisen in äquatoriale Regionen, Aufenthalte in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien) kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Beobachtung einer Zunahme von Hautkrebs ist mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Deswegen hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz auch 2006 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren.

Grundlage ist das im Mai 2003 etablierte Verfahren für die Zertifizierung der Solarien. Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

Bis Ende 2006 wurden insgesamt 86 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Solarienbetriebe, die nach Angaben von Vertretern der Solarienbranche bei ca. 5500 Solarien deutschlandweit liegt, ist diese Anzahl unbefriedigend und zwingt zu einer Überprüfung des Instruments der Freiwilligkeit.

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

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

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

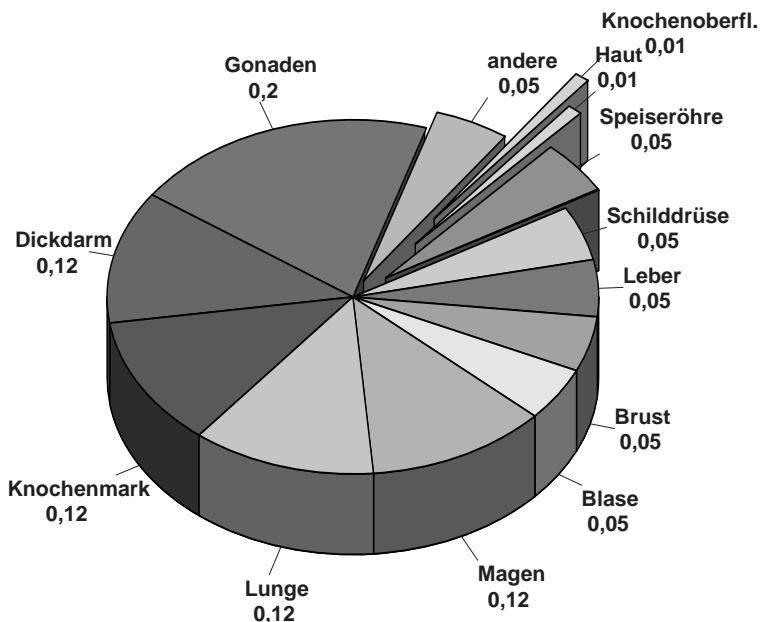


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

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

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

1.2 Die Messung der Strahlendosen (Measurement of radiation dose)

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

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm³, Massenzusammensetzung 76,2% Sauerstoff, 11,1% Kohlenstoff, 10,1% Wasserstoff und 2,6% Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International 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 Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphastrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

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

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

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimm-

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

ten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). 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 vereinzelt Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

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

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb 1.4-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

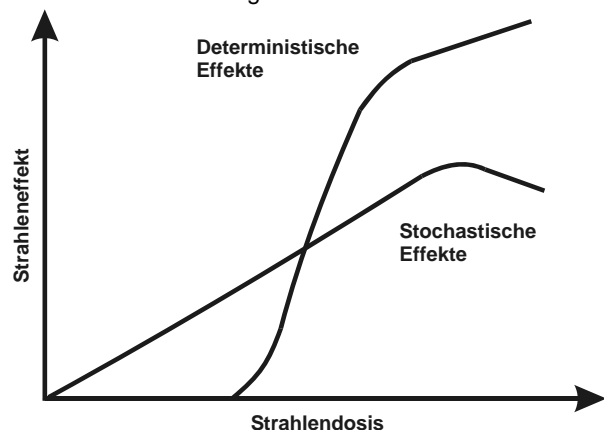


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte
(*Chart of the dose-response-relationships in stochastic and deterministic effects*)

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 Strahlenwir-

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

kung 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 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 Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko 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 japa-

1. United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

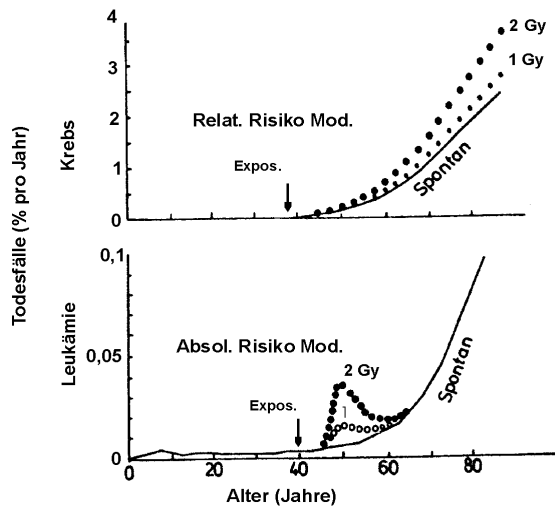


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs
und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

nischen 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.
- 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	Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}	Dezi	d	10^{-1}
Peta	P	10^{15}	Zenti	c	10^{-2}
Tera	T	10^{12}	Milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^9	Mikro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^6	Nano	n	10^{-9}
Kilo	k	10^3	Piko	p	10^{-12}
Hekto	h	10^2	Femto	f	10^{-15}
Deka	da	10^1	Atto	a	10^{-18}

Tabelle 2-4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μ T Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ ¹⁾ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ 1 G = 10^{-4} T = 100 μ T
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 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
Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS)	Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten
Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
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)
Diagnostischer Referenzwert (DRW)	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den Ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht

Dosimetrie	Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosimeter	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für 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)
Elektrostatisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden
Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten
Fall-Kontroll-Studie	In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist

Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Hall-Sonde	Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder
Hochfrequenz	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
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

LNT-Hypothese	Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar
Machbarkeitsstudie	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
Magnetische Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist Tesla (T)
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
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
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm.
Perzentil	Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95% Perzentil ist der Wert, der von nur 5% der Stichprobe überschritten wird)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
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, aufgenommenen Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (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 Strahlung 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 (<i>Ampere</i>)
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen (<i>positions prescribed for doctors and dentists</i>)
AMG	Arzneimittelgesetz (<i>Medical Preparations Act</i>)
AtG	Atomgesetz (<i>Atomic Energy Act</i>)
AVR	Atomversuchsreaktor (<i>Nuclear test reactor</i>)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (<i>General Administrative Provisions</i>)
B	Magnetische Flussdichte (<i>Magnetic flux density</i>)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (<i>Federal Institute for Drugs and Medical Devices</i>)
BFEL	Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (<i>Federal Research Centre for Nutrition and Food</i>)

BFAFi	Bundesforschungsanstalt für Fischerei (<i>Federal Research Centre for Fisheries</i>)
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (<i>Federal Institute of Hydrology</i>)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (<i>Federal Office for Radiation Protection</i>)
BGBl	Bundesgesetzblatt (<i>Federal Law Gazette</i>)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (<i>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources</i>)
BNetzA	Bundesnetzagentur (<i>Federal Network Agency</i>)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (<i>Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography</i>)
/dpx	Pro Tag und Person (<i>Per day and person</i>)
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (<i>German Mobile Telecommunication Research Programme</i>)
DNS	Desoxiribonukleinäure (<i>Deoxyribonucleic acid</i>)
DRW	Diagnostische Referenzwerte (<i>Diagnostic reference levels</i>)
DWD	Deutscher Wetterdienst (<i>German Meteorological Service</i>)
DWR	Druckwasserreaktor (<i>Pressurized Water Reactor</i>)
E	Elektrische Feldstärke (<i>Electric field strength</i>)
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft (<i>European Atomic Energy Community</i>)
FFS	Fischereiforschungsschiff (<i>Fisheries Research Vessel</i>)
FM	Feuchtmasse (<i>Wet weight</i>)
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>)
IARC	International Agency for Research on Cancer (<i>Internationale Agentur für Krebsforschung</i>)
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (<i>International Commission on Non-Ionising Radiation Protection</i>)

ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission (<i>International Commission on Radiological Protection</i>)
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem (<i>Integrated Measuring and Information System</i>)
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr (<i>Annual Intake of Activity</i>)
FZ	Kernforschungsanlage (<i>Nuclear Research Facility</i>)
KFZ	Kernforschungszentrum (<i>Nuclear Research Centre</i>)
KKW	Atomkraftwerk (<i>Nuclear Power Plant</i>)
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage (<i>Compact Sodium cooled nuclear plant</i>)
KTA	Kerntechnischer Ausschuss (<i>Nuclear Safety Standards Commission</i>)
LET	Linearer Energietransfer (<i>Linear energy transfer</i>)
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 (<i>Ambient Dose Rate</i>)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie (<i>Positron Emission Tomography</i>)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (<i>National Metrology Institute</i>)
R β	Rest-Beta-Aktivität (<i>Residual beta activity</i>)
Reg TP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, seit dem 13. Juli 2005 umbenannt in „Bundesnetzagentur“ (<i>Regulatory Authority for Telecommunications and Posts</i>)
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (<i>Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities</i>)
RMP	Routinemessprogramm (<i>Routine Measuring Program</i>)
RöV	Röntgenverordnung (<i>X-ray Ordinance</i>)
S	Leistungsflussdichte (<i>Power flux density</i>)
SAR	Spezifische Absorptionsrate (<i>Specific absorption rate</i>)
SNR	Schneller natriumgekühlter Reaktor (<i>Sodium-cooled reactor</i>)
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie (<i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>)
SSK	Strahlenschutzkommission (<i>German Commission on Radiological Protection</i>)
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung (<i>Radiation Protection Ordinance</i>)
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz (<i>Precautionary Radiation Protection Act</i>)

SWR	Siedewasserreaktor (<i>Boiling Water Reactor</i>)
Sv	Sievert (<i>Sievert</i>)
T	Tesla (<i>Tesla</i>)
TM	Trockenmasse (<i>Dry weight</i>)
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (<i>United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>)
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100 - 400 nm) (<i>Ultraviolet Radiation (wavelength 100 - 400 nm)</i>)
V	Volt (<i>Volt</i>)
VO	Verordnung (<i>Ordinance</i>)
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (<i>Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection</i>)
W	Watt (<i>Watt</i>)
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage (<i>Reprocessing Plant</i>)
WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organization</i>)
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart (<i>Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor</i>)
Z ₀	Feldwellenwiderstand des leeren Raums (<i>Field characteristic impedance</i>)
ZdB	Zentralstelle des Bundes (<i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>)

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*)

Gesetze

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 12.08.2005 (BGBl. I S. 2365)
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. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 43 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2304)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (BAusfAmtG) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Art. 93 der Verordnung vom 25.11.2003 (BGBl. I, S. 2304)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378), Zuletzt geändert durch Artikel 4 Nr. 8 des Gesetzes vom 23. 3.2005 (BGBl. I, S. 931)
7. Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 12. August 2005 (BGBl. I 2005, S. 2365)
8. Gesetz über Krebsregister (**KRG**) vom 4. November 1994 (BGBl. I, S. 3351)
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73, S. 3704)
10. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl. II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI DDR I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBI DDR 1980 Nr. 34, S. 347)

Verordnungen

11. 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)
12. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Art. 2, § 3 Abs. 31 des Gesetzes vom 01.09.2005 (BGBl. I S. 2618)
13. Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (**GGVSE**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2003 (BGBl. I S. 1913, 2139), zuletzt geändert durch Bekanntmachung vom 03.01.2005 (BGBl. I, S. 36)
14. 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), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 3 des Gesetzes vom 25.3.2002 (BGBl. I, S. 1193)
15. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - **AtDeckV**) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 12.8.2005 (BGBl. I, S. 2365; 2976)
16. Kostenverordnung zum Atomgesetz (**AtKostV**) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Verordnung vom 15.12.2004 (BGBl. I S. 3463), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 6.07.2004 (BGBl. I, S. 1476)
17. 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. S. 2106)
18. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung - **LMBestrV**) vom 14. Dezember 2000, (BGBl. I S. 1730), geändert durch Artikel 312 der Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. I S. 2785)
19. 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), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 10. 2.2005 (BGBl. I, S. 234)
20. 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), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 18.6.2002 (BGBl. I, S. 1869)
21. **StrVG§11Abs7V** 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)
22. **StrVG§11Abs7V2** Zweite Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 31. Juli 1991 (BGBl. I S. 1768)
23. **StrVG§11Abs7V3** Dritte Verordnung zur Übertragung von Meß- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 16.10.1997 (BGBl. I S. 2474)
24. **StrVG§11Abs7V4** Vierte Verordnung zur Übertragung von Meß- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 30.07.1998 (BGBl. I S. 2009)
25. **StrVG§11Abs7V5** Fünfte Verordnung zur Übertragung von Meß- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 12.08.2002 (BGBl. I S. 3184)
26. Verordnung zur Errichtung eines Strahlenschutzregisters vom 3. April 1990 (BGBl. I, S. 607)

27. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - **BImSchV** vom 16. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
28. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (**AtAV**) vom 27. Juli 1998 (BGBl. I S. 1918), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes v. 12.08.2005 (BGBl. I, S. 2365)

Allgemeine Verwaltungsvorschriften

29. 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)
30. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BAnz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
31. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - **AVV-StrahLe**) vom 28. Juni 2000 (GMBI. 2000, Nr. 25, S. 490)

Richtlinien

32. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBI. 1994, S. 286)
33. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor. Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
34. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung und des Betriebs der Anlage vom 4. August 1981 (GMBI. 1981, S. 363)
35. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom 15. Februar 1992 (GMBI. 1992, S. 150)
36. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBI. 1996, S. 698)
37. Richtlinie nach StrlSchV: „Strahlenschutz in der Medizin“ vom 24. Juni 2002 (GMBI. 2003, S. 227)
38. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) vom 07. Dezember 2005 (GMBI. 2006, S. 254)
39. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil I: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) vom 28. Juli 1994 (GMBI. 1994, S. 930)
40. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBI. 1995, S. 262)
41. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBI. 1982, S. 592)
42. Richtlinie zur Durchführung der Qualitätssicherung bei Röntgeneinrichtungen zur Untersuchung oder Behandlung von Menschen nach den §§ 16 und 17 der Röntgenverordnung - Qualitätssicherungs-Richtlinie (**QS-RL**) - vom 28. April 2004 (GMBI. 2004, S. 731), zuletzt geändert am 14.11.2005 (GMBI. 2006, S. 3)
43. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 2. Februar 2005 (GMBI. 2005, S. 666)
44. Richtlinie zur Durchführung der RöV für die technische Prüfung von Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftigen Störstrahlern (**SV-RL**) vom 27. August 2003 (GMBI. S. 783), zuletzt geändert am 14.11.2005 (GMBI. 2006, S. 3)
45. 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 1. Juli 1991 (NW-Verlag ISBN 3-89429-116-8)
46. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBI. 1981, S. 26)
47. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (**BAnz.** Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
48. Richtlinie nach StrlSchV und RöV: „Arbeitsmedizinische Vorsorge beruflich strahlenexponierter Personen durch ermächtigte Ärzte“ vom 18. Dezember 2003 (GMBI. 2004, S. 350)
49. Richtlinie zur Durchführung der StrlSchV und der RöV über „Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung“ vom 10. Dezember 2001; (GMBI. 2002, S. 136)

Empfehlungen, Erläuterungen

50. Durchführung der StrlSchV: Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 Abs. 1 und 2 StrlSchV (GMBI. 2004 S. 9)
51. 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)
52. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBI. 1978, S. 313) und vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1996, S. 247)
53. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)

54. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 163)
55. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition vom 10. August 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
56. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
57. Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung: Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (GMBI. 1982, S. 61)
58. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 21. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
59. Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes vom 21. März 1983 (GMBI. 1983, S. 176)
60. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 71)
61. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 13. Januar 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
62. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (**BARbBI** 2/90, S. 137)

Sicherheitsregeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA-Regeln)

63. KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/02): Überwachung der Ableitung gasförmiger und a Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb (BAnz Nr. 55 v. 20. März 2003)
64. KTA-Regel 1504 (Fassung 6/1994): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (BAnz Nr. 238a v. 20. Dezember 1994, berichtigt im BAnz 216a v. 19. November 1996)
65. KTA-Regel 1507 (Fassung 6/98): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren (BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998)
66. KTA Regel 1508 (Fassung 9/88): Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre (BAnz Nr. 37 a vom 22. Februar 1989)

EU-Verordnungen, Richtlinien

67. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. 1993, L 148 S. 1)
68. Verordnung (EWG) Nr. 737/90 des Rates vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (ABl. 1990, L 82 S 1)
69. Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (ABl. 1989, L 040 S. 12)
70. Richtlinie 2003/4/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates . (ABl. 2003 L 41 S. 26)
71. Richtlinie 2003/122/EURATOM zur Kontrolle hoch radioaktiver umschlossener Strahlenquellen und herrenloser Strahlenquellen vom 22. Dezember 2003 (ABl.2003, L 346 S 57)
72. Richtlinie 96/29/EURATOM (Strahlenschutzgrundnormen) des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (ABl. 1996, L 159 S. 1)
73. Richtlinie 97/43/EURATOM (Patientenschutzrichtlinie) des Rates vom 30. Juni 1997 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM (ABl. L 180, S. 22)

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
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	R
		Xe-133	5,25 d	β^- , R
		Xe-133m	2,19 d	R
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^- , γ
		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
61	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
83	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
86	Radon	Rn-219	3,96 sec	α , γ
		Rn-220	55,6 sec	α
		Rn-222	3,8 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium	Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	$7,5 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^- , R
91	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
93	Neptunium	Np-239	2,35 d	β^- , γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α , R
		Pu-239	$2,4 \times 10^4$ 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

* Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-239/240) der beiden Radionuklide Pu -239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphaspektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann.

h = Stunden, d: Tage, a: Jahre

α = Helium-Kerne

β^- = Elektronen

ε = Elektroneneinfang

γ = Gammastrahlung

R = Röntgenstrahlung

β^+ = Positronen