

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2005

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
Irene Bergler
Angela Trugenberger-Schnabel
Dr. Josef Peter

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

Stand: Dezember 2006

Vorwort

Der vorliegende Jahresbericht enthält neben den Ergebnissen der Überwachung der Umweltradioaktivität die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2005 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.

Neu am diesjährigen Bericht ist die Aufteilung in Teil A und Teil B. Teil A enthält allgemeine Angaben und eine Einführung in die jeweilige Thematik. In Teil B (graues Register) sind die jährlich erhobenen Daten im Vergleich mit dem Vorjahreswert wiedergegeben und bewertet.

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 2005 ca. 311.000, davon 83% ohne messbare Dosis. Die mittlere Jahresdosis mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten beläuft sich mit 0,81 mSv fast unverändert auf dem Niveau des Vorjahres. Seit der Absenkung des Jahreshöchstwertes von 50 mSv auf 20 mSv durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 ging die Anzahl der Personen mit mehr als 20 mSv im Kalenderjahr kontinuierlich zurück.

Die Expositionsdaten für das Flugpersonal wurden 2004 erstmals erfasst. Wie im Vorjahr wurde auch 2005 keine Überschreitung des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr festgestellt. Die ermittelte Jahresdosis für diesen Personenkreis betrug im Jahr 2005 1,96 mSv (2004 1,95 mSv).

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 0,013 mSv im Jahr 2005 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 2005 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 2005 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-Immissionsschutzgesetzes (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 2007 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>(Tschernobyl - 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>	
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe	69
	<i>(Users of radioactive sources)</i>	
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle	69
	<i>(Stock of radioactive waste)</i>	
3.3	Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen	69
	<i>(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)</i>	
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse	70
	<i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG (NON-IONISING RADIATION)

1.	Physikalische Eigenschaften und Wirkungen nichtionisierender Strahlung	72
	<i>(Physical characteristics and effects of non-ionising radiation)</i>	
1.1	Statische Felder	72
	<i>(Static fields)</i>	
1.2	Niederfrequente Felder	73
	<i>(Low frequency fields)</i>	
1.3	Hochfrequente Felder	74
	<i>(High frequency fields)</i>	
1.4	Optische Strahlung	76
	<i>(Optical radiation)</i>	
1.5	Grenzwerte	78
	<i>(Limit values)</i>	

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>	
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	80
	<i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i>	
2.1	Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie	80
	<i>(Residues of mining and industry)</i>	
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>	
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>	
2.2	Radon in Gebäuden	85
	<i>(Radon in buildings)</i>	
2.3	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	87
	<i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i>	

II	KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)	
1.	Quellen künstlicher Radioaktivität <i>(Sources of artificial radioactivity)</i>	90
1.1	Kernwaffenversuche <i>(Nuclear weapons tests)</i>	90
1.2	Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall <i>(Tschernobyl - radiation exposure from the accident)</i>	91
1.3	Kerntechnische Anlagen <i>(Nuclear facilities)</i>	92
1.3.1	Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen <i>(Radiation exposure from nuclear facilities)</i>	95
2.	Aktivitätsmessungen und Messnetze <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i>	100
2.1	Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis)</i>	100
2.1.1	Radionuklide in der bodennahen Luft <i>(Radionuclides in ground-level air)</i>	100
2.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) <i>(Total deposition of radionuclides)</i>	107
2.1.3	Gamma-Ortsdosisleistung <i>(Ambient gamma dose rate)</i>	112
2.1.4	Luft und Niederschlag in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Air and precipitation from the surroundings of nuclear facilities)</i>	114
2.1.5	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen <i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)</i>	117
2.2	Meerwasser und Binnengewässer <i>(Seawater and inland water)</i>	126
2.2.1	Meerwasser, Schwebstoff, Sediment <i>(Seawater, suspended matter, and sediment)</i>	126
2.2.2	Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer <i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland water)</i>	136
2.2.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Surface water and sediment from inland water in the surroundings of nuclear facilities)</i>	149
2.2.4	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)</i>	156
2.3	Böden <i>(Soil)</i>	158
2.3.1	Boden, Pflanzen und Futtermittel <i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	158
2.3.2	Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities)</i>	164
2.4	Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser <i>(Foodstuffs, groundwater, and drinking water)</i>	173
2.4.1	Grundwasser und Trinkwasser <i>(Groundwater and drinking water)</i>	173
2.4.2	Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Groundwater and drinking water from the surroundings of nuclear facilities)</i>	174
2.4.3	Milch und Milchprodukte <i>(Milk and milk products)</i>	175
2.4.4	Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Milk from the surroundings of nuclear facilities)</i>	178
2.4.5	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer <i>(Fish and seafood and fish from inland water)</i>	180

2.4.6	Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities)</i>	186
2.4.7	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung <i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i>	188
2.4.8	Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)</i>	202
2.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and the constituent materials)</i>	211
2.6	Abwasser und Klärschlamm <i>(Waste water and sludge)</i>	211
2.7	Reststoffe und Abfälle <i>(Residues and waste)</i>	219
2.8	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	221
III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN <i>(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)</i>	
1.	Überwachung der beruflichen Strahlenexposition <i>(Monitoring of occupational radiation exposure)</i>	228
1.1	Personendosismessungen <i>(Personal dose measurements)</i>	228
1.1.1	Dosimeterüberwachte Personen <i>(Monitoring with personal dosimeters)</i>	228
1.1.2	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	232
1.2	Berufliche Strahlenexposition durch natürlich erhöhte Radonkonzentrationen <i>(Occupational radiation exposures from natural enhanced concentrations of radon)</i>	233
1.3	Überwachung von Flugpersonal <i>(Air crew monitoring)</i>	234
1.4	Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen <i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i>	234
IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen <i>(Diagnostic applications of radiation)</i>	236
1.1	Röntgendiagnostik <i>(X-ray diagnostics)</i>	236
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	238
1.3	Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen <i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i>	239
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren <i>(Alternative examination procedures)</i>	241
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	243
3.	Herzschrittmacher <i>(Pacemakers)</i>	243
4.	Medizinische Forschung <i>(Medical research)</i>	244

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>	246
1.1	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive material)</i>	246
1.2	Einfuhrstatistik <i>(Import statistics)</i>	247
1.3	Ausfuhrstatistik <i>(Export statistics)</i>	249
1.4	Genehmigungen und Anzeigen <i>(Licenses and reports)</i>	252
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transportation of radioactive material)</i>	253
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe <i>(Overview of transport licenses and the transportation of radioactive material)</i>	253
2.2	Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen <i>(Transport of radioactive material in the rail- and shipping traffic)</i>	254
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>	256
3.1	Anwender radioaktiver Stoffe <i>(Users of radioactive sources)</i>	256
3.2	Bestand radioaktiver Abfälle <i>(Stock of radioactive waste)</i>	261
4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse <i>(Exceptional events subject to reporting)</i>	263
VI	NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG (NON-IONISING RADIATION)	
1.	Optische Strahlung - Forschung und aktuelle Themen <i>(Optical radiation - research and current topics)</i>	270
1.1	Solares UV-Monitoring <i>(Terrestrial UV-Monitoring)</i>	270
1.2	Forschung bei optischer Strahlung <i>(Research on optical radiation)</i>	271
1.3	Internationaler Workshop „UV und Vitamin D“ <i>(International workshop on UV Exposure guidance)</i>	272
1.4	Zertifizierung von Solarienbetrieben <i>(Certification of solaria)</i>	272
2.	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen <i>(Electric, magnetic and electromagnetic fields - research and current topics)</i>	273
2.1	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder <i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i>	273
2.2	Hochfrequente elektromagnetische Felder <i>(High-frequency electromagnetic fields)</i>	274

ANHANG
(ANNEX)

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms)</i>	280
----	---	-----

1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i>	280
1.2	Die Messung der Strahlendosen <i>(Measurement of radiation dose)</i>	281
1.3	Äußere und innere Bestrahlung <i>(External and internal radiation exposure)</i>	282
1.4	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	283
1.5	Induktion bösartiger Neubildungen <i>(Induction of malignant neoplasms)</i>	284
1.6	Risikoabschätzung <i>(Risk assessment)</i>	285
1.7	Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i>	286
2.	Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i>	287
3.	Glossar <i>(Glossary)</i>	288
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i>	293
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>	296
6.	Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide <i>(List of radionuclides referred to in the text)</i>	300

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2005 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 röntgendiagnostische Untersuchungen unverändert. Der niedrigere Wert für die Strahlenexposition durch röntgendiagnostische Maßnahmen ergibt sich auf Grund neuerer Abschätzungen.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2005

		Mittlere effektive Dosis in Millisievert pro Jahr	
1. Natürliche Strahlenexposition			
1.1	durch kosmische Strahlung (in Meereshöhe)	ca. 0,3	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen bei Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag) bei Aufenthalt in Häusern (19 Std./Tag)	ca. 0,4	ca. 0,1 ca. 0,3
1.3	durch Inhalation von Radonfolgeprodukten	ca. 1,1	
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3	
Summe der natürlichen Strahlenexposition		ca. 2,1	
2. Zivilisatorische Strahlenexposition			
2.1	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01	
2.2	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	ca. 1,8	
2.3	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt	< 0,01	ca. 0,1
2.3.1	Industrieerzeugnisse		< 0,01
2.3.2	technische Strahlenquellen		< 0,01
2.3.3	Störstrahler		< 0,01
2.4	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01	
2.4.1	von außen im Freien		< 0,01
2.4.2	durch inkorporierte radioaktive Stoffe		< 0,01
2.5	Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl	< 0,015	
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 1,8	

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. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen von Jahr zu Jahr sind gering. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein nomineller Wert von 2,1 Millisievert pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgebend ist. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

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 Bergbaugebieten des Uran- und Kupferschieferbergbaus 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 weiter eingrenzend abschätzen zu können. Bereits bei Konzentrationen 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 großflächigen Anwendung keine erhöhten Strahlenexpositionen verursachen.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 2005 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Die in der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbaren langlebigen radioaktiven Stoffe stammen hauptsächlich aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Der Beitrag der damals freigesetzten Radionuklide zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ist für 2005 mit weniger als 0,01 Millisievert pro Person anzusetzen.

Die Radionuklidstation des internationalen Messnetzes zur Überwachung der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens auf dem Schauinsland hat 2005 Spuren von Cäsium-137 aus dem Tschernobyl-Unfall und kurzfristige Erhöhungen der Xenon-133-Aktivitätskonzentration nachgewiesen.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Die Strahlenexposition infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl nahm 2005 weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis, bedingt durch Cäsium-137, betrug weniger als 0,015 Millisievert. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90% durch die Bodenstrahlung von Cäsium-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes Radiocäsium für das Jahr 2005 lässt sich mit 0,001 Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet hier weiterhin häufig den Höchstwert der Cäsium-137-Kontamination von 600 Bq/kg .

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Atomkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen und aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die aus diesen Ableitungen nach der "Allgemeinen 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 2005 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Am 11. Mai 2005 ging das Atomkraftwerk Obrigheim außer Betrieb.

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 311.000) lag 2005 bei 0,14 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. 53.000) ergibt sich eine mittlere Personendosis von 0,81 Millisievert. Dies entspricht genau dem Mittelwert des Vorjahres.

Seit 1. August 2003 ist das 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 2005 ca. 31.000 Personen betroffen. Die mittlere Jahresdosis beträgt 1,96 Millisievert pro Person (Vorjahr 1,95 Millisievert). Die Verteilung der Jahresdosen entspricht einer Normalverteilung.

Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis pro Kopf der Bevölkerung beträgt 2005 weniger als 0,01 Millisievert.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Im Berichtsjahr wurde ein Patient auf Grund einer Verwechslung fehlbestrahlt. Die zusätzliche Dosis für den Patienten betrug ca. 3 Gy.

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 durch die medizinische Strahlenexposition lag im Jahr 2003 bei etwa 1,8 Millisievert pro Einwohner. Der gegenüber dem Vorjahr niedrigere Wert ergibt sich aus verbesserten Abschätzungen des Beitrags der röntgendiagnostischen Maßnahmen. 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 2003 nahezu kontinuierlich angestiegen. Für die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland ist hingegen ein über den betrachteten Zeitraum leicht abnehmender Trend zu verzeichnen. Im Jahre 2003 wurden durchschnittlich etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr durchgeführt. Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen auf die stetige Zunahme der Computertomographie(CT)-Untersuchungen – insgesamt um etwa 50% in den Jahren 1996 bis 2003 – zurückzuführen. Die CT trägt zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 6% bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2003 jedoch etwa 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, Technik und Haushalt

Bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe zu technischen Zwecken und in der Forschung ist gegenüber dem Vorjahr keine Änderung eingetreten. 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, Technik und Haushalt ist kleiner als 0,01 Millisievert pro Jahr.

Radioaktive Abfälle

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt im Auftrag des Bundesministeriums 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 2004 82.645 m³. Wärmeentwickelnde Abfälle fielen in Deutschland bisher nur in geringen Mengen an.

Nichtionisierende Strahlung

Das Frequenzspektrum der nichtionisierenden Strahlung erstreckt sich von statischen Magnetfeldern wie dem Erdmagnetfeld, über niederfrequente elektrische und magnetische Felder z. B. des Haushaltsstroms, zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern z. B. des Mobilfunks, bis hin zur optischen Strahlung, die sich in Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung unterteilen lässt. Auf Grund der technischen Entwicklung in unserer Umwelt ist die Bevölkerung 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.

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken 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.

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), vormals Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP), 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.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung sogenannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Dies hat zu einer Besorgnis erregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Handeln tut hier not. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2005 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die Belastung durch UV für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren. Hierzu gehört zum einen das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen wird hier die tägliche UV-Strahlung kontinuierlich erfasst und bewertet. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von über acht im Norden Deutschlands auf und bis über neun in der Mitte Deutschlands in den Monaten Mai bis Juli. Ein ozonbedingter Trend zu einem Anstieg der UV-Strahlung lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht nachweisen. 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 laufende freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Drei der fünf durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen haben bis Ende 2005 55 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Solarienbetriebe ist diese Anzahl unbefriedigend und zwingt zu einer Überprüfung des Instruments der Freiwilligkeit.

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. Data are shown below on exposures due to

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

The mean radiation exposure to the population in the Federal Republic of Germany during the year 2005 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose has remained unchanged with the exception of the value for diagnostic nuclear medicine. Recent estimates have led to assume a lower value for the exposure due to diagnostic nuclear medicine.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2005

		Mean effective dose mSv/year	
1. Exposure from natural radiation sources			
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx. 0.3	
1.2	external terrestrial radiation	approx. 0.4	
	outdoors (5 h/d)		approx. 0.1
	indoors (19 h/d)		approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx. 1.1	
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx. 0.3	
Total natural radiation exposure		approx. 2.1	
2. Exposure from man-made radiation sources			
2.1	nuclear installations	< 0.01	
2.2	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine	approx. 1.8	
	2.2.1 diagnostic nuclear medicine		approx. 0.1
2.3	use of radioactive substances and ionising radiation in research, technology and the home environment	< 0.01	
	2.3.1 industrial products		< 0.01
	2.3.2 industrial radiation sources		< 0.01
	2.3.3 stray radiation		< 0.01
2.4	fallout from nuclear weapons tests	< 0.01	
	2.4.1 external outdoor exposure		< 0.01
	2.4.2 incorporated radioactive substances		< 0.01
2.5	exposure due to the accident in the Chernobyl nuclear power plant	0.015	
Total exposure from man-made sources		approx. 1.8	

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. Exposure from natural radiation sources varies only very slightly over the years. 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, resulting in particular from the inhalation of radon in buildings. 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 mining regions of uranium and copper slate 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 the reporting year.

Radon in buildings

Measurements performed during recent years have shown considerable regional variation in natural radiation exposure, due mainly to the significantly different concentrations of natural radioactive substances in soil and air. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure from the radioactive decay products of these radionuclides. In the reporting year, 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. In the last years national and international epidemiological studies were performed in order to estimate more precisely the limits of the health risk to the population due to enhanced exposure to radon decay products. A significant increase in the lung cancer risk is already observed at concentrations above 100 Bq/m³ amounting to a 10% increase per 100 Bq/m³.

Radioactive substances in building materials and industrial products

In the reporting year, investigations were undertaken on natural stone building materials which are used in dwellings. It appears that even the extensive use of such materials does not cause enhanced radiation exposures.

Nuclear weapons testing

In the year 2005, no nuclear weapons tests were carried out. The long-lived radioactive substances detectable in the atmosphere and in foodstuffs mainly originate from the above-ground nuclear weapons tests performed during the 1960s. The radionuclides emitted during this period contributed in the year 2005 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

The radionuclide station at Schauinsland, which belongs to the international measuring network designed to monitor compliance with the CTBT, detected in 2005 traces of caesium-137 from the Chernobyl accident and short-term increases in the activity concentration of xenon-133.

Chernobyl reactor accident

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2005; the mean effective dose mainly from caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus 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 2005. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be higher by one order of magnitude. In particular the concentration of caesium-137 in wild boar meat still frequently exceeds the maximum value permissible 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 radiation exposure to 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 also in 2005 below 0.01 millisievert.

The nuclear power plant of Obrigheim was put out of operation on May 11, 2005.

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 311,000) controlled using personal dosimeters was about 0.14 millisievert in the year 2005. An effective dose of 0 millisievert was assessed, over the entire year, in about 83% of all controlled persons. A mean individual dose of 0.81 millisievert was determined for all other cases with an annual dose of 0.1 millisievert or more (approx. 53,000). This matches the mean value established in the year before.

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 because of the cosmic radiation during the flight must be monitored. In 2005, about 31,000 persons were concerned. The mean annual dose amounts to 1.96 millisievert (1.95 millisievert in the year before). The distribution of the annual doses corresponds to a normal distribution.

The contribution to the total mean effective population dose per person from occupational exposure is therefore less than 0.01 millisievert in 2005.

Radiation accidents and exceptional events

Due to the strict regulations laid down in the legislation of radiation protection, radiological emergencies with persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. In the reported year a patient was wrongly irradiated because of a mix-up. The additional dose incurred by this patient was about 3 Gy.

Medical applications

The major part of the mean effective population dose due to man-made radiation exposure is caused by the medical application 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 funds.

In 2003, the dose attributable to medical radiation exposure was around 1.8 millisievert per inhabitant. Due to an improved procedure for the assessment of radiation exposure due to X-ray diagnostics, the value is lower than in the year before. Around 0.1 millisievert of this exposure can be attributed to nuclear diagnostics. The contribution of X-ray diagnostic to the effective dose due to man-made radiation sources has almost continuously increased in the years from 1996 to 2003. The frequency of X-ray examinations in Germany, however, tends to decline over the period considered. In 2003, an average of 1.7 X-ray examinations were carried out per inhabitant per year. The dose increase observed is essentially attributable to the constant rise in computer tomography (CT) examinations - the number of which has risen by 50% from 1996 to 2003. Although CT examinations accounted for only 6% of the total number of X-ray examinations, they made up almost half of the collective effective dose in 2003.

In nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequently applied methods of examination. The use of radioactively labelled monoclonal antibodies is of increasing importance to the diagnosis of inflammatory processes and tumours and to tumour therapy due to the high diagnostic significance of this procedure and the availability of new specific radiotracers. An ever increasingly important role is also played by Positron Emission Tomography (PET) applied as a nuclear medicine diagnostic method. The operators of the PET technique 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, technology and the home environment

The use of ionising radiation and radioactive substances for technological and research purposes has not changed in comparison to the preceding year. The radiation exposure to individuals and the population as a whole from mechanical devices is limited by the stipulations of the X-Ray Ordinance and the Radiation Protection Ordinance and this is kept as low as reasonably achievable. The mean contribution to population exposure from the handling of radioactive substances in research, technology and the home environment is less than 0.01 millisievert per year.

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 2004, the levels of radioactive wastes in a suitable state for long-term disposal were 82,645 m³ for wastes. The amount of heat-generating wastes in Germany was small up to now.

Non-ionising radiation

The frequency spectrum of non-ionising radiation reaches from static magnetic fields like the Earth's magnetic field over low-frequency electric and magnetic fields found e.g. in domestic electricity, and high-frequency electromagnetic fields used e.g. in mobile communications to optical radiation, which can be subdivided into infrared radiation, visible light and UV radiation. Due to the technical development in our environment the public is mainly exposed to the low-frequency fields of the energy supply system and high-frequency fields of wireless communication networks. The extension of mobile phone networks in Germany and in particular the introduction of UMTS technology continue to be a current topic of public discussion about potential health risks from new communication technologies.

Limit values are set on the basis of scientifically established health risks and in the light of international research results. The current limit values for fixed low-frequency 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 – BImSchV). Both in the low-frequency and the high-frequency area the exposure to the public is on average far below the legal limits. Compliance with the limits for fixed high-frequency installations is controlled according to telecommunication regulations by the Federal Network Agency (Bundesnetzagentur – BNetzA), formerly called Regulation Authority for Telecommunication and Post (RegTP), which is responsible for issuing site approvals subject to a special application procedure. Different measuring campaigns conducted by the Federal Network Agency have shown that the values registered in areas available to the public are far below the legal limits.

The public exposure to UV radiation is constantly increasing because of modern leisure behaviour in the sun and the use of “wellness areas” offering tanning in solarium. This behaviour has led to an alarming increase in cases of skin cancer. It is important to act. The Federal Office for Radiation Protection (BfS) has therefore continued in 2005 to campaign for the implementation of measures designed to reduce the UV exposure to large parts of the population. One of these measures is the UV monitoring conducted by BfS and the Federal Environment Agency (UBA) since 1993. In cooperation with five associated institutions the daily UV radiation is continually registered and assessed. The data established for the reporting year show a maximum UV index of over eight in the North of Germany and even over nine in the central part of Germany from May to July. The data available do not prove that the UV radiation increases due to ozone. Apart from such monitoring BfS has established general criteria for a minimum standard designed to protect solarium customers from excessive UV exposure and thus from heavy health risks. These criteria are the basis for the voluntary certification procedure for solarium carried out since 2003. Three of the five certification bodies accredited by BfS have certified 55 solarium until the end of 2005. In view of the total number of solarium these figures are unsatisfying and it will be necessary to reconsider the voluntary approach.

RÉSUMÉ

Evaluation totale

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

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

Le tableau suivant indique l'exposition aux rayonnements moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne en 2005. Comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé avec exception de la valeur des examens en médecine nucléaire. Les estimations nouvelles ont rendu une valeur plus basse pour l'exposition due aux mesures diagnostiques utilisant la radiographie.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2005

		Dose effective moyenne mSv/an	
1. Exposition naturelle aux rayonnements			
1.1	due aux rayonnements cosmiques (au niveau de la mer)	env. 0,3	
1.2	due aux rayonnements terrestres externes par séjour à l'extérieur (5 h/jour) par séjour à l'intérieur des maisons (19 h/jour)	env. 0,4	env. 0,1 env. 0,3
1.3	due à l'inhalation de produits de filiation radon	env. 1,1	
1.4	due aux substances radioactives naturelles ingérées	env. 0,3	
Chiffre total de l'exposition naturelle		env. 2,1	
2. Exposition artificielle aux rayonnements			
2.1	due aux installations nucléaires	< 0,01	
2.2	due aux applications médicales de rayonnements ionisants et de substances radioactives	env. 1,8	
	2.2.1 due aux examens en médecine nucléaire		env. 0,1
2.3	due à l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants dans la recherche, la technique et chez les particuliers	< 0,01	
	2.3.1 produits industriels		< 0,01
	2.3.2 sources techniques de rayonnement		< 0,01
	2.3.3 émetteurs perturbateurs de rayonnement		< 0,01
2.4	due aux retombées des essais d'explosions nucléaires	<0,01	
	2.4.1 de l'extérieur, en plein air		<0,01
	2.4.2 due aux substances radioactives incorporées		<0,01
2.5	Exposition aux rayonnements due à l'accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	< 0,015	
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 1,8	

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 surtout 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 avec l'eau potable et la nourriture. L'exposition naturelle aux rayonnements ne varie que faiblement d'un an à l'autre. La contribution totale à la dose effective annuelle des sources naturelles de rayonnements est entre 1 et 6 millisievert. La valeur moyenne nominale, calculée à partir des facteurs de dose définis dans les normes de base d'EU-

RATOM, est de 2,1 millisievert par an, dont la source est particulièrement le radon à l'intérieur de maisons. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné 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, mais elle diminue rapidement à une plus grande distance. En tout, il en résulte des mesurages que des concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières de l'exploitation de l'uranium et du schiste cuivreux, qui sont pourtant observées également dans des régions avec une géologie comparable, donc partiellement d'origine naturelle. La dérivation de l'uranium et du radium et ses produits de désintégration provenant des mines dans les canaux émissaires des régions minières présente aucune différence, ou seulement une différence insignifiante du niveau naturel de ces radionucléides. L'évacuation de substances radioactives (le radon-222 et les émetteurs alpha à vie longue) 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 se réduire pendant l'année du rapport.

Le radon dans les bâtiments

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

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 appliqué aux surfaces étendues.

Essais d'explosions nucléaires

En 2005, aucun essai d'explosions nucléaires n'a été effectué. Les substances radioactives de longue vie, décelables dans l'atmosphère et dans la nourriture, proviennent principalement des essais d'explosions nucléaires sur sol des années soixante. En 2005, on peut estimer la contribution à la dose effective moyenne de la population de la R.F.A. des radionucléides émis à cette époque à moins de 0,01 millisievert par personne.

La station de détection de radionucléides installée à Schauinsland, qui est opérée dans le cadre d'un réseau international de mesurage destiné à vérifier le respect des dispositions du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires, a enregistré en 2005 des traces de césium-137 provenant de l'accident de Tchernobyl ainsi qu'un accroissement temporaire de la concentration d'activité de xénon-133.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En 2005, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement ; la dose effective moyenne, due au césium-137, était en dessous de 0,015 millisievert. Elle était ainsi largement en dessous d'un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturels, et résulte d'environ 90% de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2005, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 0,001 millisievert. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur. Dans cette région, c'est surtout la contamination en 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 des 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. En général, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2005. Aussi en 2005, la contribution des installations nucléaires internes, ainsi que dans les pays voisins, à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne était inférieure à 0,01 millisievert par an.

La centrale nucléaire d'Obrigheim a été mise hors service le 11 mai 2005.

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes pour toutes personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 311 000) a été environ 0,14 millisievert en 2005. Pendant toute l'année, une dose effective de 0 millisievert avait été mesurée chez environ 83% des personnes surveillées. Chez le reste des personnes surveillées avec une dose annuelle à 0,1 millisievert ou plus (environ 53 000), il en résulte une dose moyenne individuelle de 0,81 millisievert.

Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant employé selon la législation du travail allemande, qui est susceptible de recevoir une dose effective d'au moins 1 millisievert par année civile due aux rayonnements cosmiques, est sujet à surveillance. En 2005, environ 31 000 personnes étaient affectées par cette réglementation. Leur dose annuelle moyenne s'élevait à 1,96 millisievert (1,95 millisievert pour l'année précédente). La distribution des doses annuelles suit une distribution normale.

Dans l'ensemble, la contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne au total de la population était, également en 2005, inférieure à 0,01 millisievert par personne.

Accidents et incidents radiologiques

Grâce aux strictes dispositions juridiques en matière de radioprotection, des incidents radiologiques avec personnes, survenant au cours de la manipulation de rayonnements ionisants et de substances radioactives, sont rares. Dans l'année du rapport un patient a été exposé erronément à cause d'une confusion. La dose du patient supplémentaire s'élevait à environ 3 Gy.

Application médicale

La plus grande contribution à la dose effective moyenne due à l'exposition artificielle aux rayonnements est engendrée par l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en application médicale. Pour cette raison, 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 organisations portant les coûts de traitement médical, représentées surtout par les associations des différents types de caisses d'assurance maladie.

En 2003, la contribution en médecine de l'exposition aux rayonnements est environ 1,8 millisievert par habitant. Les estimations améliorées de la contribution des mesures diagnostiques utilisant la radiographie ont rendu une valeur plus basse comparée à l'année précédente. La médecine nucléaire est responsable pour 0,1 millisievert du total de l'exposition. La contribution de la diagnostique par radiographie à la dose effective due à l'exposition artificielle aux rayonnements a augmenté presque en continu pendant la période de 1996 à 2003. Pourtant on a observé une tendance décroissante sur la fréquence des examens radiographiques en Allemagne pendant la période en question. En 2003, 1,7 examens radiographiques ont été réalisés en moyenne par habitant par année. La montée de dose constatée doit être attribuée au nombre croissant de tomographies assistées par ordinateur (CT) - leur nombre a augmenté de 50% entre 1996 et 2003. Tandis que les tomographies (CT) constituent seulement 6% des examens radiographiques, leur contribution à la dose effective collective en 2003 était de 50%.

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

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

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

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

L'application de rayonnements ionisants et de substances radioactives à des fins techniques et dans la recherche n'a presque pas changé dès l'année précédente. L'exposition aux rayonnements des individus et de la population générale, due à l'emploi d'appareils techniques, est limitée et maintenue le plus bas possible par les stipulations du Décret sur les Rayons X et du Décret sur la protection contre les rayonnements. La contribution moyenne à l'exposition radiologique de la population fournie par l'application de substances radioactives dans la recherche, la technique et chez les particuliers est inférieure à 0,01 millisievert par an.

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 déchets solides et 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.

Le 31 décembre 2004, l'état de déchets radioactifs capables au stockage était 82.645 m³. La contribution des déchets thermiques en R.F.A. était insignifiante jusqu'à présent.

Rayonnements non ionisants

Le spectre de fréquences du rayonnement non ionisant s'étend des champs magnétiques statiques comme le champ magnétique de la terre sur les champs électriques et magnétiques de basse fréquence p. ex. l'électricité fournie aux particuliers, sur les champs électromagnétiques de haute fréquence p. ex. de la communication mobile jusqu'aux rayonnements optiques, qui se divisent en rayonnements infrarouges, la lumière visible et les rayonnements UV. A cause du développement technique dans notre environnement la population est surtout exposée aux champs de basse fréquence de l'alimentation électrique et aux champs de haute fréquence des réseaux de communication sans fil. L'expansion des réseaux de communication mobile en Allemagne, particulièrement l'introduction de la technologie UMTS, continue d'être un élément important du discours public sur les risques potentiels pour la santé engendrés par les nouvelles technologies de communication.

Les experts recommandent des valeurs limites en se basant sur les risques pour la santé montrés au cours des recherches scientifiques et sur les connaissances internationales. Les valeurs limites actuelles applicables aux installations fixes à basse fréquence et à haute fréquence sont définies dans le 26e règlement sur la mise en place de la loi fédérale sur le contrôle des immissions (Décret sur les champs électromagnétiques – BImSchV).

L'exposition de la population est en moyenne largement inférieure aux limites prescrits par le législateur, pour le domaine à basse fréquence comme pour le domaine à haute fréquence.

L'agence fédérale des réseaux (Bundesnetzagentur – BNetzA), antérieurement appelée autorité de régulation pour le secteur de télécommunication et de la poste (RegTP), surveille le respect des valeurs limites pour les installations fixes à haute fréquence en se référant aux règlements législatifs pour la télécommunication. L'opérateur d'une telle installation est obligé d'obtenir l'autorisation de l'agence fédérale des réseaux afin de pouvoir placer une installation au site indiqué. L'agence a montré dans différentes campagnes de mesurages que les valeurs mesurées dans les domaines accessibles au public restent nettement en-dessous des limites.

L'exposition aux rayonnements UV de la population accroît due au comportement du public pendant leur temps libre relatif au soleil ainsi qu'à l'utilisation des zones de relaxation qui offrent des solariums. Ceci a engendré une croissance inquiétante du cancer de la peau. Il faut agir. L'Office fédéral de radioprotection (BfS) s'est ainsi engagé pour l'introduction de mesures visées 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 en 1993 par BfS et l'Agence allemande de l'Environnement (UBA). Le rayonnement UV est enregistré et évalué quotidiennement en coopération avec cinq institutions associées. Les données enregistrées pour l'année de rapport montrent des valeurs maximales pour l'index UV de plus de huit au nord de l'Allemagne et plus de neuf au centre de l'Allemagne du mai jusqu'au juillet. Ces données ne prouvent pas que le rayonnement UV augmente à cause de l'ozone. L'autre mesure engagée par BfS était de déterminer des critères universels pour un standard minimum afin de protéger les clients de solariums d'une exposition trop élevée aux rayonnements UV et ainsi de les mettre 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. Parmi les cinq instances de certification autorisées par BfS trois ont certifié 55 solariums jusqu'à la fin 2005. En considérant le nombre total de solariums, la partie certifiée n'est pas suffisante, donc il faudra se demander si l'approche volontaire doit être révisée.

**TEIL A
ALLGEMEINE ANGABEN**

(GENERAL INFORMATION)

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

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 Bergbaugesamt 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 Verahrung 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, Salzgitter, vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel und von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

**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

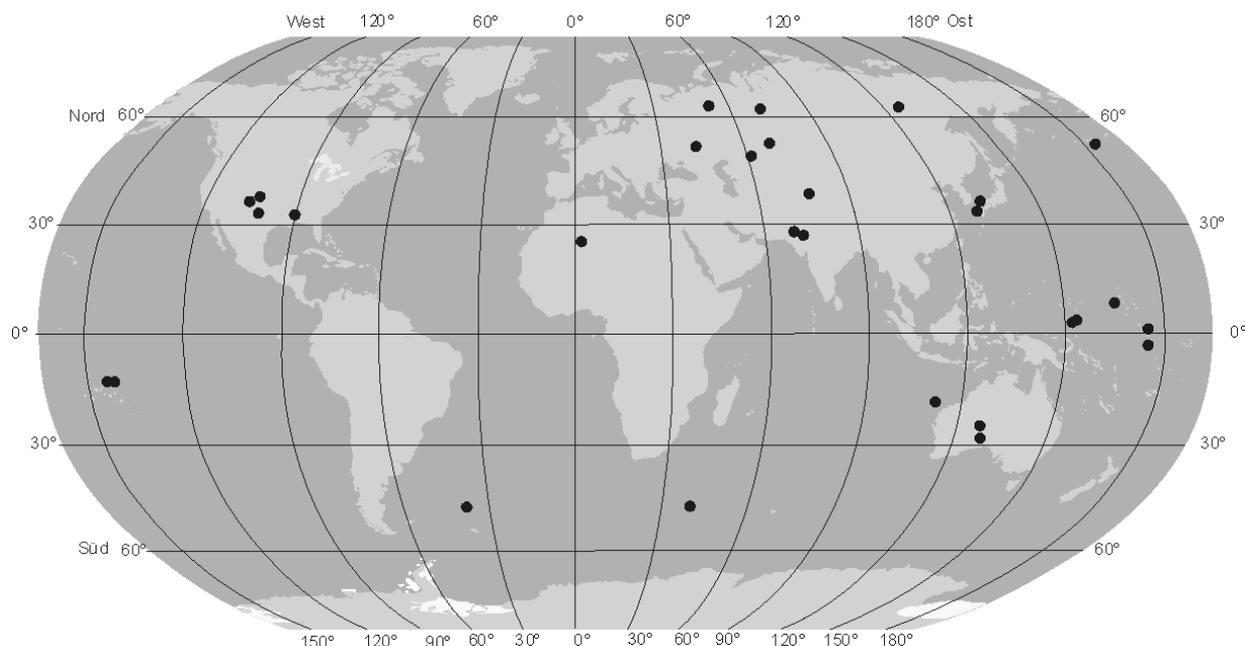


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - data of UNSCEAR)

1.2 Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall
(Tschernobyl - 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/m² im Freien noch etwa 15 µSv, in Gebäuden etwa 2 µSv. 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 µSv (zum Vergleich: 1986 ca. 70 µSv, 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/m² [1] nach wie vor 90 µSv erreichen. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil A - I - 1) beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 µSv 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+240)), 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.

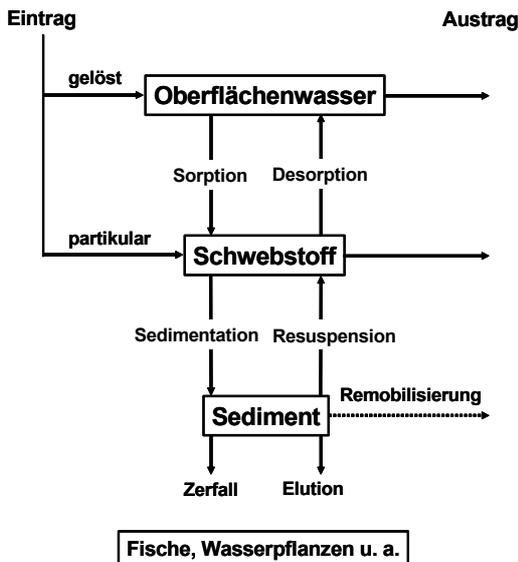


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
von radioaktiven (und anderen) Stoffen in Fließgewässern
(Simplified modell to the change and transportbehavior of ra-
dioactive (and other) substances in rivers)

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, Salzgitter

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, Salzgitter

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 (StSchV) 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 vorher 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 Richtlinie 97/43/EURATOM den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. 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 sind. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

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

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen 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 StrSchV 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 – jetzt 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 den einzelnen Patienten dar. Die "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie" beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die 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 Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch die mögliche Korrektur von Fehlbelichtungen oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels "Last Image Hold". Auch bei der CT zeichnet sich – zumindest bei Standarduntersuchungen – ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken (Mehrschicht-Computertomographie) neue Anwendungsarten mit einer diagnostischen Aussagekraft, die bisher nicht zu erzielen war. Jedoch sind diese Anwendungen meist auch mit höheren Dosen verbunden. Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mittels Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. 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 einzeln 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 - 2.1 dargestellt.



2.2 Nuklearmedizinische Therapie (*Therapy with radiopharmaceuticals*)

Die Radionuklidtherapie nutzt die Möglichkeit, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid Jod-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 - 2.2 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 "Vorfrageverfahren" 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, Salzgitter

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 A₁-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, Salzgitter

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).

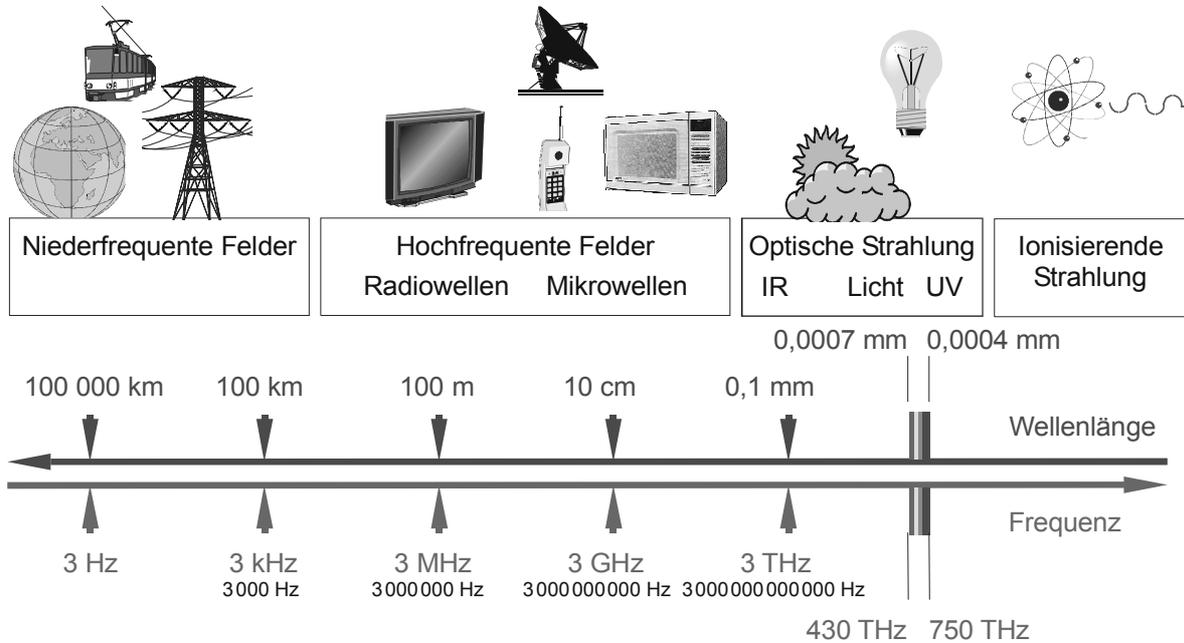


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

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. "Magnetheilmittel" wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch manche Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 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 Felder 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 1.2-1). 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 Felder 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 ei-

nem 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 Expositionszeitpunkt wurde allerdings 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 Fel-

der 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 Erwärmung des Körpers. 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 Temperaturengleich 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 Mobilfunkanlagen abgeleitet werden. Diese sind rechtlich in der 26. BImSchV (Abb. 1.3-1) für gewerblich genutzte Sendeanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt (W) und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (entspricht 300.000 MHz) festgelegt.

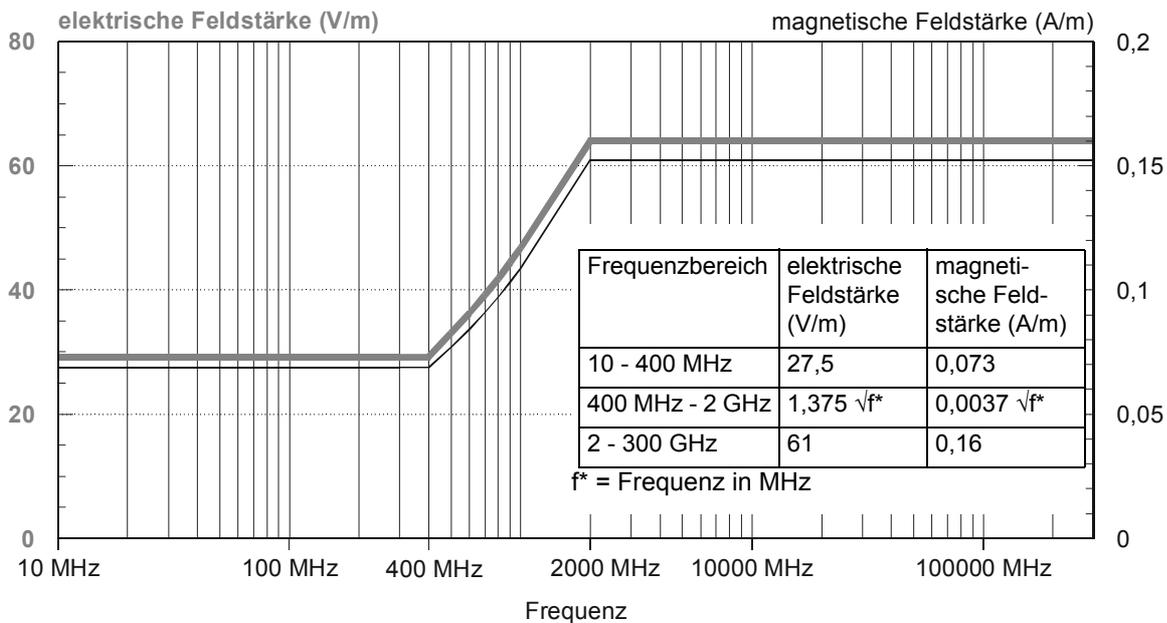


Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high frequency installations)

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren nach § 7 der 26. BImSchV in Verbindung mit der 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 Standortbescheinigung erteilt, 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 ent-

sprechen 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 Initiierung 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 Gesamtzongehaltes 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 Hautkrebserkrankungen 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 (Stadtrand von München). Zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen wurde das Messnetz in den Folgejahren zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund (BAuA), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach (LfU Bayern) und 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 be-

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

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (<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 zum einen von der UV-Dosis und zum anderen von der Empfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Strahlung ab. Die Empfindlichkeit wiederum hängt im hohen Maße von der Bräunungsfähigkeit und der daraus resultierenden Pigmentierung der Haut ab. 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 erythemato gene 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 auftreten; fotoallergische Reaktionen werden jedoch nur bei prädisponierten Personen hervorgerufen. 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 Aufenthalten 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 ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Kontinuierlich durchgeführte Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigen zum einen, dass Gesundheitsschäden bei Einhaltung der Grenzwerte nicht nachgewiesen werden können. Zum anderen 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 ortsfesten Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren nach § 7 der 26. BImSchV in Verbindung mit der 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, Salzgitter

**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 2005 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter dem - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen und kontinuierlich abnehmen.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2004 und 2005 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben in den Jahren 2004 und 2005 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Ergebnis der fortschreitenden Verwitterung von untertägigen Grubenfeldern 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 2005
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2005 – Values measured by the Wismut GmbH)**

Zeitraum	Fortluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe			
		Radon-222 in TBq/a *		Langlebige α Strahler in MBq/a *	
1998	22,1	664,7	(1201,1)	31,3	(137,1)
1999	20,8	491,3	(926,2)	30,3	(107,4)
2000	18,3	380,4	(798,2)	10,0	(99,9)
2001	14,2	316,4	(557,4)	5,3	(101,1)
2002	11,8	260,5	(447,4)	13,9	(101,1)
2003	8,6	168,4	(298,4)	13,2	(83,1)
2004	8,3	147,3	(268,1)	14,0	(82,9)
2005	7,9	105,3	(298,1)	14,7	(79,9)

* Genehmigungswerte in Klammern

1. Hier sind im wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint

Tabelle 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft in die Atmosphäre 2004/2005 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air 2004/2005 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Anzahl der Abwet- terschächte 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 *	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Schlema/Alberoda	1	1	1,46	1,455	100 (100)	72 (130)	3,9 (10)	3,5 (7)
Pöhl	1	1	0,395	0,416	0,2 (0,5)	0,2 (0,5)	-** (0,8)	-** (0,8)
Dresden-Gittersee	1	1	0,12	0,12	0,07 (1,6)	0,07 (1,6)	0,09 (1,6)	0,16 (1,6)
Königstein	6	5	6,3	5,9	47 (166)	33 (166)	10 (70,5)	11 (70,5)
Ronneburg	-	-	-	-	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
Seelingstädt	-	-	-	-	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emissionen mit Konzentrationen unter der Nachweisgrenze wurden nicht bilanziert

Die Ableitungen von radioaktiven Stoffen 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 2004 und 2005 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2.1.1-4 zusammengestellt. Während 2005 die Menge des abgeleiteten Radium-226 etwa auf Vorjahresniveau blieb, wurde die Menge des abgeleiteten Uran insgesamt im Vergleich zum Vorjahr etwa um ein Fünftel gesenkt. Die im Jahre 2005 gegenüber 2004 erhöhte Uranableitung in Elbe und Pleiße sind auf das Betriebsregime bei der Flutung der Grube Königstein (Elbe) und auf die einmalig vorgenommene Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft des Absetzbeckens Beerwalde (Pleiße) zurückzuführen.

Tabelle 2.1.1-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2005 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters during the period from 1998 to 2005 – 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)

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2004/2005 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the years 2004/2005 - 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 *	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
ZWICKAUER MULDE	8,72 (-)	7,983 (-)	2,5804 (5,659)	1,925 (5,416)	0,125 (3,833)	0,15 (3,833)
Schlema/Alberoda	6,83 (-)	6,804 (-)	2,076 (5,484)	1,692 (5,241)	0,111 (3,57)	0,144 (3,570)
Crossen	1,748 (-)	1,051 (-)	0,502 (-)	0,230 (-)	0,0048 (-)	0,002 (-)
Pöhl	0,142 (-)	0,128 (-)	0,0024 (0,175)	0,003 (0,175)	0,0092 (0,263)	0,004 (0,263)
ELBE	3,46 (5,885)	4,138 (5,869)	0,02 (1,713)	0,039 (1,708)	0,092 (2,284)	0,134 (2,278)
Dresden-Gittersee	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
Königstein	3,46 (5,885)	4,138 (5,869)	0,02 (1,713)	0,039 (1,708)	0,092 (2,284)	0,134 (2,278)
PLEIßE	0,0661 (0,25)	0,201 (0,250)	0,0088 (0,075)	0,0307 (0,075)	0,0002 (0,038)	0,0127 (0,038)
Ronneburg	0,0661 (0,25)	0,201 (0,250)	0,0088 (0,075)	0,0307 (0,075)	0,0002 (0,038)	0,0127 (0,038)
WEIßE ELSTER	1,653 (2,638)	2,44 (2,485)	0,194 (0,803)	0,233 (0,782)	0 (0,558)	0,003 (0,534)
Ronneburg (WBA- Probetrieb ²⁾	0,03 (0,538) ³⁾	0,066 (0,185) ³⁾	0 (0,173) ⁴⁾	0,0023 (0,092) ⁴⁾	0 (0,138) ⁴⁾	0 (0,074) ⁴⁾
Seelingstädt	1,623 (2,1)	2,374 (2,3)	0,194 (0,63) ⁵⁾	0,231 (0,69) ⁵⁾	0 (0,42) ⁵⁾	0,0033 (0,46) ⁵⁾

* Genehmigungswerte in Klammern

- 1) Die angegebenen Werte für die Abwassermenge sind Richtwerte. Eine Modifizierung dieser Werte ist nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde möglich
- 2) Die WBA Ronneburg nahm im Januar 2002 den Probetrieb auf
- 3) Genehmigter Maximaldurchsatz der WBA von 700 (2004) oder 350 (2005) m³/h als Summe aus behandeltem Grund- und Verdünnungswasser in 32 (2004) oder 22 (2005) Betriebstagen
- 4) Der Wert wurde rechnerisch, aus der genehmigten Wassermenge pro Tag, multipliziert mit der Maximalkonzentration und den 32 (2004) oder den 22 (2005) Betriebstagen, ermittelt
- 5) 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 Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der

Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die 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 2004 / 2005 bis Sommer 2005 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 2004/05 und Sommer 2005; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2004/05 and summer 2005; 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 2004/2005					
Schlema/Alberoda	70	19	46	5	270
Pöhla	15	14	1	0	80
Seelingstädt	25	21	4	0	50
Crossen	34	18	15	1	80
Königstein	16	16	0	0	24
Gittersee	19	19	0	0	25
Ronneburg	42	40	2	0	35
Sommer 2005					
Schlema/Alberoda	64	8	45	11	205
Pöhla	15	12	2	1	200
Seelingstädt	24	12	11	1	80
Crossen	32	1	25	6	100
Königstein	12	9	3	0	34
Gittersee	14	14	0	0	29
Ronneburg	35	22	13	0	47

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 – 2005 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 - 2005 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 – 2005	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2005
Schlema/Alberoda	21	40	29	27	48	35
Pöhla	14	35	20	18	29	24
Seelingstädt	11	39	24	19	37	26
Crossen	16	35	25	17	37	24
Königstein	11	31	20	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	33
Ronneburg	14	40	25	20	37	28

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. Vergleichbare Werte werden aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt und sind deshalb offensichtlich natürlichen Ursprungs. 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

Die Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen wird in allen Oberflächengewässern durchgeführt, in die radioaktive Ableitungen erfolgen. Zur Ermittlung des bergbaulichen Einflusses werden die Immissionsmessungen der Wismut GmbH 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 2004/2005 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the year 2004/2005 - Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Messpunkt	Uran in mg/l		Radium-226 in mBq/l	
			2004	2005	2004	2005
Sächsische Bergbaugebiete						
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	k-0018	0,022	0,015	31	23
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	k-0024	0,044	0,065	31	13
	Elbe Rathen	k-0028	0,002	0,001	10	11
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	g-0076	0,016	0,017	17	14
	Kaitzbach nach Einleitung	g-0077	0,055	0,051	16	16
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	m-131	0,002	0,002	11	12
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	m-111	0,01	0,007	15	16
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	m-115	0,001	0,001	10	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	m-165	0,022	0,019	30	19
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	M-201	0,012	0,008	12	14
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	M-205	0,017	0,009	12	14
	Helmsdorfer Bach	M-204	0,2	0,18	18	15
	Zinnborn	M-232	0,455	0,34	94	85
Thüringer Bergbaugebiete						
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	E-312	0,002	0,002	< 10	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	E-314	0,006	0,003	< 10	< 10
	Lerchenbach	E-369	0,18	0,11	< 10	< 10
	Fuchsbach unterhalb IAA	E-383	0,048	0,028	< 10	< 10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	E-321	0,006	0,005	< 10	< 10
	Ronneburg	Gessenbach	e-416	0,046	0,038	13
	Sprotte	s-609	0,006	0,006	10	< 10
	Wipse	e-437	0,032	0,015	10	< 10
	Weißer Elster	e-419	0,005	0,005	10	< 10

Die im Jahre 2005 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 12 mBq/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 85 mBq/l) oder zwei Größenordnungen (Uran: Werte zwischen 6 und 340 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 zum Dreifachen reichen (1 - 9 µg/l). Mit Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) und bis zu 16 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 Radonkonzentration in der Bodenluft und in Häusern durchgeführt.

Auf der Grundlage von Messungen an insgesamt 2346 Orten wurde eine bundesweite Übersichtskarte der regionalen Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft erstellt (siehe Abbildung 2.2-1).

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

Zusammenfassend ist festzustellen:

Geologisch bedingt können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m³ auftreten. Die höchsten auf geologische Ursachen zurückführbaren Radonkonzentrationen hat man in Häusern gemessen, die über Graniten oder in ihrer Zusammensetzung ähnlichen Gesteinen errichtet wurden.

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

In Gebieten mit Radonkonzentrationen in der Bodenluft über 20 kBq/m³ sind vor allem in Häusern älteren Baujahres, Gebäuden ohne Fundamentplatte oder in Gebäuden mit offensichtlichen Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdbeherrschten Bereich erhöhte Radonkonzentration zu erwarten. Vor allem dort sind Messungen der Radonkonzentration zu empfehlen. In den betreffenden Regionen sollten Standorte von Neubauten im Hinblick auf die Notwendigkeit von Vermeidungsmaßnahmen bewertet werden. Tabelle 2.2-1 zeigt die auf der Radonkonzentration in der Bodenluft (Stand 2004) basierende Abschätzung des Anteils und der Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit über 100 Bq/m³ liegenden Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen.

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 wird die eindringende Radonmenge und die daraus resultierende Radonkonzentration meist von der Bewitterung der untertägigen Hohlräume beeinflusst. In Häusern von Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen kurzzeitig deutlich über 100.000 Bq/m³ und Jahresmittelwerte über 10.000 Bq/m³ festgestellt.

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

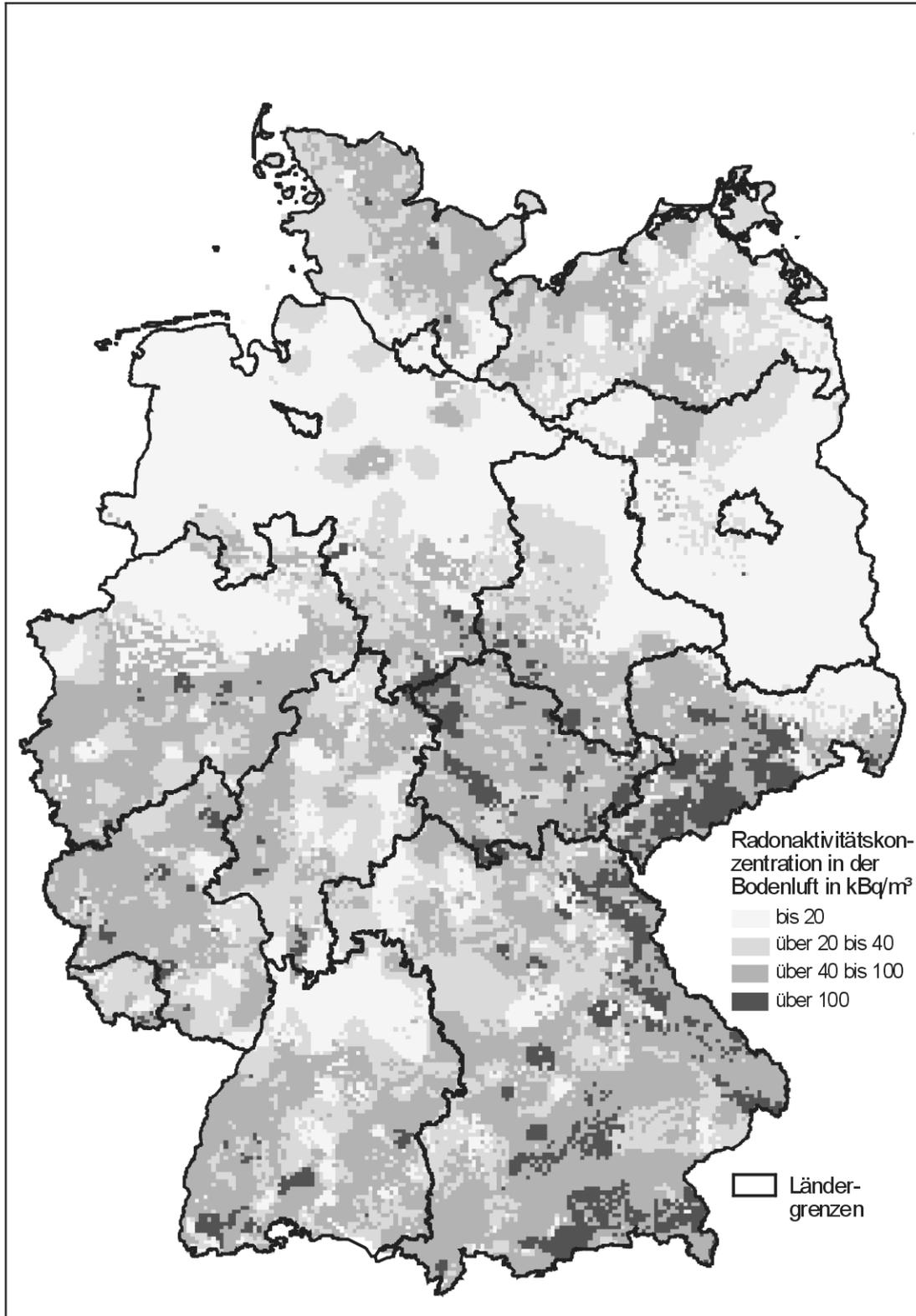


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth)

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

In der Abbildung 2.3-1 sind die in Natursteinen, Bindemitteln, Finalbaustoffen und sonstigen Industrieprodukten sowie in industriellen Rohstoffen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 zusammengestellt.

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 vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Im speziellen Interesse der Bevölkerung steht die von Naturwerkstein ausgehende Strahlenexposition, bedingt durch die zunehmende Anwendung dieser Materialien im häuslichen Bereich. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e.V. eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. Die Ergebnisse der gammaspektrometrischen Messungen sind in der Abbildung 4 zusammengefasst. Die Materialgliederung erfolgt an dieser Stelle 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. Zum Vergleich und zur Ergänzung wird an dieser Stelle auf die an der Universität Thessaloniki durchgeführten Untersuchungen hingewiesen [2]. Die Untersuchungsergebnisse ordnen sich in die Wertebereiche der oben genannten Tabelle ein.

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

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

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

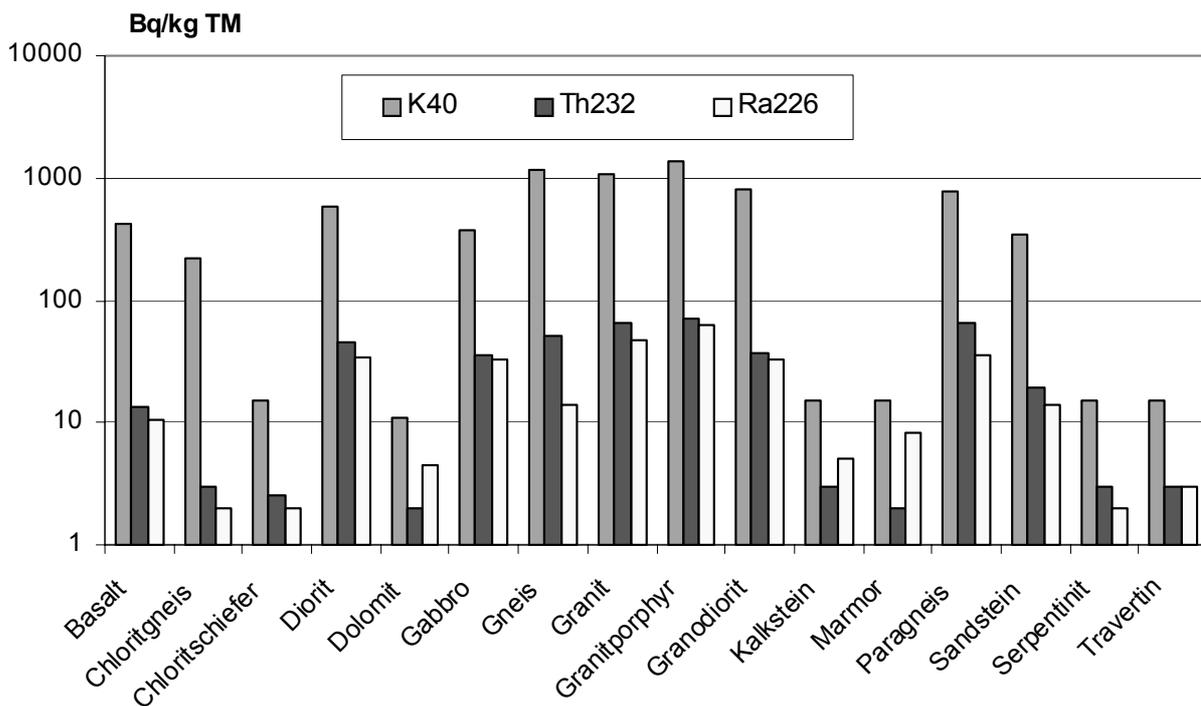


Abbildung 2.3-1 Medianwerte der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide aus Naturwerkstein in Bq/kg (TM)
(Medians of specific activity of natural radionuclides in natural stone in Bq/kg TM)

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)
- [2] Pavlidou S, Koroneos A, Papastefanou C, Christofides G, Stoulos S, Vavelides M: „Natural Radioactivity of Granites Used as Building Materials in Greece“. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVI, 2004

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel und von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

1. Quellen künstlicher Radioaktivität (Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche (Nuclear weapons tests)

Die einzige Radionuklidstation des Internationalen Messnetzes (IMS) zur Überwachung der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Station Schauinsland des BfS (Radionuklidstation 33, RN 33) in der Nähe von Freiburg. Dort werden automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit für den Nachweis von schwebstoffgebundener Radioaktivität (RASA) sowie für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope (SPALAX) betrieben.

Im Jahr 2005 befand sich das bereits von der CTBT als offizieller Bestandteil des IMS zertifizierte System RASA im Routinebetrieb. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide in den Tagesproben nachgewiesen. Es stammt 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 (siehe Abschnitt 2.1) im Bereich weniger Microbequerel pro Kubikmeter.

Das Edelgasmesssystem SPALAX befindet sich noch im Testbetrieb. Abbildung 1.1-1 zeigt den Zeitverlauf der Xe-133 Aktivitätskonzentration der Tagesproben (SPALAX) sowie zum Vergleich die Ergebnisse der im Rahmen der Spurenmessungen für IMIS parallel genommenen Wochenproben. Im Berichtsjahr betrug die arithmetisch gemittelte Xe-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft auf dem Schauinsland ca. 5 mBq/m^3 . In den Tagesproben konnten einige kurzzeitige Erhöhungen der Xe-133 Aktivitätskonzentration bis ca. 200 mBq/m^3 nachgewiesen werden. Ohne Berücksichtigung dieser erhöhten Messwerte ergibt sich der Untergrundpegel der Xe-133 Aktivitätskonzentration zu $1,2 \text{ mBq/m}^3$. In einigen Proben wurden 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 Isotope in einer Probe ist es in einigen Fällen - abhängig von den meteorologischen Verhältnissen - möglich, unter Zuhilfenahme von Trajektorienrechnungen und der Isotopenzusammensetzung 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.

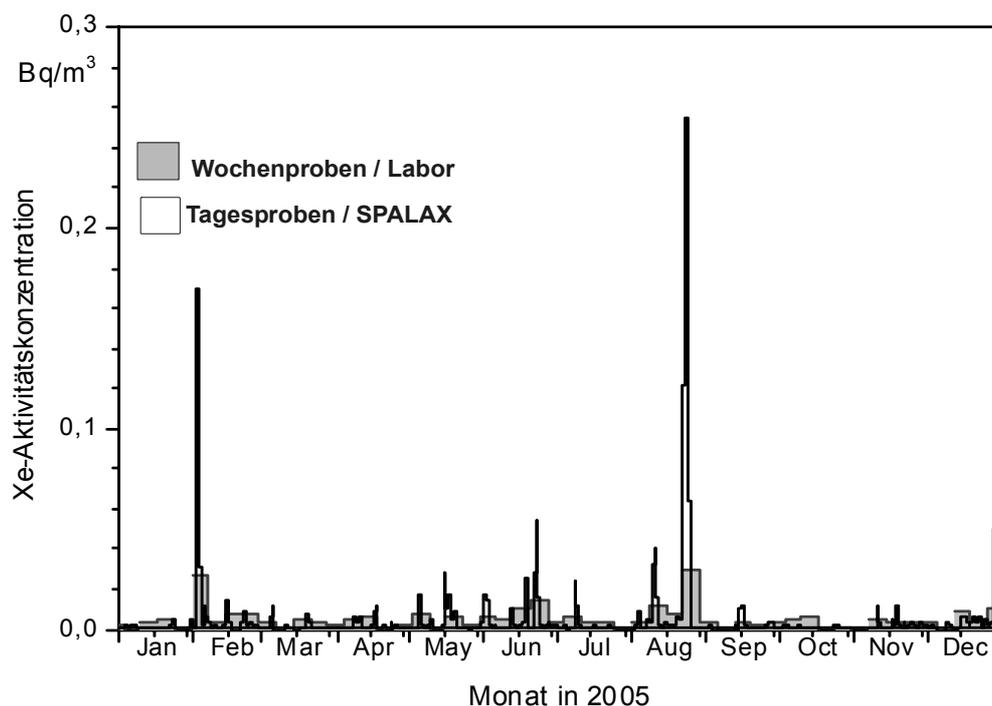


Abbildung 1.1-1 Zeitverlauf der Aktivitätskonzentration von Xe-133 in der bodennahen Luft anhand von Tagesproben (SPALAX) und Wochenproben (Labor) für das Jahr 2005 am Probenentnahmeort Schauinsland

(Xe-133 activity concentrations in ground-level air from daily (SPALAX) and weekly samples (laboratory) in 2005 at sampling site Schauinsland)

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

Im Jahr 2005 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 Cäsium-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 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 einigen hundert, 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 Vorjahresbericht 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 120 Messungen an Wildschweinen bei 1.400 Bq/kg, die Werte reichen bis 13.000 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 45 Messungen bei 14 Bq/kg mit einem Höchstwert von 210 Bq/kg (siehe "Tabelle 2.4.7-8 Wild, Inland und Einfuhr" auf Seite 194).

Auch in Niedersachsen und Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Für Niedersachsen ergibt sich ein Mittelwert von 110 Bq/kg und ein Maximalwert von 1.600 Bq/kg. In Baden-Württemberg liegt der Mittelwert bei 330 Bq/kg und der Maximalwert bei 5.600 Bq/kg.

Cäsium-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. 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 Cäsium-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv.

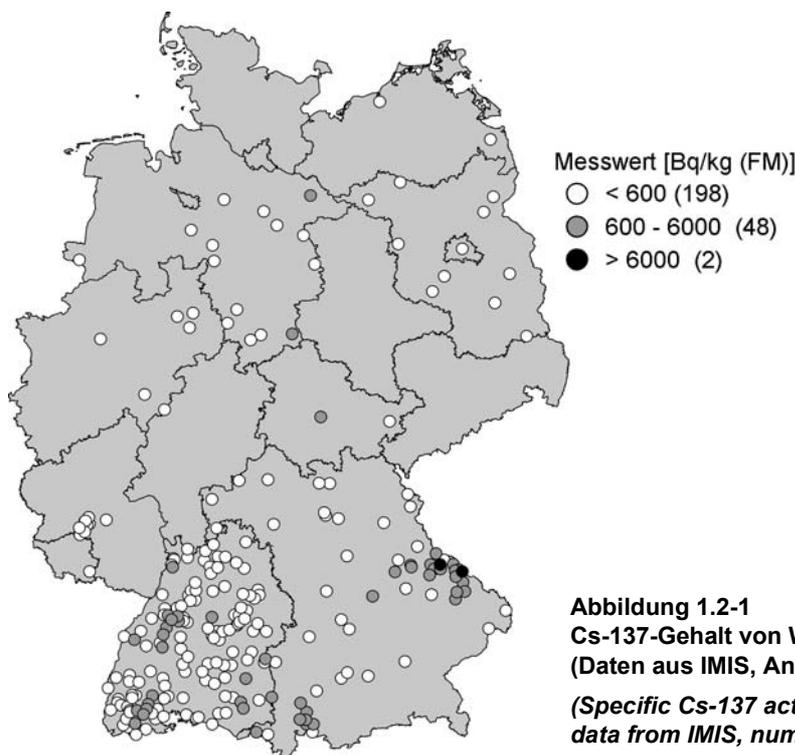


Abbildung 1.2-1
Cs-137-Gehalt von Wildschweinen im Jahr 2005
(Daten aus IMIS, Anzahl der Messungen in Klammern)
(Specific Cs-137 activity in wild boar - year 2005 -
data from IMIS, number of measurements in brackets)

1.3 Kerntechnische Anlagen (Nuclear facilities)

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 2005 folgende kerntechnische Anlagen:

- 18 in Betrieb befindliche Atomkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21.723 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 163 TWh und einem Anteil von 26% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 31% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2005. Die Atomkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich und Stade haben den Betrieb bereits beendet. Obrigheim wurde im Mai 2005 abgeschaltet.
- 5 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 58 MW.
- 4 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: NUKEM GmbH, SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau: Betriebsteil MOX-Verarbeitung und Betriebsteil Uran-Verarbeitung, ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Betriebe NUKEM GmbH und SIEMENS AG haben die Brennelementeproduktion eingestellt und werden zurzeit rückgebaut.
- 7 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald für abgebrannten Brennstoff (ZAB) Lubmin, Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A), AVR-Behälterlager im Forschungszentrum Jülich, Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G), Zwischenlager im KWO Obrigheim, Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord (ZLN) Rubinow und Standort-Zwischenlager Lingen.
- 4 Interimslager für abgebrannte Brennelemente: Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg, Biblis und Krümmel.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2005 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung angenommen (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 2005 in den Abschnitten 2.1.5 und 2.2.4 sind in getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2005 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 2005 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 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)

Standort kerntechnische Anlagen	Typ a)	elektr. Brutto- leistung (MW)	Bruttostromer- zeugung 2005 *) (MWa)	Beginn / Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Kahl	SWR	16	0	1960/1985	Main
Karlsruhe	D2O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Rheinsberg	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Gundremmingen A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Jülich	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Lingen	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Obrigheim	DWR	357	104	1968/2005	Neckar
Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Stade	DWR	672	0	1972/2003	Elbe
Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Biblis A	DWR	1225	890	1974	Rhein
Biblis B	DWR	1300	835	1976	Rhein
Neckarwestheim 1	DWR	840	725	1976	Neckar
Brunsbüttel	SWR	806	716	1976	Elbe
Isar 1	SWR	912	871	1977	Isar
Unterweser	DWR	1410	1065	1978	Weser
Philippsburg 1	SWR	926	696	1979	Rhein
Grafenrheinfeld	DWR	1345	1218	1981	Main
Krümmel	SWR	1316	1101	1983	Elbe
Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Gundremmingen B	SWR	1344	1236	1984	Donau
Grohnde	DWR	1430	1312	1984	Weser
Gundremmingen C	SWR	1344	1200	1984	Donau
Philippsburg 2	DWR	1458	1303	1984	Rhein
Mülheim-Kärlich	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Brokdorf	DWR	1440	1368	1986	Elbe
Isar 2	DWR	1475	1337	1988	Isar
Emsland	DWR	1400	1311	1988	Ems
Neckarwestheim 2	DWR	1365	1322	1988	Neckar

a) SWR = Leichtwasser-Siedwasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwere-
 wasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER =
 Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

*) Daten aus Atomwirtschaft, atw 3/2006

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 31.12.2005)
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36.849 m ³ / 3,8 E+14 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 1,2 E14 Bq (Vorjahr: 1,3 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 2005 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Abschnitten 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 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 1800 μSv pro Jahr betragen.

Tabelle 1.3.1-1 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2005 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 3 Jahren) sowie die Schilddrüsensdosis für Kleinkinder. Tabelle 1.3.1-1 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 4 μSv (unter 2% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Atomkraftwerk KKI Isar, sowie für Kleinkinder 6 μSv (2% des Dosisgrenzwertes) bei den Atomkraftwerken KKI Isar und KKP Philippsburg. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsensdosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 μSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes) beim KKI Isar.

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 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt jeweils 1,3 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$ für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,4% des Grenzwertes) am Standort des Atomkraftwerkes KKE Emsland.

Entsprechend des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche als Emittenten in Frage kommende kerntechnische Anlagen 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. 0,4 μSv , am Rhein bei 0,1 μSv bzw. 0,2 μSv und an der Donau bei 0,3 bzw. 0,6 μSv . Diese Dosiswerte ergeben sich auch für das kritische Organ (rotes Knochenmark). Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

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 2005 als höchsten Wert 5 μSv (rund 2% des Grenzwertes) für Erwachsene und 8 μSv (rund 3% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsensdosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 μSv (rund 1% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

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 2005 wurde mit 11 μSv der höchste Wert der effektiven Jahresdosis für Erwachsene beim Forschungszentrum Rossendorf berechnet.

Tabelle 1.3.1-1 Strahlenexposition im Jahr 2005 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 2005 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	3	5	5
Stade	<0,1	<0,1	<0,1
Würgassen	0,2	0,4	0,4
Greifswald ^{b)}	<0,1	<0,1	<0,1
Biblis A, B	0,7	1	1
Neckar 1, 2	1	1	1
Brunsbüttel	1	2	2
Isar 1, 2	4	6	7
Unterweser	0,2	0,4	0,4
Philippsburg 1, 2	3	6	6
Grafenrheinfeld	0,1	0,2	0,2
Krümmel	1	3	3
Gundremmingen A, B, C	3	5	4
Grohnde	0,4	0,8	0,8
Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1
Brokdorf	0,4	0,8	0,7
Emsland	0,3	0,6	0,6

a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen 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 2005 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 2005 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	0,2
Stade	<0,1	0,1
Würgassen	<0,1	<0,1
Biblis A und B	0,2	0,3
Neckar 1 und 2	0,6	1,1
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	0,4	0,7
Krümmel	<0,1	<0,1
Grohnde	0,3	0,5
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1
Brokdorf	<0,1	0,1
Emsland	0,7	1,3
Rheinsberg *)	0,1	0,1
Greifswald *)	<0,1	<0,1

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

Tabelle 1.3.1-3 Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2005 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) *	0,9	1,2	1,6
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) *	5	8	7
Forschungszentrum Rossendorf (FZR) *	0,6	1,1	0,9
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht *	0,1	0,4	0,4
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)*	0,4	0,6	0,8
Garching, FRM I und FRM II	<0,1	<0,1	<0,1

*) Entnommen aus den Jahresberichten 2005 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

Tabelle 1.3.1-4 Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abwasser *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2005 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	11
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	<100

*) Entnommen den Jahresberichten 2005 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.

Für die Hanauer Betriebe, die größtenteils zurückgebaut sind, lagen vor Redaktionsschluss noch keine Emissionsdaten vor. Im Vorjahr 2004 betrug die maximale Dosiswerte der effektiven Dosis für Erwachsene 1 µSv (rund 0,3% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 3 µSv (1% des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder lag 2004 bei 60 µSv (rund 3% des Grenzwertes).

Tabelle 1.3.1-5 Strahlenexposition im Jahr 2005 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 2005 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)	0,6	1	20
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau	-	-	-
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	-	-	-
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	-	-	-
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

- wegen fehlender Ableitungswerte bei Redaktionsschluss keine Dosisangabe möglich

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 µSv/Jahr.

Tabelle 1.3.1-6 Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von 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 2005 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 2005 0,13 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,37 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1,0 μSv ; dies sind ca. 0,04%, 0,1% bzw. 0,3% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,27 μSv für Erwachsene, 0,01 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 3,1 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,09%, 0,3% bzw. 1% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2005 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.3-1-7 Strahlenexposition im Jahr 2005 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 2005 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	0,13 (0,15)	0,27 (0,3)	<0,1 (<0,1)
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,37 (0,4)	1,0 (1,1)	<0,1 (<0,1)
mit Muttermilch ernährte Säuglinge	1,0 (1,2)	3,1 (3,7)	<0,1 (<0,1)

Bewertung

Die für 2005 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 5% 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 2005 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*)

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes für IMIS (ZdB) bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind in Teil A - II - 2.1 des Berichts enthalten.

Messungen im Rahmen der Spurenanalyse dienen der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen sowie der Beobachtung von Langzeittrends. Diese Messungen werden vom BfS in Freiburg, dem DWD, der PTB in Braunschweig und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg 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 2005 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.

Der über 17 Messstationen des DWD errechnete arithmetische Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivitätskonzentration in der Luft ergab für das Jahr 2005 einen Wert von 0,7 mBq/m³ (2004: 0,5 mBq/m³). Dieser Wert liegt innerhalb des Bereiches, in dem die Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der bodennahen Luft schwanken.

Edelgase

Die am BfS durchgeführten Messungen des radioaktiven Xenons ergaben keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen der radioaktiven Xenonisotope lagen an den 7 deutschen Probenentnahmestationen, 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 der radioaktiven Xenonisotope am Probenentnahmeort Freiburg dargestellt.

Der Grundpegel von Krypton-85 ist über die letzten Jahre weiter leicht angestiegen (siehe Abbildung 2.1.1-2), da die Freisetzungsrate von Kr-85 größer ist als seine Zerfallsrate. Der jährliche Anstieg von ca. 30 mBq/m³ Luft entspricht dem globalen Trend. Ohne Berücksichtigung der kurzzeitigen Schwankungen ergibt sich für den Probenentnahmeort Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen – der Grundpegel der Kr-85 Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft, gemittelt über die letzten Jahre, zu 1,5 Bq/m³. Kurzzeitige Erhöhungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. 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.

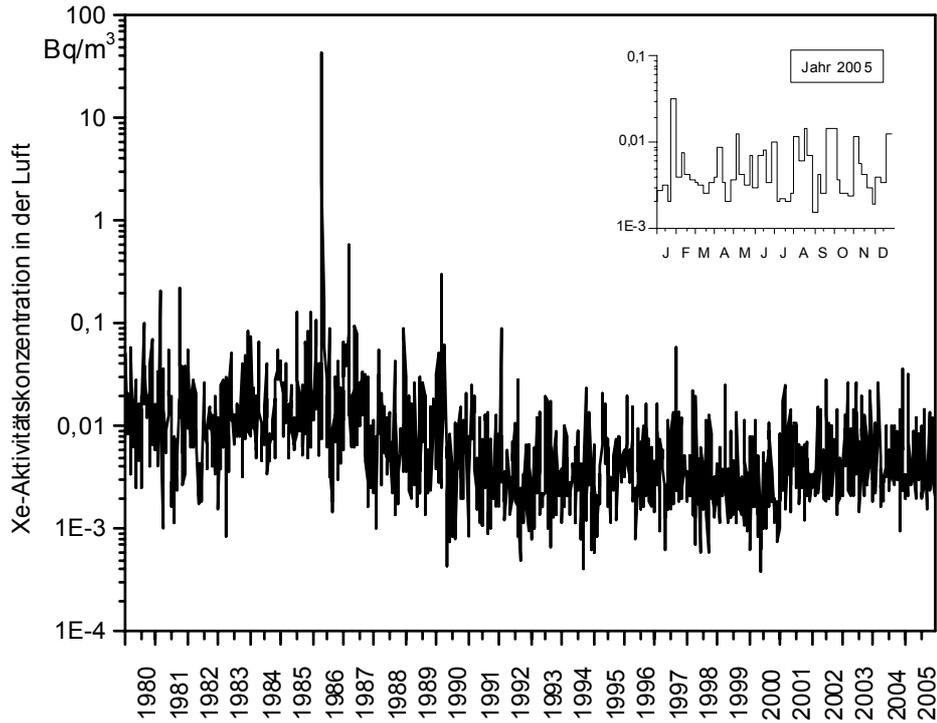


Abbildung 2.1.1-1 Xenon-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Xenon activity concentration in air close to ground level at the sampling location in Freiburg)

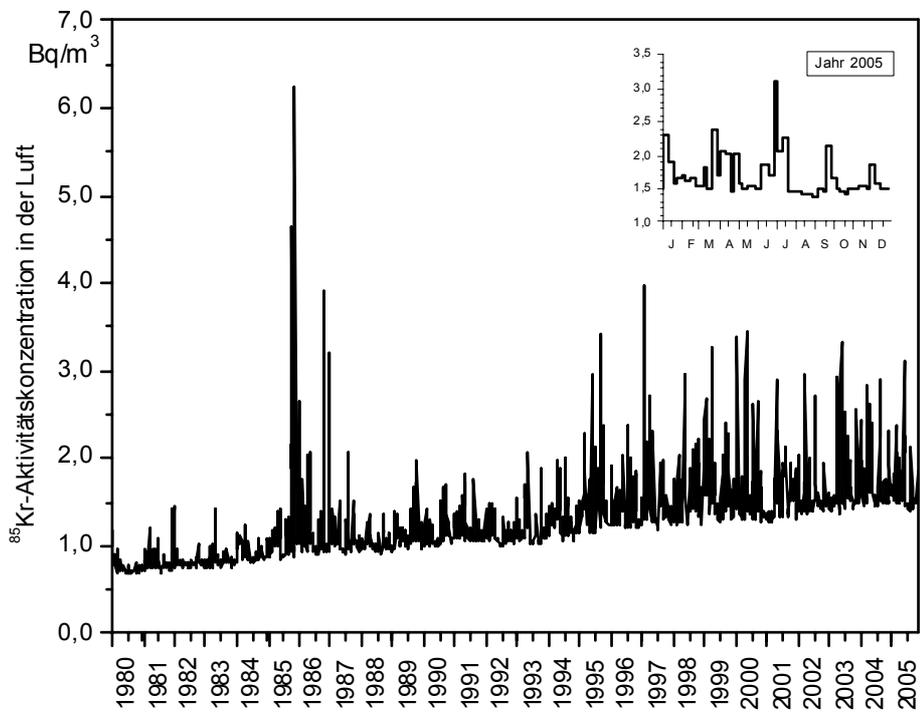


Abbildung 2.1.1-2 Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

Gammaskpektrometrie

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

Die Messungen der GSF in München-Neuherberg zeigen ähnliche Aktivitätskonzentrationen wie im vorangegangenen Jahr. Die Aktivitätskonzentration für Cs-137 lag im Jahresmittel bei ca. $1,0 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (s. Tabelle 2.1.1-1b). Bedingt durch die regional stark unterschiedliche Deposition nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl werden im Mittel in Bayern immer noch etwas höhere Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 als im übrigen Deutschland beobachtet.

An der Station Schauinsland des BfS lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 unterhalb $0,35 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 2.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Dieser Wert ist niedriger als der Vorjahreswert ($0,44 \text{Bq}/\text{m}^3$), liegt aber noch im Rahmen der üblichen Schwankungen. Kurzzeitige 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. Darüber hinaus können auch lokale Quellen (z. B. Bodenbearbeitung, Holzfeuer) zu derartigen Erhöhungen der Cs-137 Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft führen. 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 lagen zwischen $0,9$ und $9 \text{mBq}/\text{m}^3$, innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens. Auf Grund der Lage der Station (1200m ü. N.N.) können hier höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des kosmogenen Be-7 erreicht werden als bei niedriger gelegenen Stationen.

Auch in Braunschweig liegen die Messergebnisse im Bereich der Werte, die in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden (vgl. auch Abbildung 2.1-5). In der Abbildung wird am Beispiel der 8. Kalenderwoche deutlich, wie in Folge einer Ostwind-Wetterlage durch den Eintrag von Bodenstaub aus Osteuropa die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der bodennahen Luft im Vergleich zur Aktivitätskonzentration des K-40 ansteigt. Der Anstieg ist dadurch erklärbar, dass dieser Boden in Osteuropa stärker mit Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall kontaminiert ist als der Boden in Braunschweig.

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

a) Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig
Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1996	3161	0,31	9,9	0,95	400
1997	3669	0,37	11,0	0,73	372
1998	3235	0,35	8,4	0,63	298
1999	3361	0,42	8,8	0,50	319
2000	2855	0,35	9,7	0,50	283
2001	2609	0,32	8,3	0,41	273
2002	2530	0,3	9	0,7	310
2003#	2730	0,4	10	0,62	344
2004#	2650	0,3	10	0,35	252
2005#	3300	0,3	10	0,43	434
Januar	2270	0,2	4,7	0,24	202
Februar	2490	0,2	6,1	0,73	576
März	3910	0,4	9,4	0,67	373
April	3990	0,5	9,5	0,55	372
Mai	4160	0,6	9,9	0,24	284
Juni	3960	0,5	9,4	0,26	229
Juli	4110	0,6	11	0,25	273
August	2720	0,3	10	0,21	197
September	3830	0,3	12	0,49	596
Oktober	3610	0,3	16	0,74	1182
November	2040	0,1	5,7	0,31	359
Dezember	2480	0,2	11	0,44	568

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1996	3300	0,4	0,1	2,4	480
1997	3400	0,4	< 0,1	2,2	480
1998	3660	0,5	< 0,11	2,1	400
1999	3320	0,4	< 0,06	1,5	380
2000	3030	0,4	< 0,06	1,7	420
2001	2820	0,34	< 0,059	1,53	417
2002	3040	< 0,31	k. A.	1,44	475
2003	3250	< 0,30	< 0,07	1,61	476
2004#	2590	< 0,28	< 0,07	0,96	352
2005	2970	< 0,40	< 0,07	1,03	494
Januar	1490	< 0,13	< 0,06	0,90	224
Februar	1150	< 0,10	< 0,04	1,39	415
März	1880	< 0,18	< 0,07	1,10	328
April	3470	0,36	< 0,10	0,89	377
Mai	3610	1,73	< 0,08	0,73	332
Juni	5140	0,51	< 0,06	0,76	496
Juli	5140	0,51	< 0,06	0,76	496
August	3530	0,35	< 0,09	0,57	466
September	4070	0,34	< 0,09	0,92	895
Oktober	3030	< 0,27	< 0,11	1,56	1000
November	1840	< 0,19	< 0,08	1,63	616
Dezember	1320	< 0,13	< 0,05	1,19	283

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main 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
1996	3080	< 4,4	2850	< 3,6	3360	< 2,1	3480	< 2,4
1997	3368	< 3,1	3709	< 3,4	3751	< 2,2	3878	< 2,1
1998	2646	< 3,4	3443	< 3,1	3066	< 3,2	3140	< 2,0
1999	2750	< 3,6	3460	< 3,0	3590	< 3,3	3360	< 1,8
2000	2168	< 3,3	2892	< 2,9	2898	< 3,8	2735	< 1,6
2001	1930	< 3,4	2760	< 3,1	2870	< 3,7	2550	< 2,2
2002	2284	< 3,6	2769	1,3	2821	1,6	2803	< 2,6
2003	2233	< 3,7	1451	0,5	1387	0,8	1606	< 2,8
2004	2240	< 4,2	2870	0,4	2510	0,6	2870	< 2,8
2005#	2320	< 4,4	3020	0,4	2840	0,6	3080	< 2,8
Januar	1780	< 3,9	1970	0,4	1890	0,4	2230	< 2,7
Februar	2010	< 3,9	1840	0,8	1960	0,7	2040	< 2,6
März	2720	< 4,2	2510	0,4	3260	0,6	3420	< 2,6
April	3020	< 4,7	4170	0,5	3590	0,7	3830	< 2,6
Mai	2960	< 4,3	2910	0,3	3740	0,7	3920	< 2,6
Juni	2190	< 2,8	3640	0,2	3480	0,4	4050	< 2,8
Juli	2940	< 2,4	4440	0,3	3770	0,4	3590	< 2,8
August	1800	< 5,4	2810	0,2	2550	0,4	2360	< 3,0
Sept.	2450	< 6,3	3800	0,4	3350	0,9	3870	< 3,5
Oktober	2780	< 6,0	3200	0,9	2860	0,9	2920	< 2,8
November	1830	< 5,3	2420	0,5	2170	0,6	2400	< 2,9
Dezember	1330	< 4,2	2600	0,5	1520	0,6	2270	< 3,2

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	
	Be-7	Cs-137
1996	3454	0,4
1997	4916	0,6
1998	4488	1,0
1999	4106	0,63
2000	3754	0,47
2001	3494	0,43
2002	3767	0,45
2003#	4540	0,6
2004#	3870	0,44
2005#	4050	< 0,35
Januar	2900	0,28
Februar	2040	0,37
März	4050	0,41
April	4050	0,36
Mai	4600	0,29
Juni	5710	0,35
Juli	5800	0,48
August	3550	0,26
September	4870	< 0,44
Oktober	4530	0,38
November	3850	0,22
Dezember	2630	< 0,25

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

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m^3			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1996	1438	5,1	1466	5,9
1997	1580	5,8	1590	6,8
1998	1623	5,1	1619	4,3
1999	1699	3,6	1736	5,0
2000	1641	3,4	1692	5,6
2001	1573	5,4	1593	8,0
2002	1604	5,0	1695	5,7
2003#	1700	7,5	1680	6,5
2004#	1780	6,0	1790	5,9
2005#	1690	5,6	1652	4,9
Januar	1820	2,6	1670	3,7
Februar	1660	12,3	1650	11,3
März	1610	3,3	1610	2,8
April	1930	4,3	1760	4,1
Mai	1660	5,8	1700	5,9
Juni	1690	5,8	1690	7,6
Juli	2220	4,2	2100	4,2
August	1440	8,8	1430	1,3
September	1580	3,9	1550	2,9
Oktober	1520	5,1	1480	3,5
November	1530	6,1	1530	4,9
Dezember	1580	5,0	1650	6,3

Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

Die Messergebnisse von Beryllium-7 und Cäsium-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 0,2 und 0,9 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ nachweisen. Die Aktivitätskonzentration für das kosmogene Be-7 lag mit Werten zwischen 1,5 und 4,4 mBq/m^3 Luft im üblichen Schwankungsbereich. An allen Messstationen ist eine leichte Erhöhung der Aktivitätskonzentration von Be-7 im 2. und 3. Quartal festzustellen, die auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückzuführen ist.

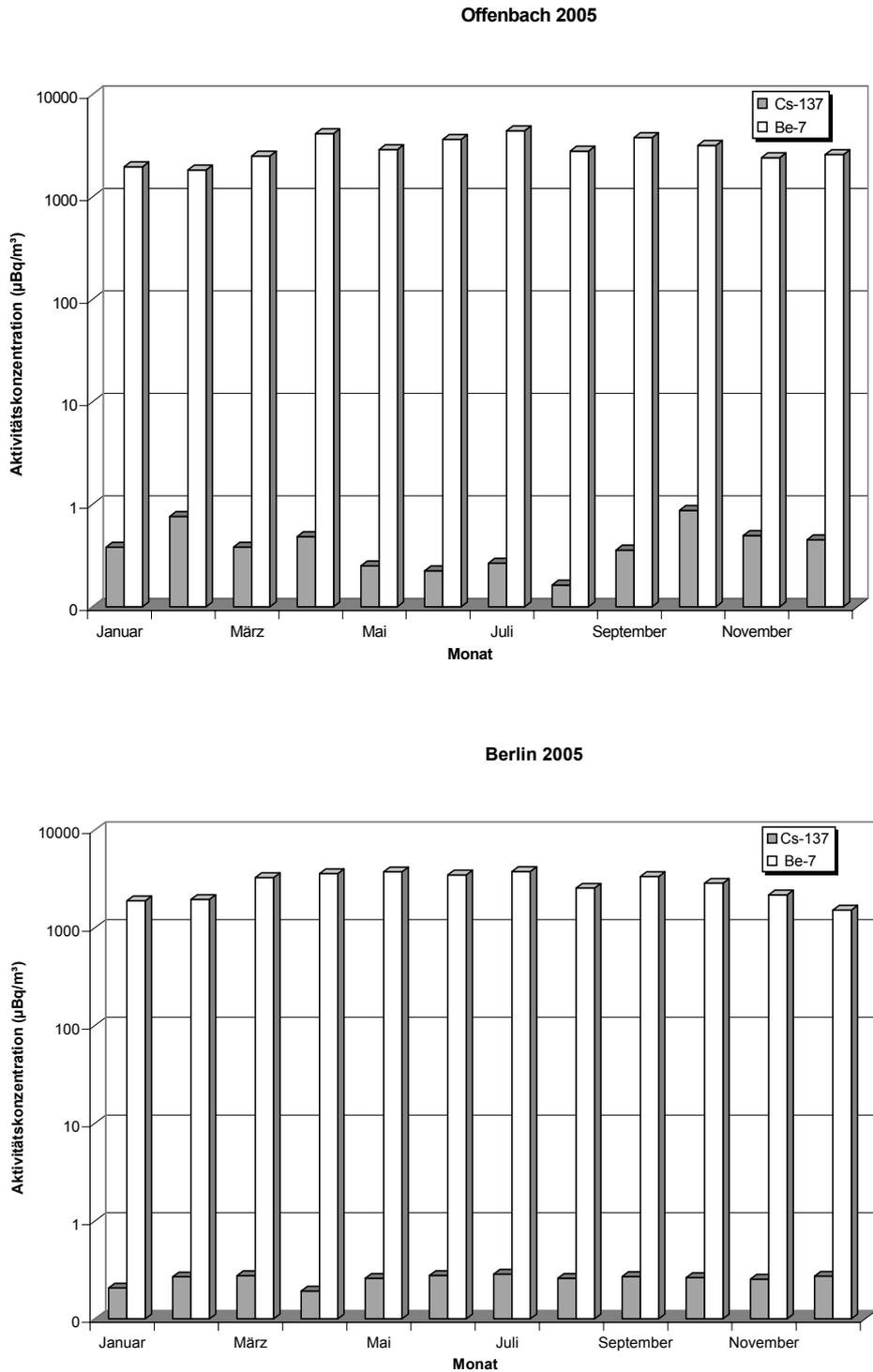


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2005 - DWD-Stationen Berlin und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2005 at the DWD stations in Berlin and Offenbach)

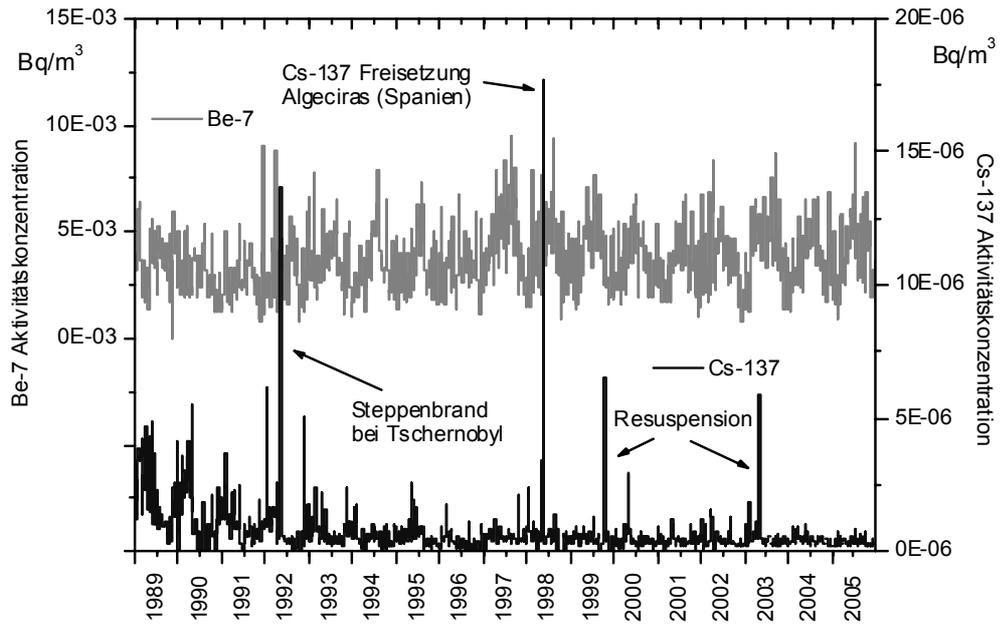


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft (Probenentnahmeort: Messstation Schauinsland)
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level at Schauinsland measuring station)

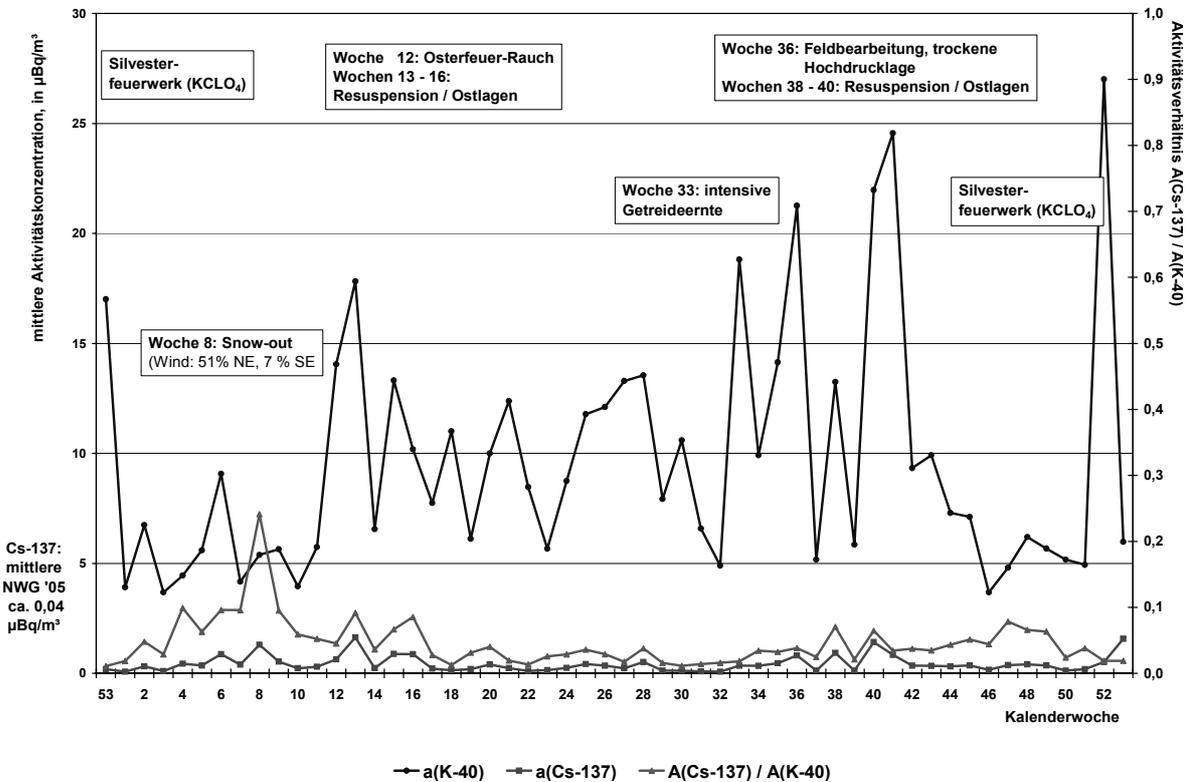


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2005 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2005)

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter von 4 Messstationen zur Bestimmung von Strontium-90, Uran-, Plutonium- und Americium-Isotopen in Monatsmischproben radiochemisch analysiert. Die erreichten Nachweisgrenzen für Uran- und Plutoniumisotope betragen zwischen 0,02 und 0,06 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft, für Sr-90 zwischen 6 und 800 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft.

Die Messreihe der PTB (vgl. Abbildung 2.1.1-6) zeigt auch 2005 bei den Aktivitätskonzentrationen der Plutonium-Isotope Pu-(239+240) und Pu-238 keine auffälligen Abweichungen vom bisherigen zeitlichen Verlauf der Messwerte seit 1990. Die Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu-(239+240) liegen in den Proben meistens mit Werten zwischen 5% und 22% im üblichen Schwankungsbereich des Beobachtungszeitraumes seit 1990. Die Aktivitätskonzentration der Plutonium-Isotope Pu-(239+240) und Pu-238 zeigen 2005 keine auffälligen Abweichungen vom zeitlichen Verlauf seit 1990.

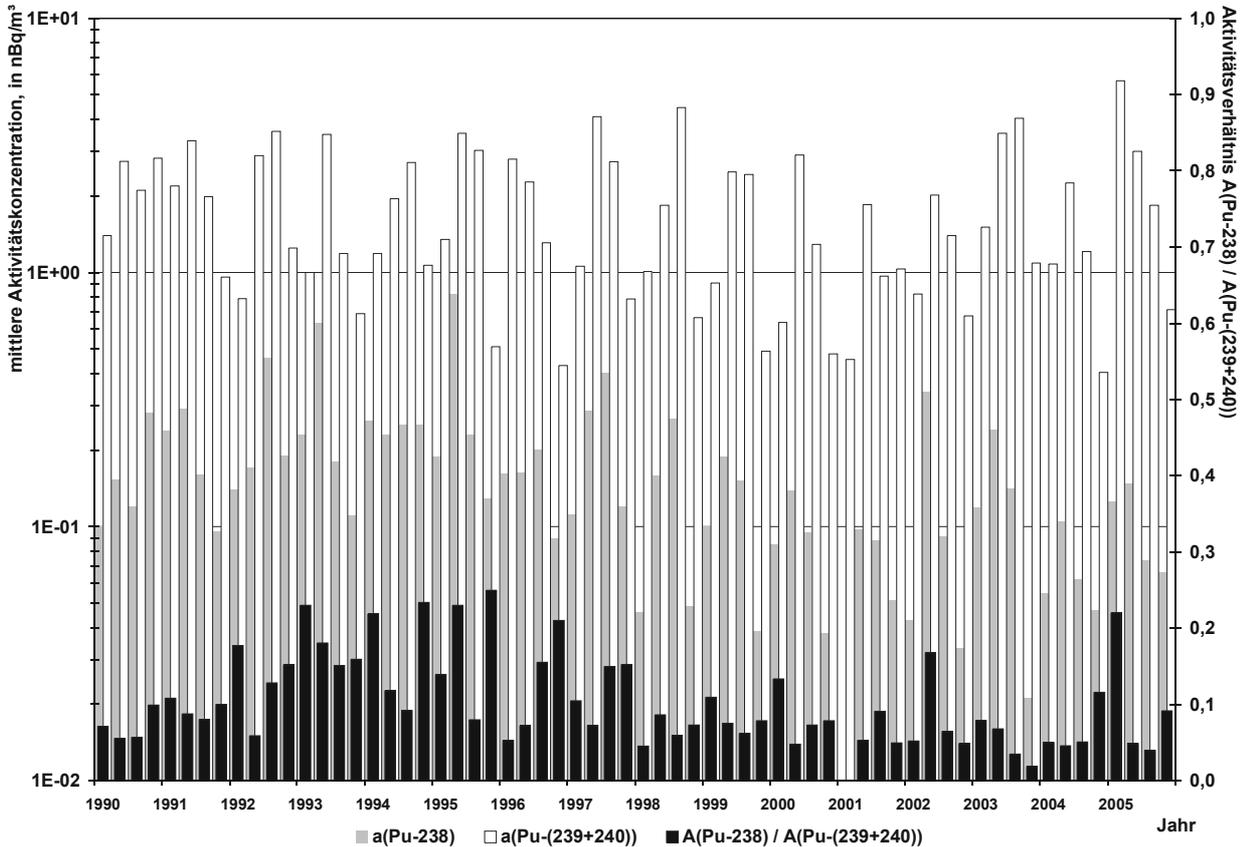


Abbildung 2.1.1-6 Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von Plutoniumisotopen in der bodennahen Luft 1990 - 2005 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of plutonium isotopes in ground-level air at the sampling site Braunschweig 1990 - 2005)

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

Gesamt- β -Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde auch in 2005 die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2005 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 58 Bq/m^2 (2004: 56 Bq/m^2).

Die leichte Erhöhung ist durch die Messunsicherheiten zu erklären. Damit ist keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt, im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 2.1.2-1 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2005 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 2.1.2-2.

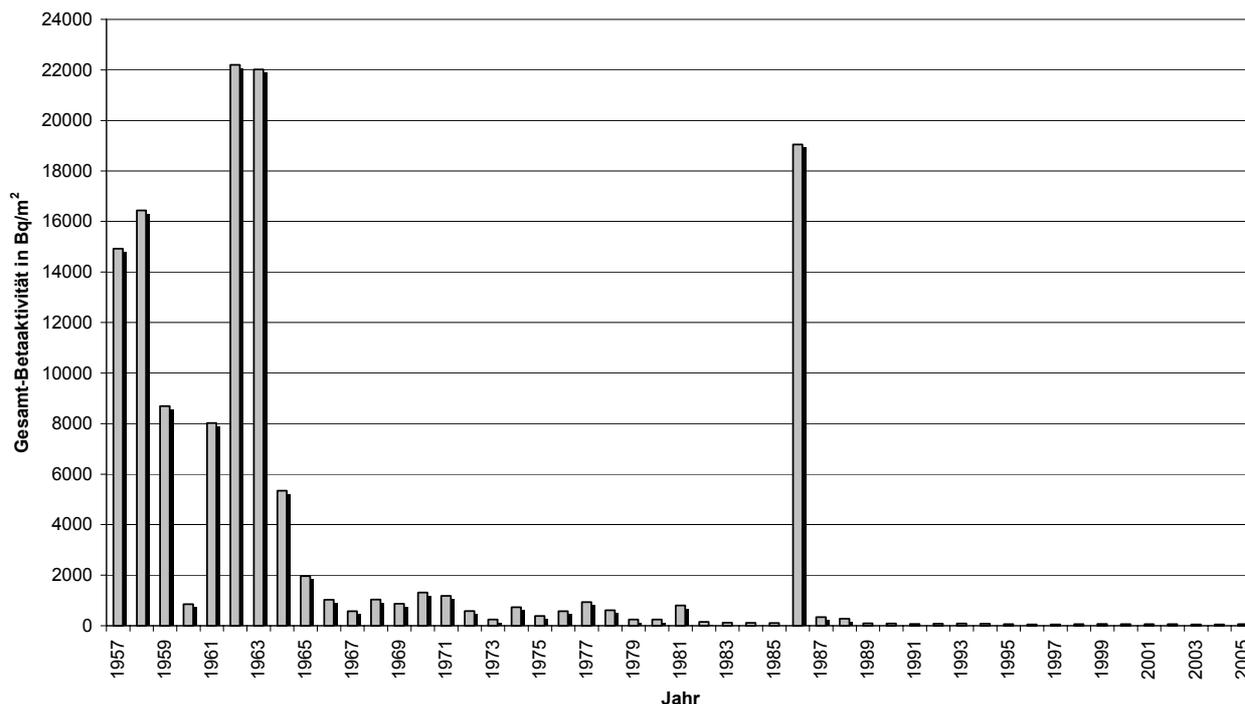


Abbildung 2.1.2-1 Langlebige Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messtationen von 1957 bis 2005
(Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2005)

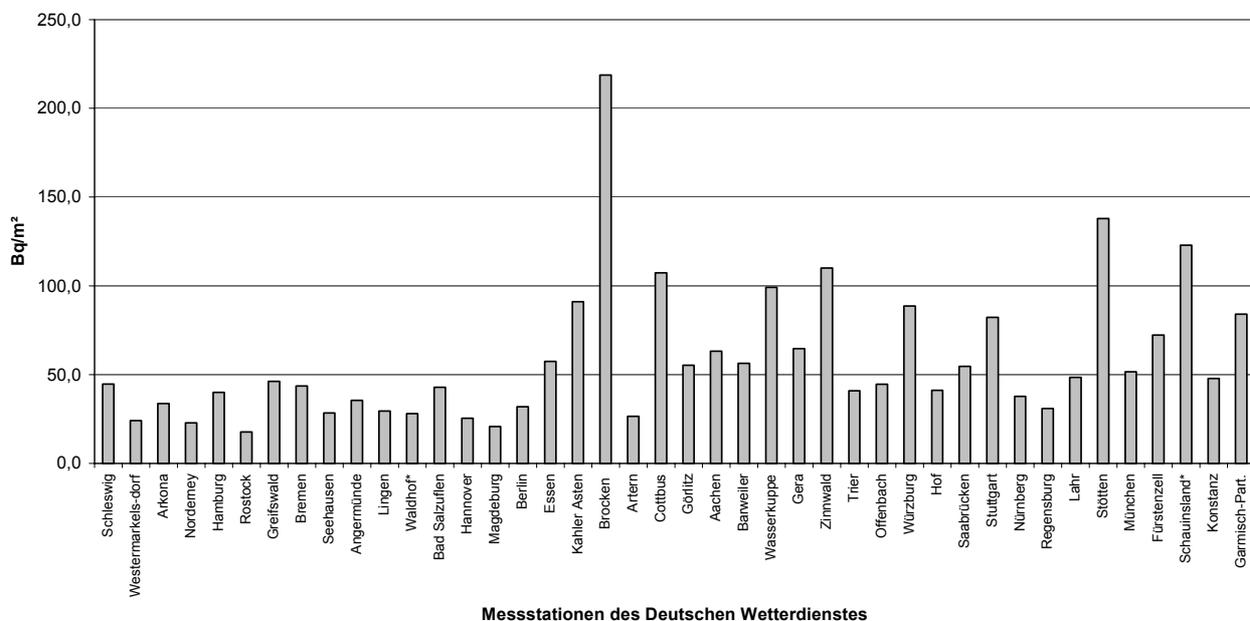


Abbildung 2.1.2-2 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2005 zugeführte langlebige Gesamt- β -Aktivität – stationsspezifische Jahressummen
(Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2005)

Gammaskpektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für Cs-137 lagen zwischen 0,1 bis 7,4 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 1b) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2005 ähnlich denen im Jahr 2004. Die 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 wurden Werte für die Nachweisgrenze zwischen 0,01 Bq/m² und 0,14 Bq/m² ermittelt, während für kosmogenes Be-7 Messwerte zwischen 8 und 110 Bq/m² bestimmt wurden.

Die von der GSF ermittelten Werte für die Gesamtdosition von Einzelnucliden am Probenentnahmeort München-Neuherberg sind Tabelle 2.1.2-2a) zu entnehmen.

**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		
	Deposition in Bq/m ²			Deposition in Bq/m ²		
	l/m ²	Be-7	Cs-137	l/m ²	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
Januar	33,6	31	< 0,04	56,3	22	< 0,13
Februar	24,6	30	< 0,04	40,3	29	< 0,11
März	17,5	15	< 0,04	16,5	7	< 0,12
April	99,0	110	< 0,05	11,8	4	< 0,09
Mai	89,1	104	0,023	77,8	45	< 0,1
Juni	66,0	92	< 0,04	29,8	14	< 0,1
Juli	46,0	64	< 0,06	138,8	53	< 0,17
August	49,2	72	< 0,03	55,7	45	< 0,11
September	56,0	52	< 0,03	53,9	33	< 0,12
Oktober	10,0	10	< 0,04	39,0	20	< 0,12
November	22,4	19	< 0,03	19,7	8	< 0,1
Dezember	45,8	40	< 0,04	50,6	28	< 0,12

< : 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
Januar	73,8	64	< 0,09	80,5	67	<0,1
Februar	77,9	52	< 0,05	57,3	46	<0,1
März	39,1	28	< 0,05	65,9	32	<0,09
April	59,1	61	< 0,09	37,2	24	<0,14
Mai	63,7	84	< 0,05	59,5	48	<0,09
Juni	57,4	119	< 0,07	54,6	84	<0,06
Juli	62,6	75	< 0,07	109,1	76	<0,08
August	64,3	63	< 0,07	58,7	47	<0,08
September	70,5	61	< 0,08	40,9	47	<0,08
Oktober	50,2	45	< 0,07	69,9	61	<0,09
November	43,4	65	< 0,08	54,2	54	<0,09
Dezember	54,4	72	< 0,08	75,3	84	<0,08

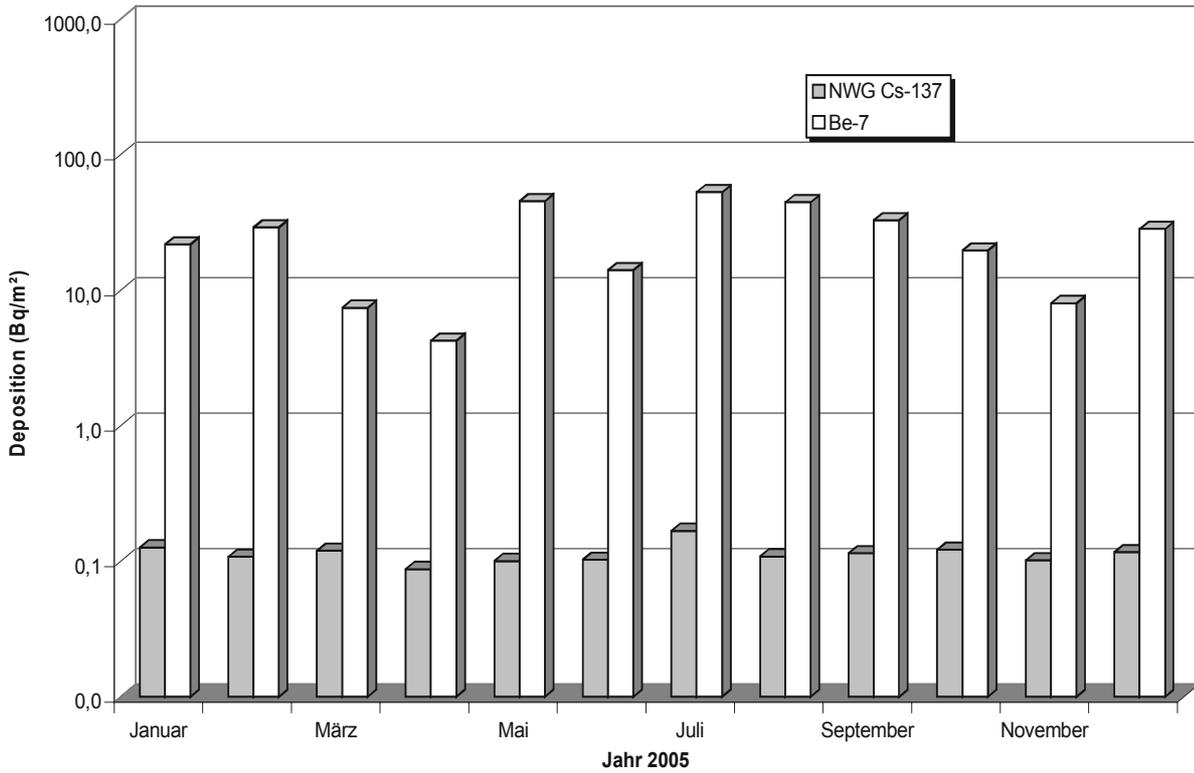
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

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

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

Zeitraum	München-Neuherberg	
	Deposition in Bq/m ²	
	Be-7	Cs-137
2005	1536,2	0,4902
Januar	45,5	0,0329
Februar	61,0	0,0304
März	60,0	0,0220
April	147,5	0,0536
Mai	242,5	0,0657
Juni	202,5	0,0566
Juli	383,5	0,0933
August	62,2	0,0375
September	132,8	0,0238
Oktober	52,1	0,0200
November	65,6	0,0240
Dezember	81,5	0,0304

Deposition Berlin 2005



Deposition Offenbach 2005

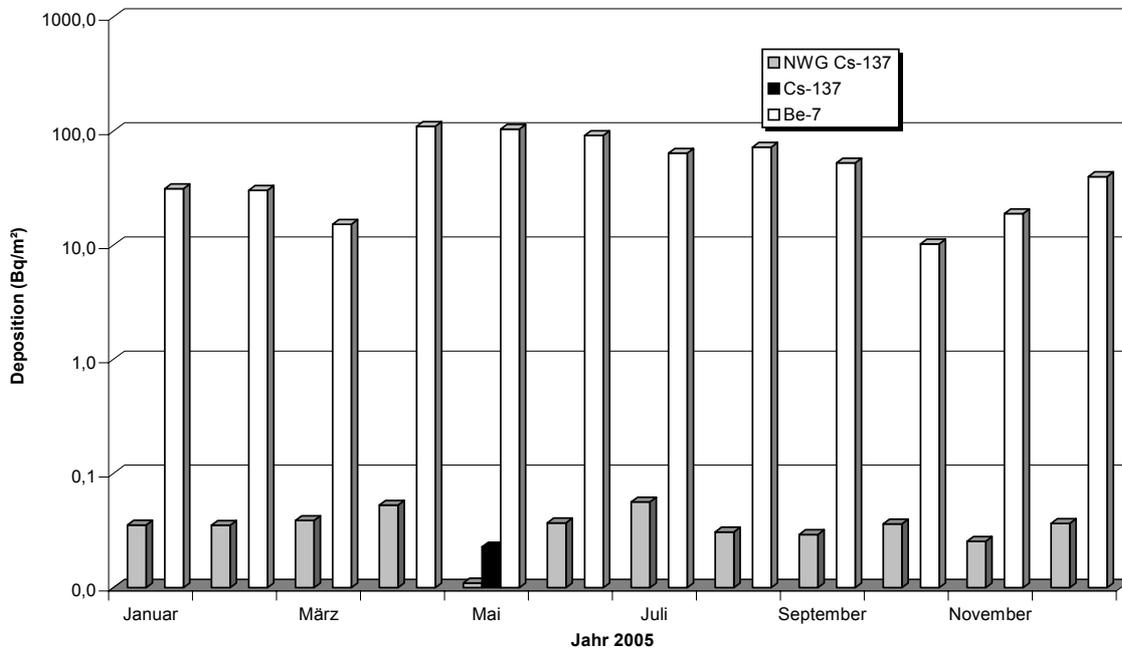


Abbildung 2.1.2-3 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2005
 DWD-Stationen Berlin und Offenbach
(Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2005 – DWD stations in Berlin and Offenbach)

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben von mindestens 4 Messstationen bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, Tritium sowie die Isotope von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Probenmenge für Sr-90 ca. 0,07 bis 1,4 mBq/l, für die α -Strahler zwischen 0,02 bis 0,2 mBq/l und für Tritium 0,5 Bq/l.

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 (Abbildung 2.1.3-1, Karte der mittleren γ -Ortsdosisleistung 2005). Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 Höhenmeter.

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 beobachtet werden, 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 diese Standorte typischen Werte ein.

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren. Dazu gehören wiederkehrende Sondenprüfungen, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. In den nächsten Jahren ist eine umfangreiche Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung (Linux-basierender Messdatenlogger) und Datenfernübertragung im Messnetz geplant.

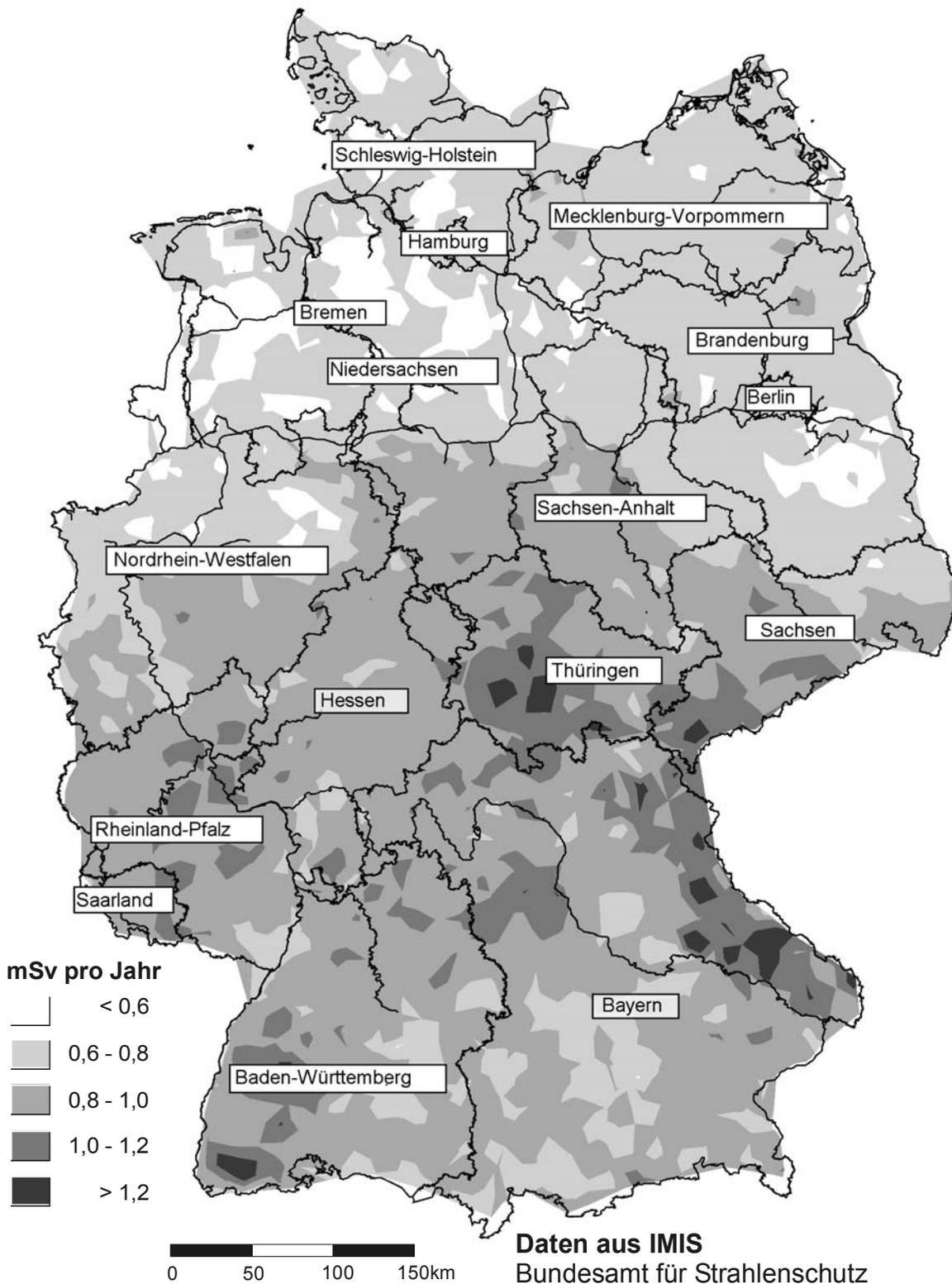


Abbildung 2.1.3-1 Mittlere γ -Ortsdosisleistung im Jahr 2005 in Deutschland
(Mean ambient γ -dose rate in the area of Germany – year 2005)

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 Jod-131 und von schwebstoffgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 2 mBq/m^3 und bei den schwebstoffgebundenen Radionukliden für Cobalt-60 bei $0,4 \text{ mBq/m}^3$.

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131 haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert (Tabelle 2.1.4-1).

Bezugsnuclid für die Überwachung der Aktivitätskonzentration der Luft ist Cobalt-60. Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 lagen 2004 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 2.1.4-2).

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Ortsdosisleistung (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. Zum Einen können stark differierende Eigennulleffekte der Messgeräte oder die Überschätzung der kosmischen Komponente des Strahlungsfeldes hierfür der Grund sein oder zum Anderen bauartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit.

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.

**Tabelle 2.1.4-1 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous iodine-131)**

(in mBq/m^3 Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		Jod-131 (mBq/m^3)						
BER Berlin	2	<0,31	<0,2	<0,31	<0,32	[<0,22] ⁶	<0,33	[<0,32] ⁹
KKB Brunsbüttel	2	-	[<0,2] ⁹	<0,2	<0,15	[<0,21] ³	<0,32	[<0,29] ⁹
KBR Brokdorf	2	-	<0,54	<0,43	<0,40	[<0,35] ³	<0,39	[<0,36] ⁹
KKK Krümmel	3	-	<0,36	<0,36	<0,39	[<0,38] ³	<0,37	[<0,39] ⁹
GKSS Geesthacht	1	-	[<0,43] ⁶	<0,45	<0,43	[<0,24] ³	<0,24	[<0,24] ⁹
KKS Stade	1	<0,37	-	-	-	[<0,45] ⁶	[<0,41] ⁹	[<0,28] ⁹
KKU Unterweser	2	<2,00	<2,00	[<2,00] ^{6,d}	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
KWG Grohnde	3	<0,47		[<0,69] ⁹	<0,65	<0,58	<0,59	<0,61
KKE Emsland	2	<0,37		[<0,31] ⁹	<0,32	<0,32	<0,3	<0,32
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	3	0,25**	0,76**	0,72**	0,68**	1,2**	<2,0	0,36**
THTR Hamm-Uentrop	2	*	*	*	*	*	*	*
KWB Biblis	2	<0,57	[<0,65] ⁹	[<0,76] ⁹	-	[<0,74] ⁹	[<0,56] ⁶	[<0,7] ³
KKP Philippsburg	4	<0,60	<0,62	<0,64	[<0,53] ⁹	<0,53	<0,49	<0,49
KWO Obrigheim	3	<0,79	<0,85	<0,86	<0,82	<0,64	<0,37	<0,34
GKN Neckarwestheim	2	<0,64	<0,60	<0,59	[<0,61] ⁹	<0,6	<0,65	<0,73
FZ Karlsruhe		*	*	*	*	*	*	*
KKI Isar	3	-	-	-	-	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	-	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	-	-	-	-
KGR Greifswald	2	<0,07	<0,27	[<0,76] [*]	*	*	*	*
VKTA Rossendorf	1	<0,06	<0,1	[<0,06] ⁹	<0,08	<0,06	<0,06	[<0,35] ⁶
KKR Rheinsberg		*	*	*	*	*	*	*
KMK Mühlheim-Kärlich	2	<0,18	*	*	*	*	*	*

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

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

* Messungen eingestellt

** Jahreswert einer Messstelle, die Werte lagen sonst unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 2 mBq/m^3

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

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	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
		Co-60 (mBq/m ³)						
BER Berlin	2	<0,016	<0,08	<0,02	<0,02	[<0,02] ³	<0,02	[<0,02] ⁹
KKB Brunsbüttel	2	-	[<0,06] ⁶	<0,06	<0,06	[<0,06] ³	<0,06	[<0,05] ⁹
KBR Brokdorf	2	-	[0,19] ⁶	<0,19	<0,19	[<0,16] ³	<0,18	[<0,17] ⁹
KKK Krümmel	3	-	[<0,08] ⁶	<0,07	<0,07	[<0,07] ³	<0,07	[<0,06] ⁹
GKSS Geesthacht	1	-	[<0,19] ⁶	<0,18	<0,14	[<0,03] ³	<0,06	[<0,06] ⁹
KKS Stade	1	<0,21	-	-	-	[<0,28] ⁶	[<0,18] ⁹	[<0,15] ⁹
KKU Unterweser	2	<0,40	<0,40	[<0,40] ^{6,d}	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
KWG Grohne	3	<0,12	-	[<0,12] ⁹	<0,10	<0,11	<0,11	<0,12
KKE Emsland	2	<0,18	-	[<0,18] ⁹	<0,18	<0,17	<0,18	<0,18
KWW Würgassen	2	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
FZ Jülich	3	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	[<0,40] ³	<0,4	<0,4
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,17	<0,11	<0,05	-	-	-	-
KWB Biblis	3	<0,19	[<0,21] ⁹	[<0,21] ⁹	-	[<0,22] ⁹	[<0,17] ⁶	[<0,18] ³
KKP Philippsburg	4	<0,04	<0,04	<0,04	[<0,04] ⁹	<0,04	<0,03	<0,03
KWO Obrigheim	3	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,07	<0,05	<0,05
GKN Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	<0,14	[<0,14] ⁹	<0,14	<0,14	<0,15
FZ Karlsruhe	3	<0,008	<0,01	<0,01	[<0,01] ⁹	[<0,01] ⁹	[<0,01] ⁶	<0,008
KKI Isar	3	-	-	-	-	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	-	-	-	-	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	-	-	-	-	-	-	-
KGR Greifswald	2	<0,13	<0,15	[<0,37] [*]	<0,37	[<0,03] ⁹	<0,002	<0,002
VKTA Rossendorf	3	<0,02	<0,02	[<0,02] ⁹	<0,02	<0,02	<0,002	[<0,002] ⁶
KKR Rheinsberg	2	<0,14	<0,10	<0,09	<0,10	<0,10	<0,09	<0,08
KMK Mühlheim-Kärlich	2	<0,18	<0,16	0,15	<0,20	<0,20	<0,15	[<0,2] ⁶

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

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

* Messungen eingestellt

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

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

**Tabelle 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	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
γ -Ortsdosisleistung in nSv/h								
BER Berlin	2	70	71	71	71	[70] ⁶	72	72
KKB Brunsbüttel	2	78	75	85	[83] ⁶	a	84	82
KBR Brokdorf	2	61	61	60	[60] ³	a	59	60
KKK Krümmel	3	68	53	56	[59] ⁶	a	59	57
GKSS Geesthacht	1	84	84	84	84	92 ^b	[82] ⁶	84
KKS Stade	1	[85] ¹¹			[77] ⁹	[60] ^{6 y}	[59] ^{9 y}	87 ^{MT}
KKU Unterweser	2	83	87	[90] ⁶	90	89	93	94
KWG Grohne	3	85		[88] ⁹	84	86	85	83
KKE Emsland	2	66		[65] ⁹	65	65	74	75
KWW Würgassen	3	*	*	*	*	*	*	*
FZ Jülich	12	64	61	59	58	57	56	62 ^{MT}
THTR Hamm-Uentrop	2	90	89	88	87	86	85	85
KWB Biblis	3	88	[88] ⁹	[90] ⁹	a	[93] ⁹	94	[95] ³
KKP Philippsburg	4	105	105	100	[98] ⁹	[100] ⁹	103	106
KWO Obrigheim	2	72	70	70	82 ^{MT}	105	103	101
GKN Neckarwestheim	2	56	56	56	[55] ⁹	[55] ⁹	53	119 ^{MT}
FZ Karlsruhe	6	84	82	82	[81] ⁹	[80] ³	[81] ⁶	83
KKI Isar ^c	3	a	a	a	a	a	a	a
KKG Grafenrheinfeld ^c	3	a	a	a	a	a	a	a
KRB Gundremmingen II ^c	3	a	a	a	a	a	a	a
KGR Greifswald	20	71	71	77	81	80	81	81
VKTA Rossendorf	3	112	106	[109] ⁹	112	[111] ⁶	112	111
KKR Rheinsberg	4	100	99	99	98	98	94 ^z	87 ^z
KMK Mühlheim-Kärlich	2		110	114	113	117	119	[125] ^{6MT}

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

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

c teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

b zeitweise Messung mit ungeeichetem Leihgerät

MT Austausch des Messsystems

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. Bezugsnuclid ist Cobalt-60.

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

Es wurde kein erhöhter Messwert festgestellt. In Tabelle 2.1.4-4 sind die Nachweisgrenzen bezogen auf Co-60 zusammengefasst.

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	2002 Bq/l	2002 Bq/m ²	2003 Bq/l	2003 Bq/m ²	2004 Bq/l	2004 Bq/m ²	2005 Bq/l	2005 Bq/m ²
BER Berlin	1		<0,32		<0,05		<0,11		[<0,43] ⁹
KKB Brunsbüttel	2		<1,0		[<0,7] ³		<0,9		[<0,81] ⁹
KBR Brokddorf	2		<1,55		[<1,4] ³		<1,7		[<1,3] ⁹
KKK Krümmel	4		<0,5		[<0,28] ³		<0,37		[<0,37] ⁹
GKSS Geesthacht	2		<0,5		[<0,26] ³		<1,7		[<1,7] ⁹
KKS Stade	2		<2,4		<1,2		[<2,7] ⁹		[<2,2] ⁹
KKU Unterweser	2	<0,05	+	<0,05	+	<0,05	+	<0,05	+
KWG Grohne	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+
KKE Emsland	2	<0,02	+	<0,02	+	<0,03	+	<0,03	+
KWW Würgassen	2	<0,005	+	<0,006	+	<0,007	+	<0,006	+
FZ Jülich	1	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-
THTR Hamm-Uentrop	*		*		*		*		*
KWB Biblis	2		<1,4		[<0,82] ¹¹		[<0,68] ⁶		[<0,74] ³
KKP Philippsburg	4		[<1,9] ⁹		<1,1		<1,2		<1,2
KWO Obrigheim	2		<3,1		<1,5		<1,6		<1,3
GKN Neckarwestheim	2	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+	<0,04	+
FZ Karlsruhe	3		[<2,2] ⁹		[<2,5] ⁹		[<1,2] ⁶		<2,7
KKI Isar	-		-		-		-		-
KKG Grafenrheinfeld	-		-		-		-		-
KRB Gundremmingen II	-		-		-		-		-
KGR Greifswald	2		<6,2		<1,2		<2,3		<1,9
VKTA Rossendorf	2		<0,5		<0,25		<0,47		[<0,63] ⁶
KKR Rheinsberg	2		<0,35		<0,33		<0,26		<0,20
KMK Mühlheim-Kärlich	2		<0,8		<0,53		<0,83		[<0,5] ⁶

- keine Messwerte

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

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

N Zahl der Messstationen

* Messungen eingestellt

+ nur Konzentrationsangaben

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 2005 sind in Tabelle 2.1.5-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Schwebstoffe (früher „Aerosole“, Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide Jod-131, Kohlenstoff-14 (¹⁴CO₂-Anteil) und Tritium aufgeführt. Die Jahresableitungen von MZFR, 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 2005 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 Strontium-89 und -90 sowie der α-Strahler Plutonium-238, -239, -240, Americium-241, Curium-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 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2005 mit $2,8 \cdot 10^{13}$ Becquerel unverändert gegenüber 2004, die Summe der Jahresableitungen von Schwebstoffen lag mit $1,5 \cdot 10^8$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $8,3 \cdot 10^7$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2005 mit $1,7 \cdot 10^8$ Becquerel unter dem Vorjahreswert von $2,5 \cdot 10^8$ Becquerel. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Atomkraftwerke.

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 2005 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 werden jährlich etwa 1 Milliarde Kubikmeter Abwetter aus dem untertägigen Kontrollbereich abgegeben. Die Ableitungswerte für radioaktive Stoffe liegen z. T. um Größenordnungen unterhalb der genehmigten Werte.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten α -strahlenden Schwebstoffe ermittelt (Tabelle 2.1.5-8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 2005 nur für die Anlagen in Lingen und Gronau vor und beträgt $3,0 \cdot 10^4$ Becquerel.

Die für das Jahr 2005 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 2005
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2005)

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

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 am 11.5.2005

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 radioaktiven Inventar sowie von Rückbau- und Dekontaminationsarbeiten verursacht.

¹⁴C wird in Tabelle 2.1.5-1 in Form von ¹⁴CO₂ angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes ¹⁴C abgeleitet, dessen Dosisbeitrag vernachlässigbar ist. Die Gesamtsumme an abgeleitetem ¹⁴C über die Fortluft im Jahr 2005 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten Etwa 5,6 E12 Bq.

Tabelle 2.1.5-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2005
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2005)

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

*) Werte der nuklidspezifischen Messung liegen unter der Erkennungsgrenze

	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philipps- burg1	Grafen- rheinfeld	Krümmel	Gundremmingen B, C
Aktivität in Bq								
Ar 41	4,7 E11	6,2 E10	1,4 E08	9,0 E10	1,9 E09	9,9 E10	6,2 E09	2,3 E11
Kr 85m		1,8 E09	2,1 E09	4,1 E08	1,5 E09		1,7 E10	3,6 E09
Kr 85	9,0 E09		1,1 E11	6,4 E10	7,7 E10			1,7 E11
Kr 87		3,6 E10	3,3 E09	2,1 E09	5,8 E09		3,3 E10	5,6 E09
Kr 88	1,0 E09		8,4 E10		2,2 E08			2,7 E09
Kr 89			1,8 E10		9,0 E09			
Xe 131m		1,2 E11	1,8 E09	1,5 E11	1,4 E09			1,7 E11
Xe 133m		5,1 E10	5,3 E09				4,8 E08	5,2 E09
Xe 133	3,0 E09		3,8 E11	2,7 E12	3,7 E11		3,5 E11	1,8 E11
Xe 135m		3,2 E11	9,9 E11		5,7 E11		1,1 E12	3,3 E10
Xe 135	2,1 E10	2,1 E12	3,1 E11	1,8 E11	4,7 E11		7,2 E11	7,7 E10
Xe 137			2,7 E11		3,9 E11			2,7 E10
Xe 138			2,0 E11		2,5 E11		1,9 E12	3,8 E08

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

Tabelle 2.1.5-3 Ableitung radioaktiver Schwebstoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2005 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2005 expressed in becquerel - iodine-131: Table 2.1.5-1)

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

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

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

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

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

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

Tabelle 2.1.5-4 Ableitung radioaktiver Edelgase, von Jod-131 und Schwebstoffen (ohne Jod-131, einschliesslich Strontium und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in den Jahren 1995 bis 2005
(Discharges of radioactive noble gases, of iodine-131 and aerosols (excluding iodine-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 1995 to 2005)

Jahr	Aktivität in Bq			Bruttostromerzeugung in MWa
	Edelgase	Jod-131	Schwebstoffe	
1995	9,8 E13	5,5 E08	5,2 E08	17596
1996	6,2 E13	3,4 E08	3,6 E08	18459
1997	3,8 E13	3,0 E08	3,7 E08	19451
1998	2,7 E13	1,8 E08	2,7 E08	18460
1999	1,9 E13	2,5 E08	1,4 E08	19374
2000	2,6 E13	2,2 E08	1,1 E08	19371
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18816
2003	1,4 E13	1,4 E08	6,2 E07	18847*
2004	2,8 E13	2,5 E08	8,3 E07	19071*
2005	2,8 E13	1,7 E08	1,5 E08	18612*

*) Quelle: Atomwirtschaft

Tabelle 2.1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2005
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2005)

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

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

b) davon Alphastrahler: 1,45 E05 Bq

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2005
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2005)

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

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen

* keine Fortluft mehr abgegeben

Die Jahresableitungen von FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin enthalten (Tabelle 2.1.5-5). Der Forschungsreaktor Braunschweig wurde Ende 1995 endgültig abgeschaltet und der Forschungsreaktor Heidelberg Ende November 1999.

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

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	1,4 E10 (1,4 E10)
Kohlenstoff-14	6,4 E08 (7,3 E08)
langlebige Aerosole	1,1 E06 (9,1 E05)
Radon-Folgeprodukte	5,1 E09 (7,0 E09)

Tabelle 2.1.5-8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2005
(Discharges of radioactive substances - α -activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2005)

Betrieb	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH (Hanau) *)	1,2 E06
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung *)	k. A.
Betriebsteil Uran-Verarbeitung *)	k. A.
ANF GmbH (Lingen)	<1,4 E04
URENCO D (Gronau)	2,9 E04

*) Brennelementeproduktion eingestellt, Gebäude großteils abgerissen

k. A. keine Angabe, Werte lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor

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 dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Damit ist sowohl eine Beschreibung der räumlichen Verteilung als auch des zeitlichen Trends der Kontamination möglich. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Cäsium-137 bzw. Cäsium-134, Strontium-90, Plutonium-239,240, Plutonium-238 und Americium-241 untersucht. Zum Redaktionsschluss lagen eine Reihe von Ergebnissen für die Nuklide Tritium und Tc-99 noch nicht vor.

Meerwasser in der Nordsee

Die Probenahme zur Überwachung der Deutschen Bucht bzw. Nordsee erfolgte 2005 auf Fahrten im Januar, Mai, August und November, wobei im August eine Beprobung der gesamten Nordsee stattfand. 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 niedrige Ableitungen dieser beiden Radionuklide zu verzeichnen sind. Zeitverzögert infolge des Reststroms innerhalb der europäischen Schelfmeere liegen die Konzentration 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 erkennen, wie auch aus Abbildung 2.2.1-3 ersichtlich ist. Der Fallout von Tschernobyl mit seinem charakteristischen Verhältnis der Radionuklide Cs-134 zu 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. $0,2 \text{ Bq/m}^3$).

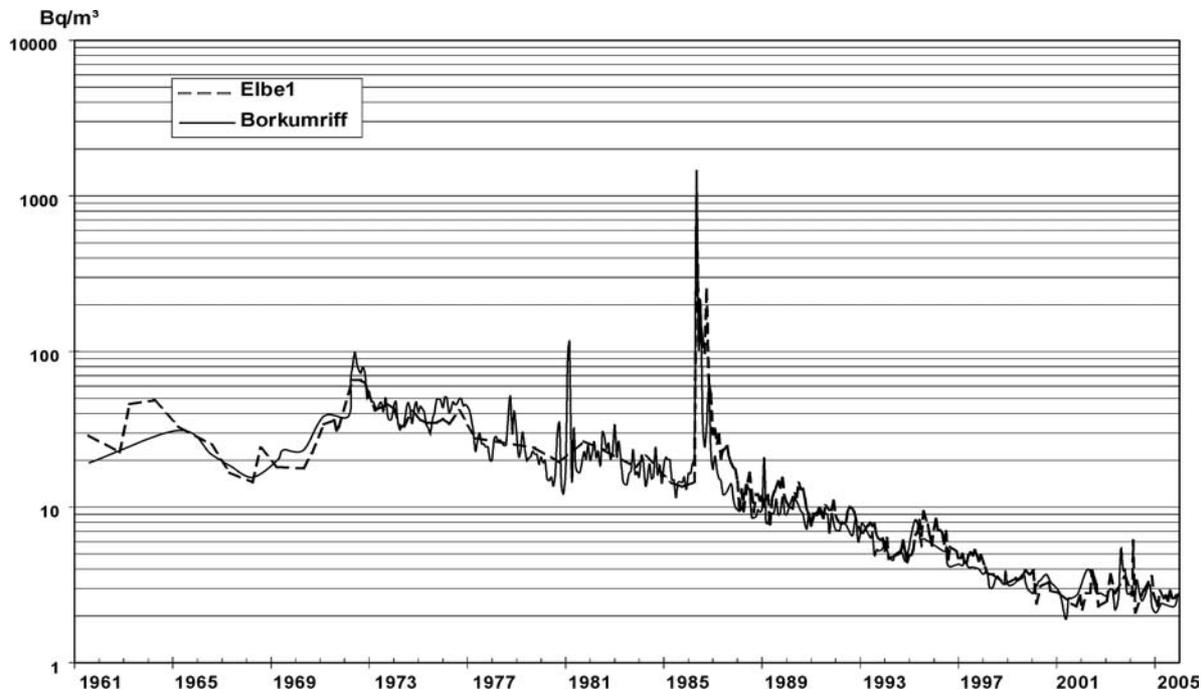


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961

(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 Januar, Mai und November 2005 dargestellt. Die Konzentrationen überstreich einen Bereich von 1,5 an der Elbemündung bis 5,3 Bq/m³ in der mittleren Deutschen Bucht. Im Vergleich mit 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 (0,6 Bq/m³) zeigen, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar. Die geringe Höhe der Einträge aus der Elbe ist darauf zurückzuführen, dass Cs-137 im Vergleich zu Sr-90 an den Tonmineralen der Böden stärker adsorbiert wird und deshalb über die Flüsse weniger eingetragen wird als Sr-90. Die Ergebnisse der Sr-90-Analysen liegen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes leider noch nicht vor. Die Vorjahre zeigten aber, dass aus der Elbe leicht höhere Konzentrationen an Sr-90 zu beobachten waren als für Cs-137.

Im August 2005 wurde eine Beprobung der gesamten Nordsee durchgeführt. Neben den Proben im Rahmen eines Forschungsprojektes, in dem auch I-129 im Wasser der Nordsee und angrenzender Meeresgebiete bestimmt wird, wurden auch Proben für andere Schadstoffe entnommen. Die Ergebnisse der Analysen auf Tc-99, Sr-90 und I-129 liegen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

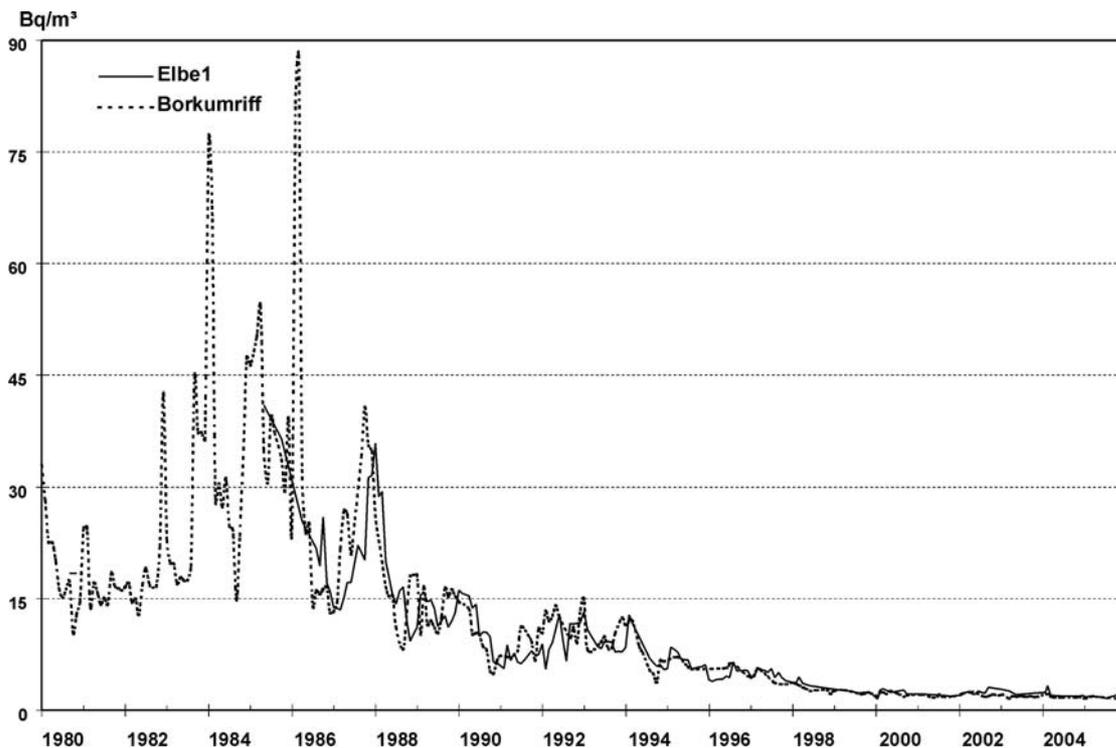


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) at two positions in the German Bight since 1980)

In Abbildung 2.2.1-6 ist die räumliche Verteilung von Pu-(239+240) im August dargestellt. Erwartungsgemäß findet man die niedrigsten Konzentrationen im westlichen Kanal und der nördlichen Nordsee. In der zentralen Nordsee ist der Einfluss aus der Anlage Sellafield noch zu sehen. Fast alle Proben weisen Aktivitätsverhältnisse für das Nuklidverhältnis Pu-238/Pu-(239+240) auf, wie sie für die Ableitungen aus La Hague und Sellafield charakteristisch sind. Aus diesem Verhältnis kann man die Herkunft dieser Nuklide erkennen. Der globale Fallout weist ein Verhältnis von etwa 0,02 bis 0,06 auf, Pu-Isotope aus den Wiederaufbereitungsanlagen liegen mit Verhältnissen von 0,15 bis 0,2 (Sellafield) bzw. 0,4 bis über 0,5 (La Hague) deutlich darüber. Damit dürfte in der Nordsee eine Mischung beider Quellen der Transurane vorliegen, was in den Aktivitätsverhältnissen von deutlich über 0,2 in Abbildung 2.2.1-7 zu sehen ist. Zum Teil werden sogar Verhältnisse über 0,5 ermittelt. In Küstengebieten, in denen höherer Schwebstoffgehalt zu finden ist, werden die Transurane an den Schwebstoff gebunden und deren Konzentration in der Wasserphase gesenkt.

Die Konzentration der Transurane ist jedoch sehr gering und liegt nur geringfügig über dem Niveau des globalen Fallouts des Nordatlantikoberflächenwassers. In der Wasserphase vorhandenes Plutonium wird durch Partikel sehr stark aufgenommen und im Sediment deponiert. Dies gilt im Übrigen auch für Am-241, das noch stärker durch Partikel adsorbiert wird. Dessen Verteilung ist in Abbildung 2.2.1-8 dargestellt. Das in der Nordsee nachgewiesene Plutonium und Americium stellt damit eine Mischung aus globalem Fallout und demjenigen dar, das aus europäischen Wiederaufbereitungsanlagen eingeleitet wurde, wobei inzwischen ein Gleichgewicht zwischen der Wasserphase und resuspendiertem Sediment vorliegen sollte. Diese resuspendierten Partikel werden durch Meeresströmungen weiterverfrachtet. Da-

durch können diese Transurane aus den Wiederaufbereitungsanlagen in der gesamten Nordsee und auch darüber hinaus nachgewiesen werden.

Neben den genannten Transuranen Plutonium und Americium kann im Einstromgebiet entlang der Kontinentalküste das Nuklid Curium-244 nachgewiesen werden.

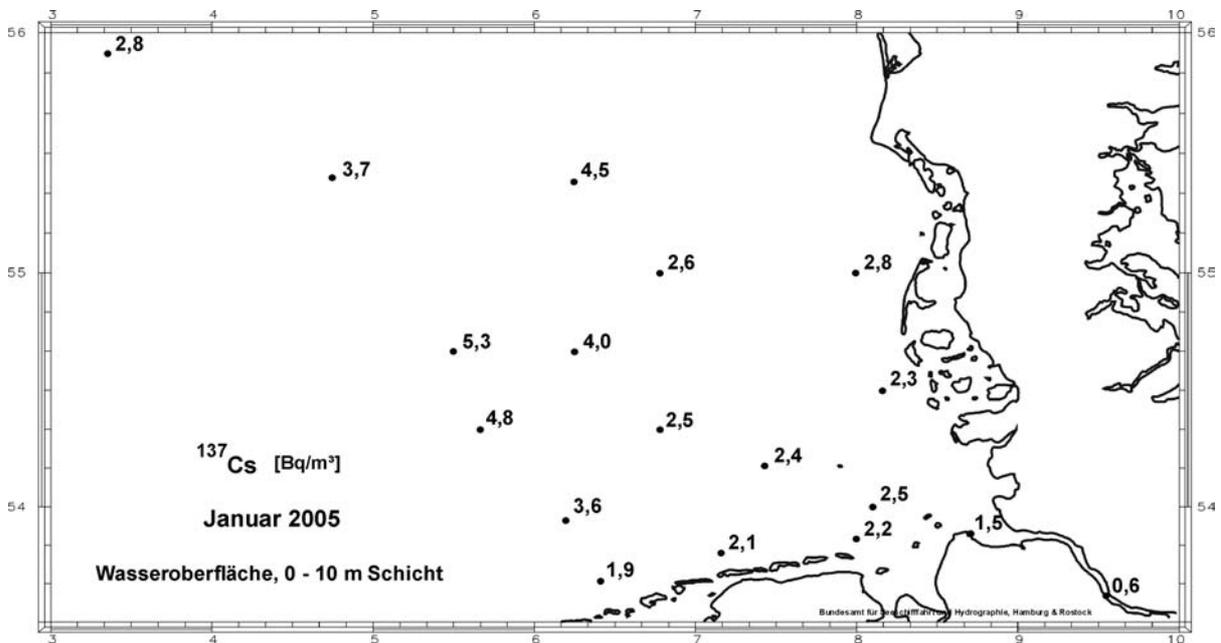


Abbildung 2.2.1-3 Die Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Januar 2005
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in January 2005)

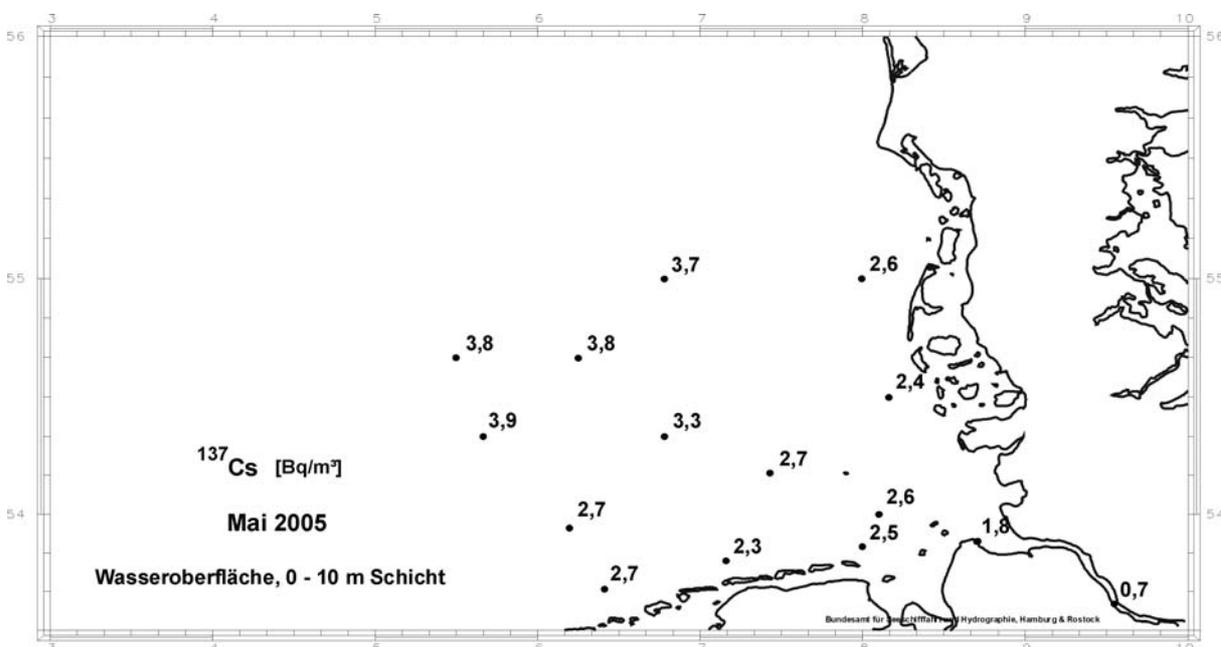


Abbildung 2.2.1-4 Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Mai 2005
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in May 2005)

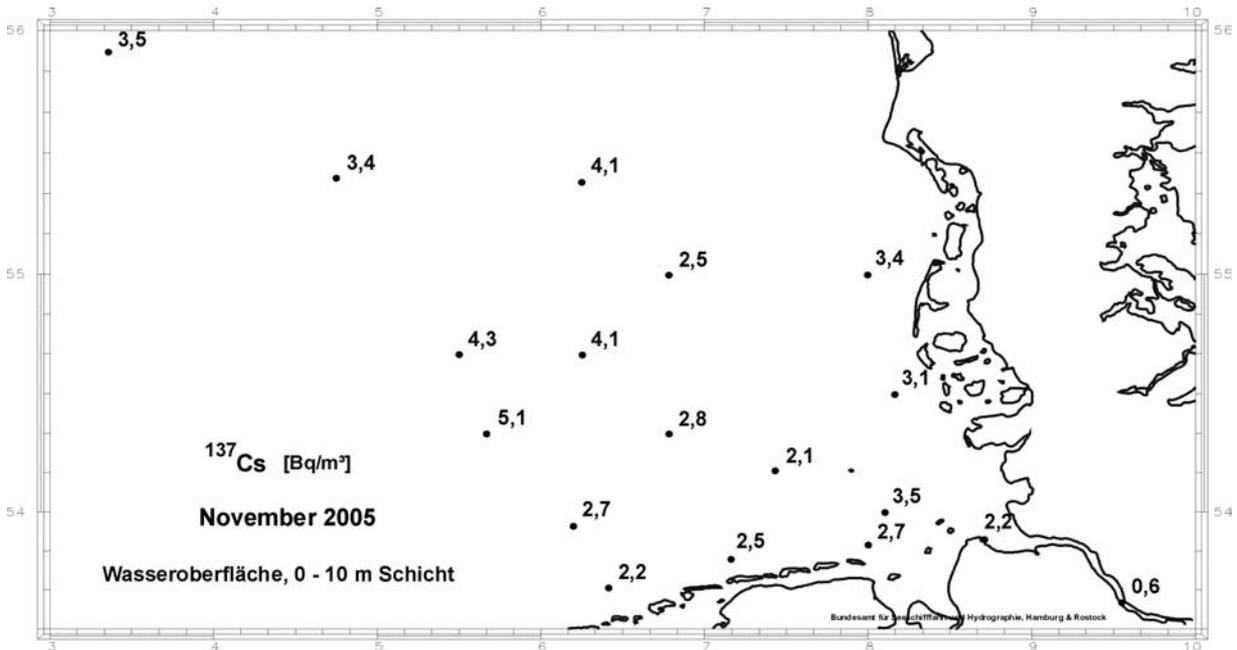


Abbildung 2.2.1-5 Verteilung von Cs-137 (Bq/m^3) im Wasser der Deutschen Bucht im November 2005
(Distribution of Cs-137 (Bq/m^3) in seawater of the German Bight in November 2005)

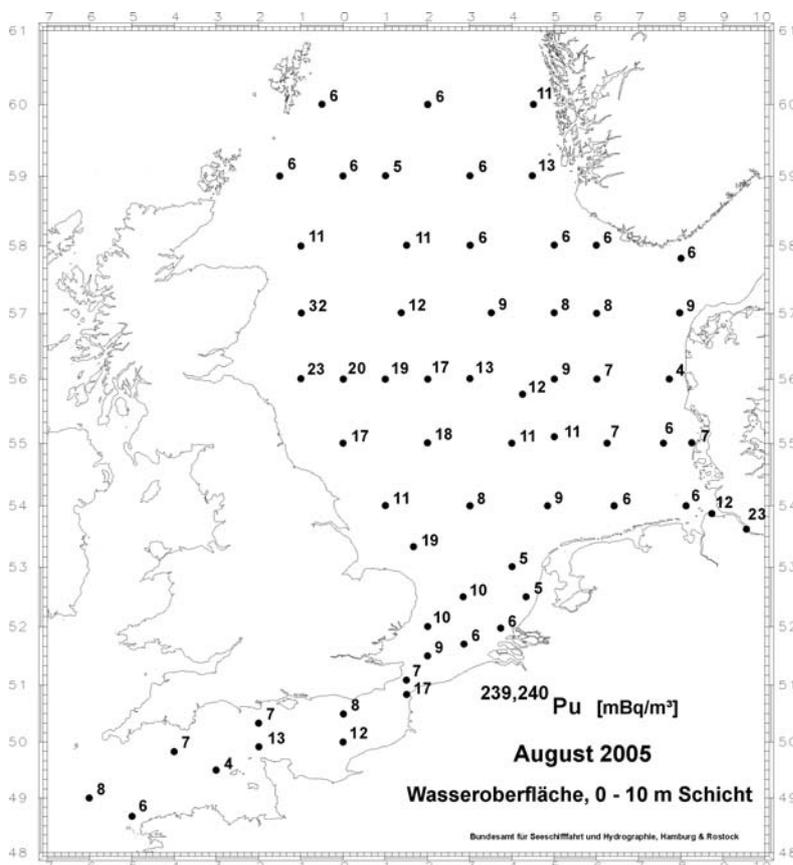


Abbildung 2.2.1-6 Verteilung der Konzentration von Pu-(239+240) (mBq/m^3) im Wasser der Nordsee im August 2005
(Distribution of the Activity Concentration of Pu-(239+240) (mBq/m^3) in seawater of the North Sea in August 2005)

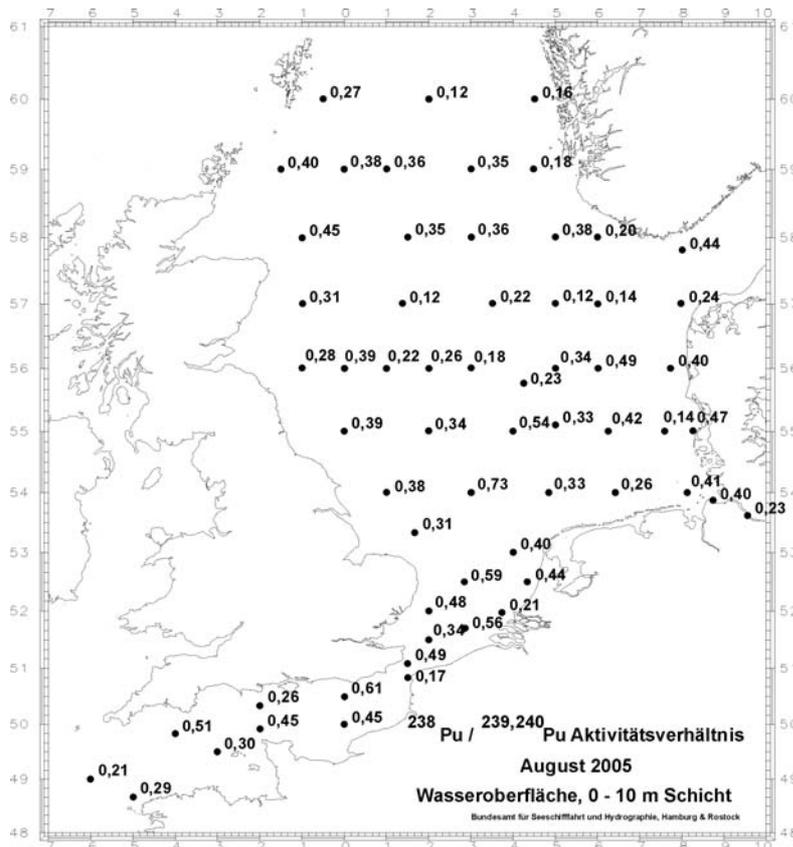


Abbildung 2.2.1-7
 Verteilung der Aktivitätsverhältnisse
 zwischen Pu-238 und Pu-(239+240) im
 Wasser der Nordsee im August 2005
*(Distribution of activity ratios of
 Pu-238 and Pu-(239+240) in seawater
 of the North Sea in August 2005)*

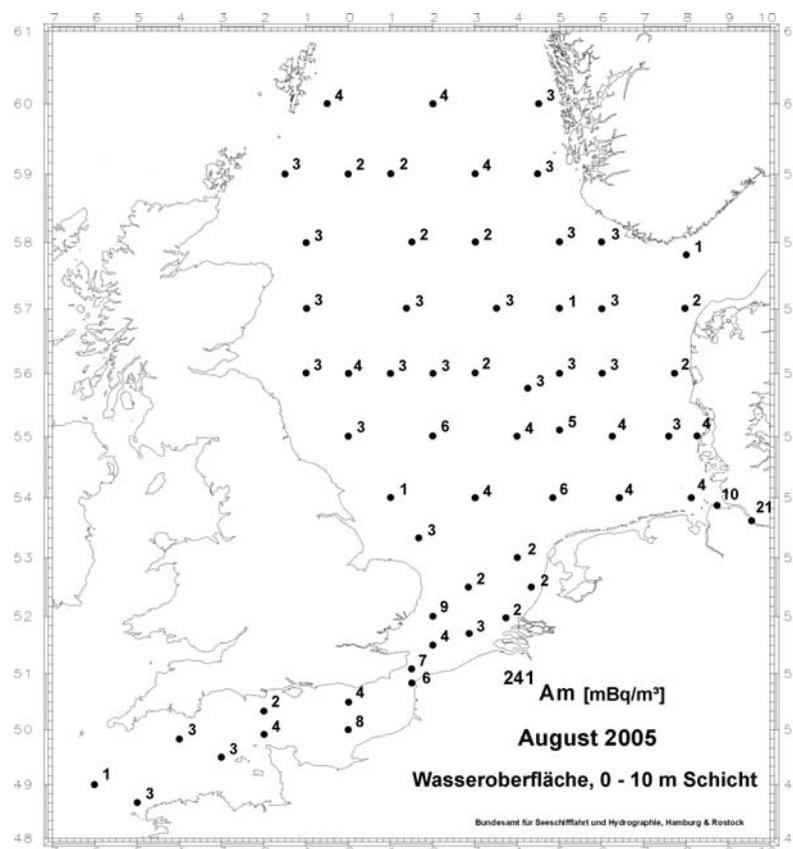


Abbildung 2.2.1-8
 Verteilung der Konzentration von
 Am-241 (mBq/m³) im Wasser der
 Nordsee im August 2005
*(Distribution of the Activity Concen-
 tration of Am-241 (mBq/ m³) in
 seawater of the North Sea in August
 2005)*

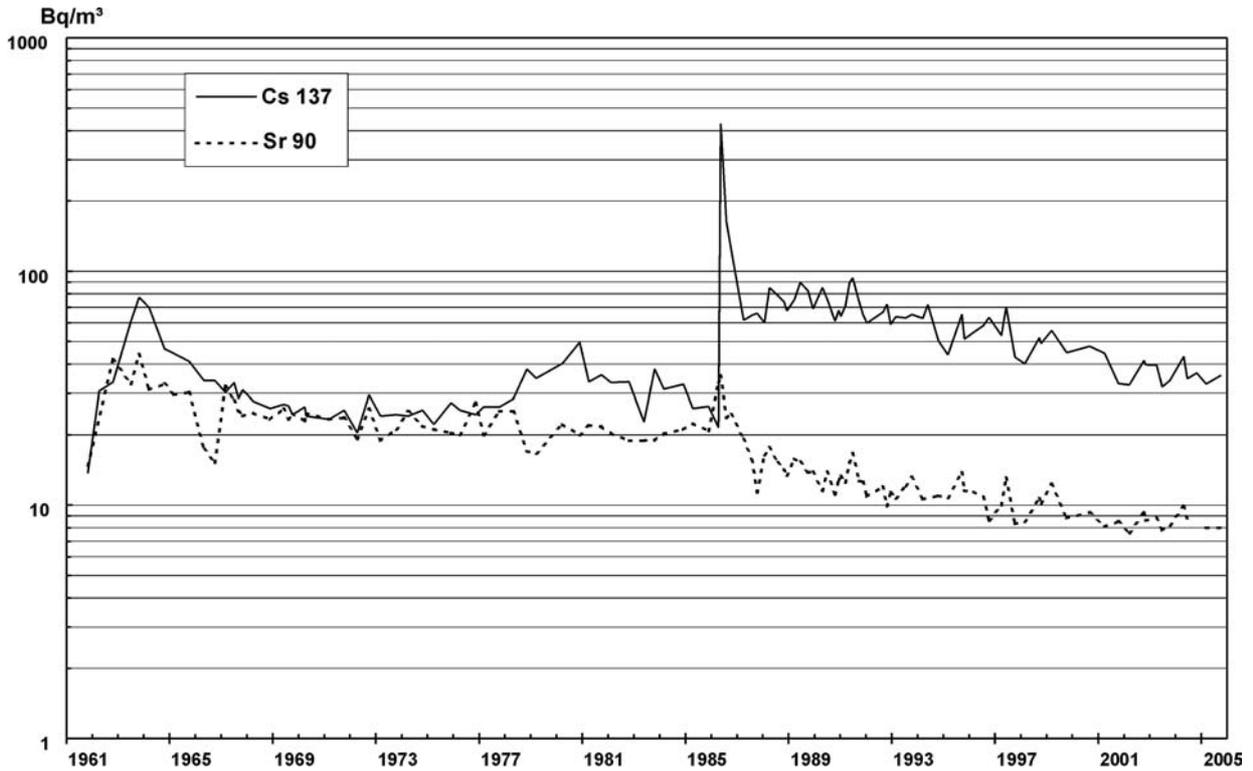


Abbildung 2.2.1-9 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position "Schleimündung" ($54^\circ 40' \text{N}$, $010^\circ 05' \text{O}$) seit 1961
 (Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position "Schleimündung" ($54^\circ 40' \text{N}$, $010^\circ 05' \text{E}$) since 1961)

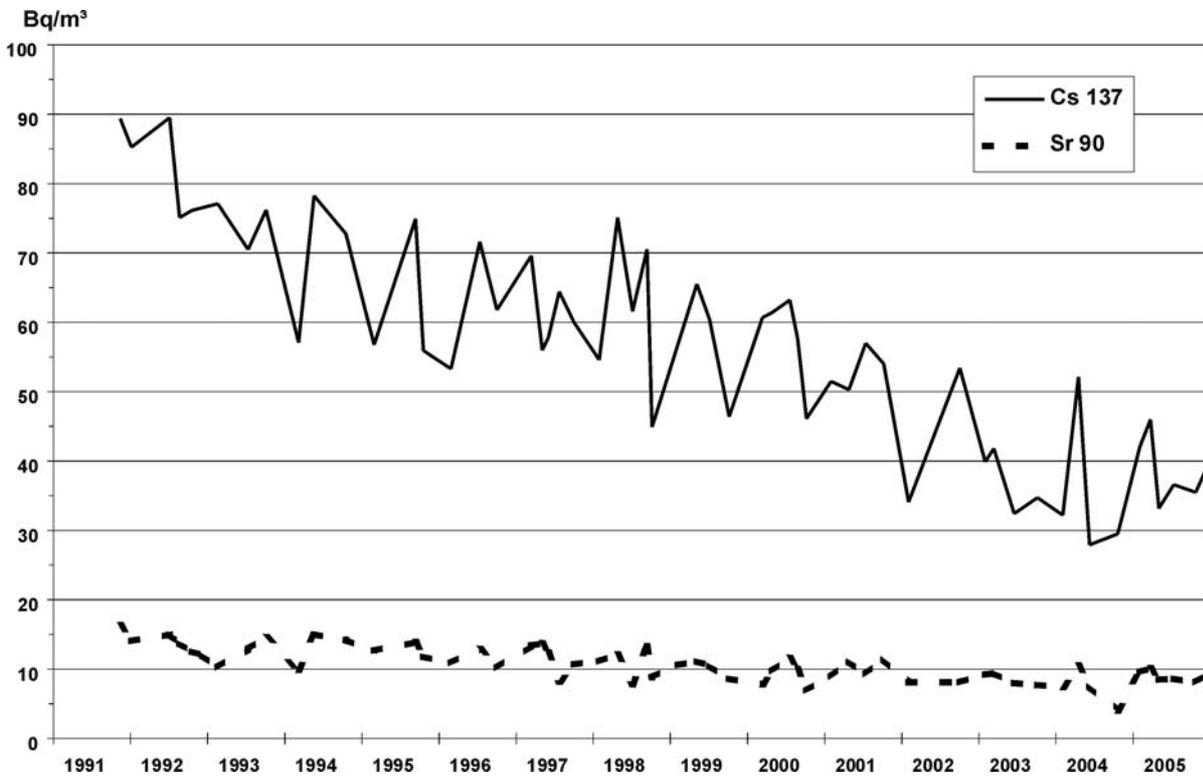


Abbildung 2.2.1-10 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position "Fehmarnbelt" ($54^\circ 36' \text{N}$, $011^\circ 13' \text{O}$) seit 1991
 (Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position "Fehmarnbelt" ($54^\circ 36' \text{N}$, $011^\circ 13' \text{E}$) since 1991)

Meerwasser in der Ostsee

Die Ostsee erfuhr aus dem Unfall von Tschernobyl einen hohen Eintrag von Fallout. Der Schwerpunkt des Eintrages lag in der südlichen Bottensee, dem Finnischen Meerbusen und – in geringerem Maße - in der Lübecker Bucht. Auf Grund des nur geringen Wasseraustausches mit dem Weltozean dauert es Jahrzehnte, bis Schadstoffe aus der Ostsee entfernt werden. Dies ist seit 20 Jahren auch mit dem Cs-137 aus Tschernobyl 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 ausgetragen wird. In der salzarmen und dichteren Tiefenschicht findet der Einstrom salzreichen Ozeanwassers statt. Dieses Wechselspiel spiegelt sich auch in den Konzentrationen des Radionuklids Cs-137 wieder. Im Oberflächenwasser befinden sich die höheren Konzentrationen aus dem Tschernobylfallout, im Tiefenwasser finden wir meist etwas niedrigere Konzentrationen bei höherem Salzgehalt. Besonders deutlich ist dies im Bereich des großen Belts zu sehen.

Abbildung 2.2.1-9 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 des Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt. Dabei sind die messbaren Schwankungen der Cs-137-Konzentration an Meerengen wie Fehmarnbelt (Abbildung 2.2.1-10) und Darßer Schwelle (Kadetrinne, Abbildung 2.2.1-11) stärker ausgeprägt als in ruhigen Buchten wie z. B. der Neustädter Bucht (Abbildung 2.2.1-12). Den ruhigsten Verlauf zeigt die Position Arkonasee (Abbildung 2.2.1-13), da sie nicht so stark durch Ein- und Ausströme der Beltsee beeinflusst ist.

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 und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Ausstrom geringeren Einfluss hat (Abbildung 2.2.1-13). Kompensiert wird der Zufluss von Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss von 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, wie in den dargestellten Zeitreihen zu sehen ist.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche in der westlichen Ostsee lag im Juni 2005 etwa zwischen 31 Bq/m^3 im westlichen und 47 Bq/m^3 im östlichen Teil des überwachten Gebietes (Abbildung 2.2.1-14). Die Konzentrationen nehmen nach Osten nach wie vor leicht zu – in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, liegt sie immer noch um den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine große Homogenität der Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers durch den deutlich geringeren Gehalt von Cs-137 und Sr-90 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.

Die Konzentrationen von Sr-90 liegen in der westlichen Ostsee zwischen $7,8$ und $10,5 \text{ Bq/m}^3$ (Abbildung 2.2.1-15) und damit um den Faktor 2 - 6 höher als in der Deutschen Bucht. Die Quelle des Sr-90 ist nahezu ausschließlich der globale Fallout aus den sechziger Jahren. Die Kombination aus hoher Mobilität des Sr-90 mit dem sehr umfangreichen Einzugsgebiet der Ostsee und dem damit verbundenen hohen Süßwasserzufluss führen schon lange zu einem vergleichsweise höheren Gehalt an Radiostrontium.

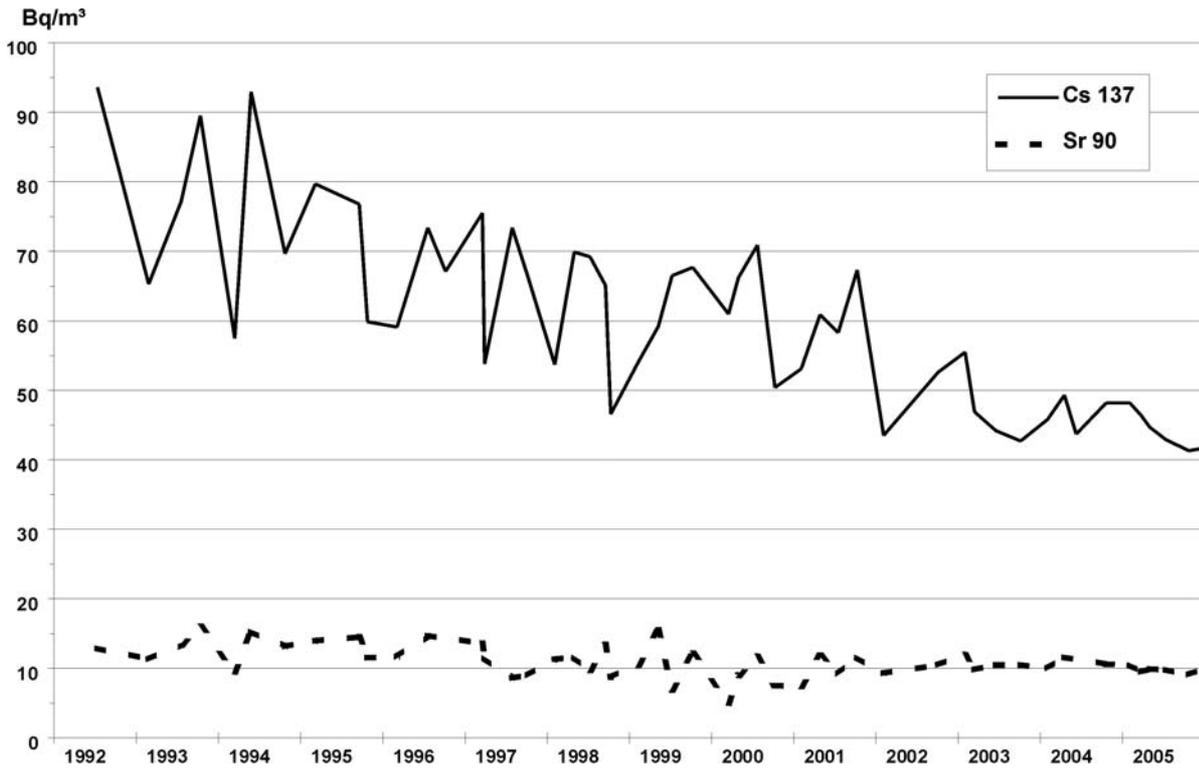


Abbildung 2.2.1-11 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position "Darßer Schwelle" ($54^\circ 36,3'N$, $012^\circ 19,9'O$) seit 1992
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position "Darßer Schwelle" ($54^\circ 36,3'N$, $012^\circ 19,9'E$) since 1992)

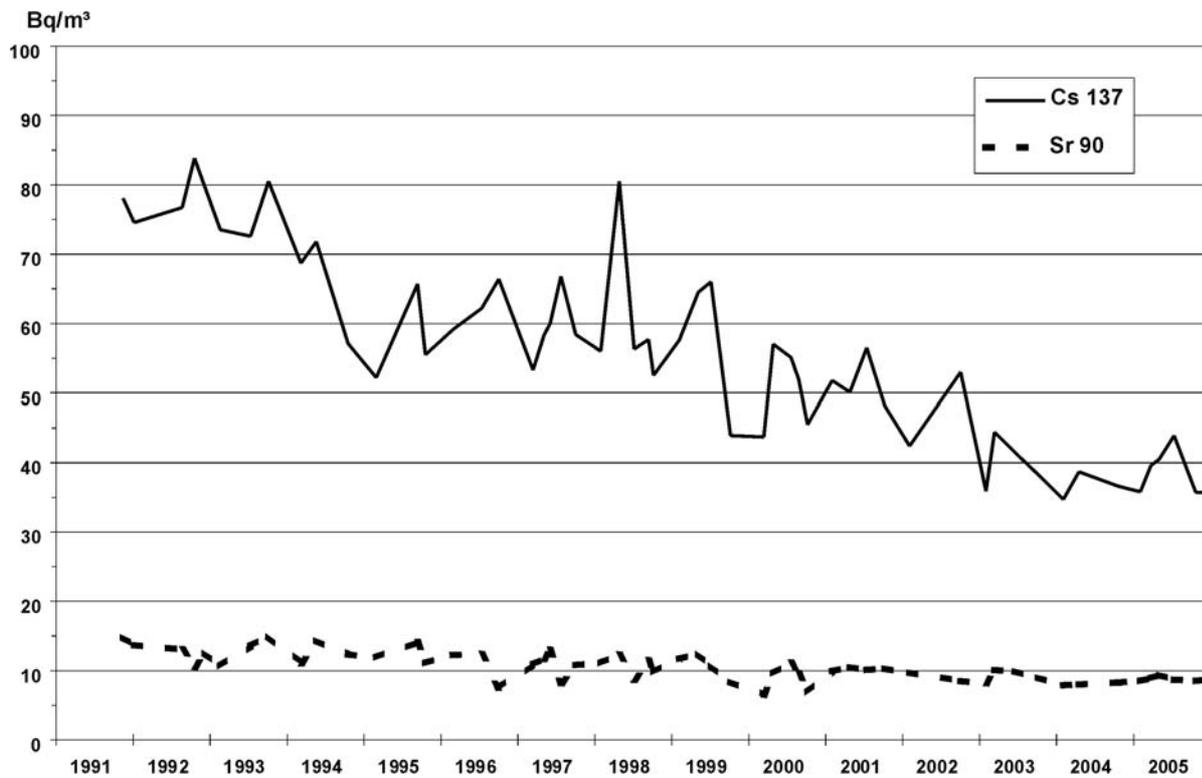


Abbildung 2.2.1-12 Der zeitliche Verlauf der ^{137}Cs - und ^{90}Sr -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03'N$, $010^\circ 51'O$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position "Neustädter Bucht" ($54^\circ 03'N$, $010^\circ 51'E$) since 1991)

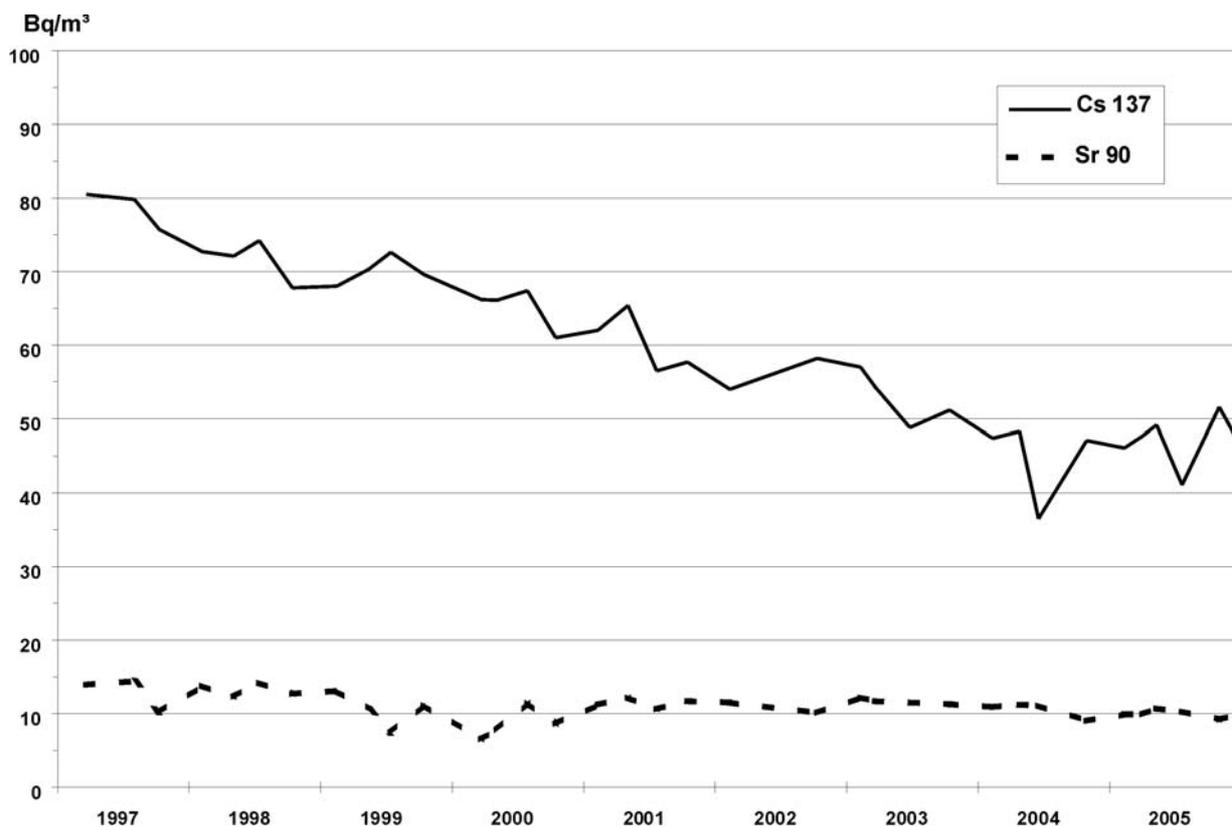


Abbildung 2.2.1-13 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen Bq/m^3 an der Position "Arkonasee" ($54^{\circ}51,6'N$, $013^{\circ}16,6'O$) seit 1997
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 Bq/m^3 at the position "Arkonasee" ($54^{\circ}51,6'N$, $013^{\circ}16,6'E$) since 1997)

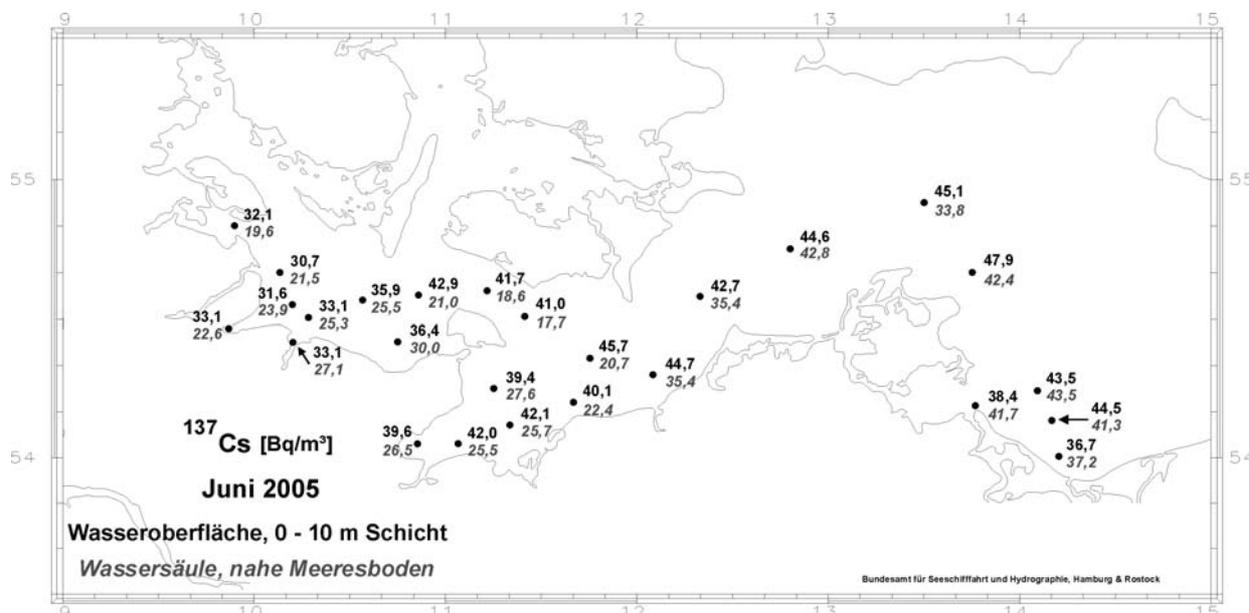


Abbildung 2.2.1-14 Verteilung von Cs-137 (Bq/m^3) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2005
(Spatial distribution of Cs-137 (Bq/m^3) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2005)

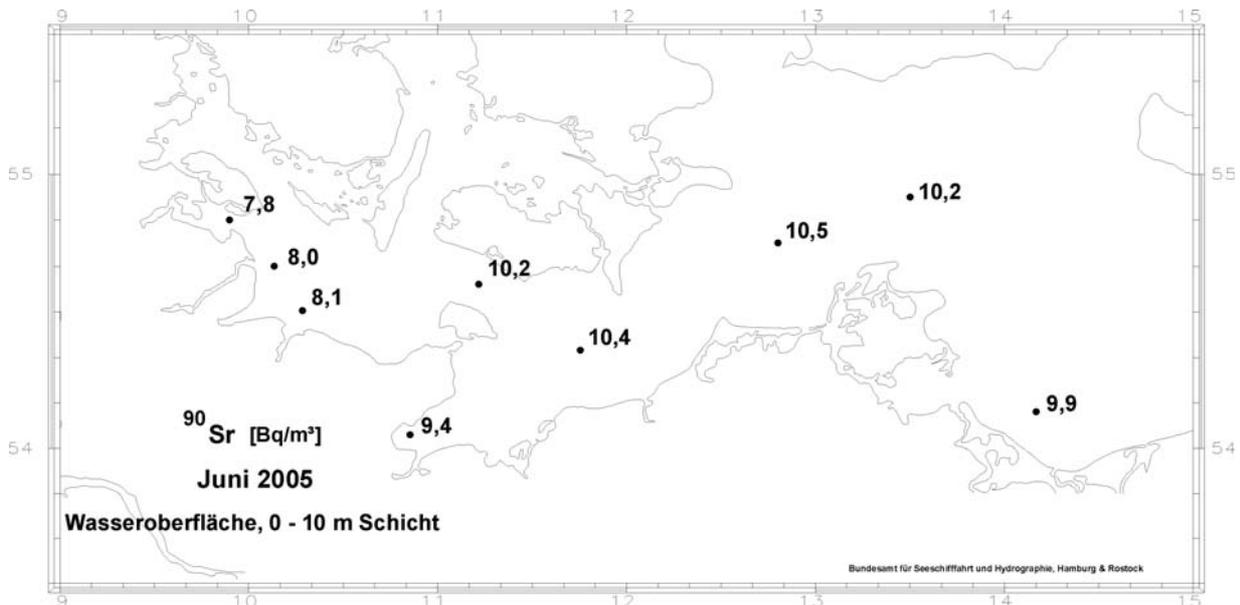


Abbildung 2.2.1-15 Verteilung von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2005

(Spatial distribution of Sr-90 (Bq/m³) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2005)

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 2.2.1-16 ist das Inventar in kBq/m² im Juni 2005 an einigen ausgewählten Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe dargestellt. Die höchsten Werte von 5,5 (Eckernförder Bucht) und 3,8 kBq/m² (Neustädter Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden. Die Inventare hängen stark von der Körnigkeit der Sedimente ab. Dabei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen.

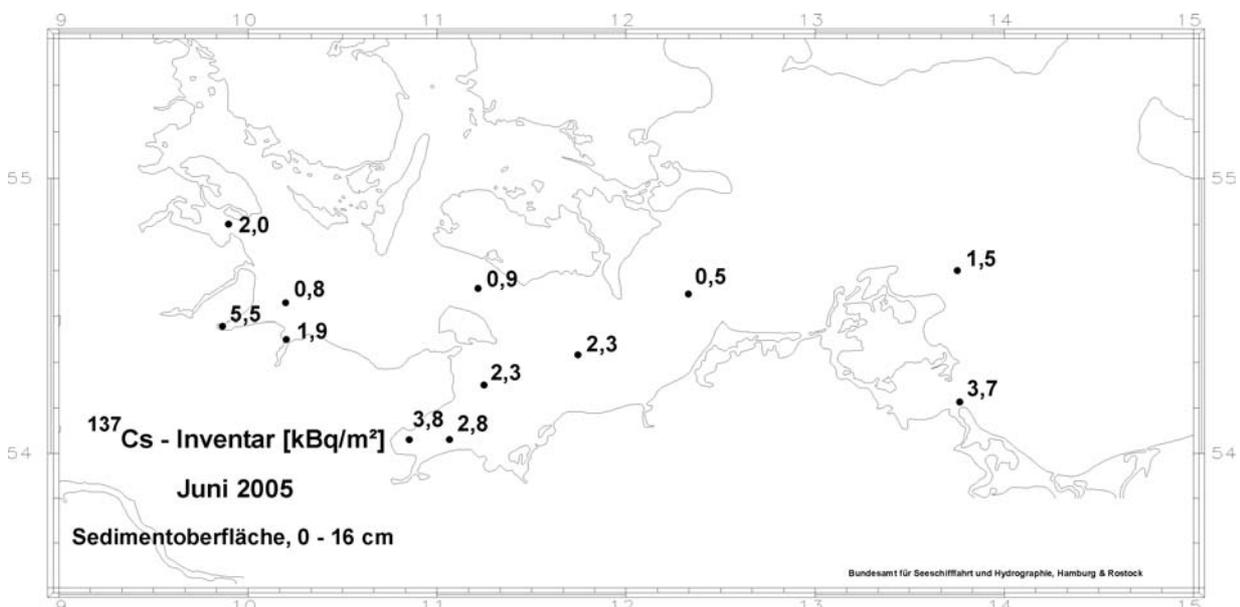


Abbildung 2.2.1-16 Cs-137 Inventar (kBq/m²) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2005. Das Inventar wird bis 16 cm Sedimenttiefe erfasst

(Cs-137 Inventory (kBq/m²) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2005. 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 2005 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 kerntechnischer Anlagen sind in Kapitel 2.2.3 zusammengefasst und bewertet.

Eine Übersicht der insgesamt ausgewerteten Messwerte 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 143 Gewässern – davon 73 Fließgewässer und 70 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 16.550 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, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätskonzentrationen eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der 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 2005 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 höchstens 31 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 Nachweisgrenzvorgaben des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren – von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. Lediglich in der Ems wurde Kobalt-60 (Co-60) in geringfügigen Konzentrationen von unter 0,01 Bq/l gemessen. Jod-131 (I-131) trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,04 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 0,0005 und 0,07 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 wurden - bezogen auf die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l - nicht nachgewiesen.

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 mit 275 und Starnberger See mit 226 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 und Co-60 konnten in Ems, Mosel und Rhein gemessen werden; die Jahresmittelwerte betragen unter 5 Bq/kg TM und lagen damit unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP. Für I-131 wurden Einzelkonzentrationen von meist bis 50 Bq/kg TM gemessen; der höchste Einzelwert mit 317 Bq/kg TM stammte von der Ems.

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) 229 und Lanker See (Schleswig-Holstein) 177 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten aus Elbe, Ems, Jadebusen, Mosel, Rhein und Weser in Einzelkonzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit deutlich die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2005 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. 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 Klein-

kinder (≤ 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. $0,54 \mu\text{Sv/a}$. Allein der von dem natürlichen Radionuklid Kalium-40 (K-40) für einen mittleren Gehalt von $0,4 \text{ Bq/l}$ zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. $0,87$ bzw. $4,2 \mu\text{Sv/a}$ deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2005 noch in Sedimenten deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau noch mittlere Cs-137-Gehalte von 102 Bq/kg TM gemessen werden. Würde dieses Sediment bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad "Aufenthalt auf Spülfeldern" für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. $11 \mu\text{Sv/a}$ abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Thorium-nat (Th-nat) und U-nat bei typischen Gehalten von $500, 40$ und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. $28 \mu\text{Sv/a}$ wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2005 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 2005, in accordance with the StrVG and REI*)

Kompartiment	Nuklid	Anzahl der Werte	Max.-Messwert	Gewässer	Ort / KT-Anlage	Datum / Zeitraum
Oberflächenwasser (Bq/l)	G α -Aktivität	190	0,400	Ems, km 24,6	Terborg	Februar
	G β -Aktivität	69	7,8	Salzbach	Endlager Morsleben	September
	H-3	1585	4060	Ems	KKE Emsland, Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Co-60	1591	0,0096	Kalter Bach	VKTA Rossendorf	Juni
	Sr-90	332	0,024	Ems, km 24,6	Terborg	August
	I-131	288	0,039	Glan, km 71,0	Odenbach	25.10.
	Cs-137	1522	0,097	Arendsee	Arendsee	8.2.
	Übrige	3910	-	-	-	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	74	9,1	Rhein, km 172,97	Weil	Januar
	Co-60	533	2,5	Mosel, km 241,96	Perl	Oktober
	I-131	218	317	Ems, km 217,2	Greven	20.10.
	Cs-137	531	320	Steinhuder Meer	Wunstorf	I. Quartal
	Übrige	2350	-	-	-	-
Sediment (Bq/kg TM)	G α -Aktivität	3	653	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	I. Quartal
	G β -Aktivität	3	1200	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	II. u. III.Q.
	Co-58	103	4,87	Rheinseitenkanal, Neuf Brisach	KKW Fessenheim	I. Quartal
	Co-60	1221	30	Rhein	KMK Mülheim-Kärlich, Auslaufbau.	18.7.
	Cs-137	1219	400	Donau, km 2381,42	Regensburg	19.4.
	Am-241	12	9,55	Hirschkanal	FZ Karlsruhe	14.1.
	Übrige	5190	-	-	-	-

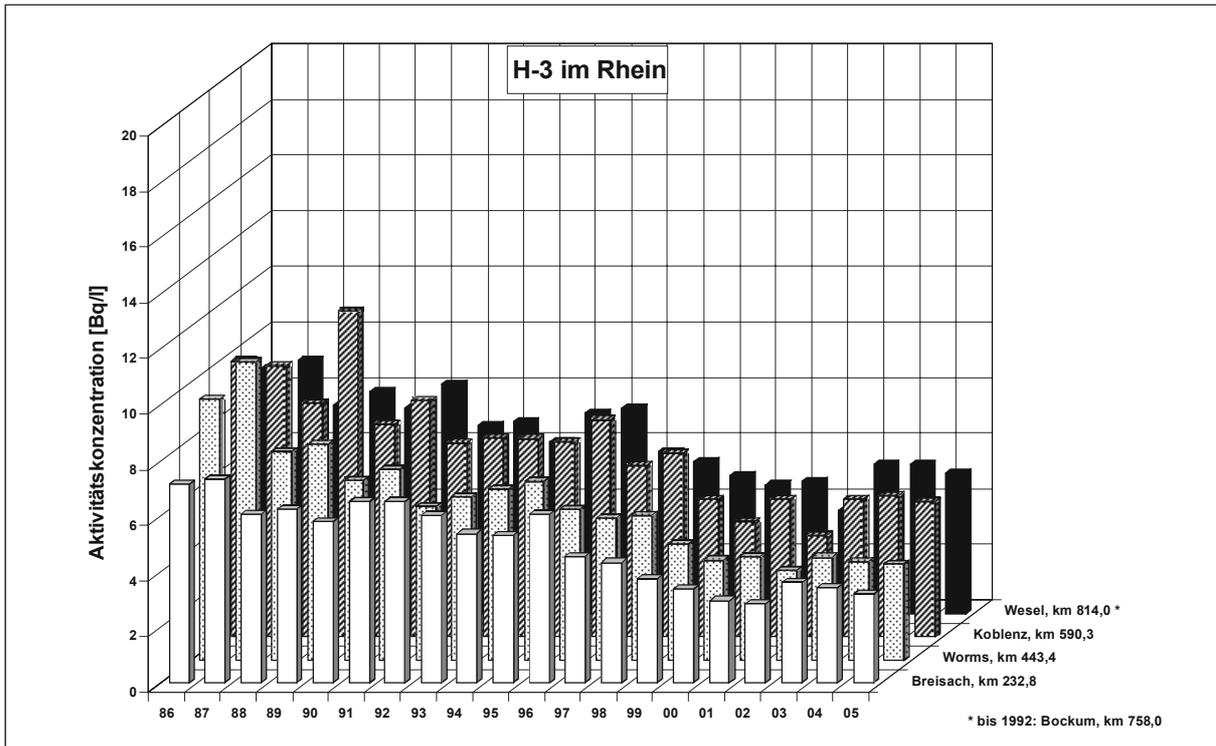


Abbildung 2.2.2-1 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

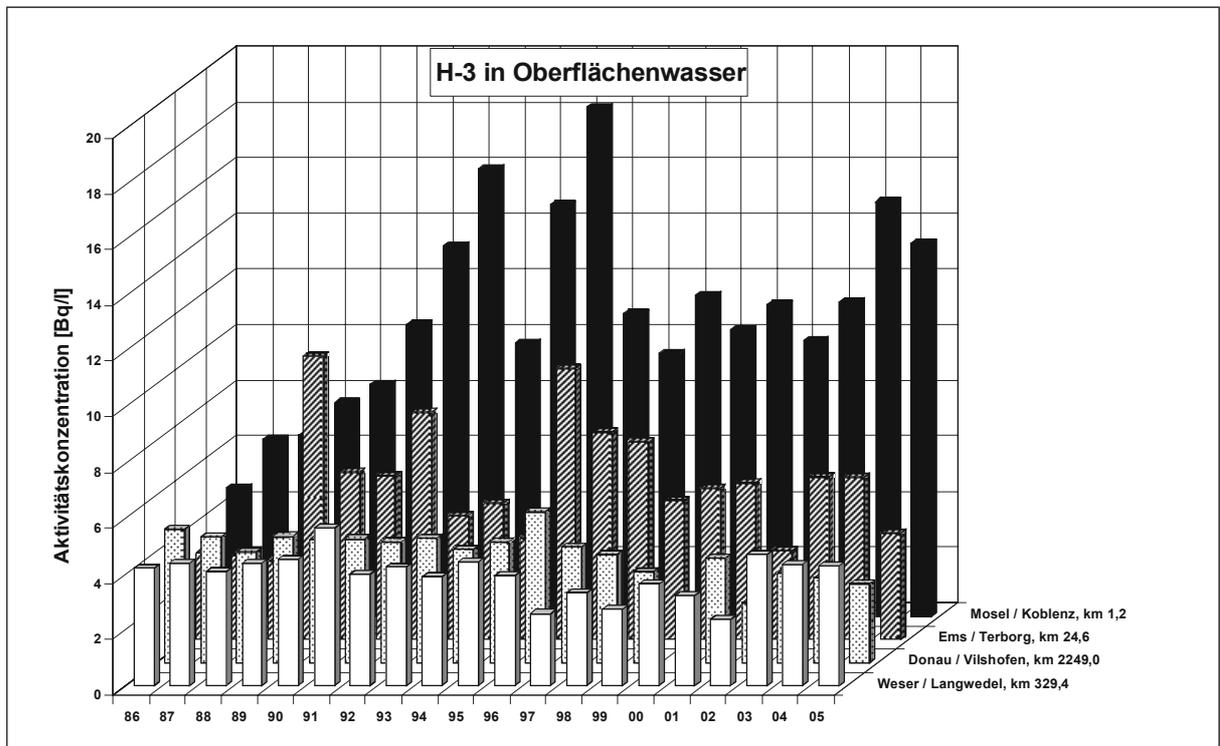


Abbildung 2.2.2-2 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
(Jahresmittelwerte)
(Contents of tritium (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

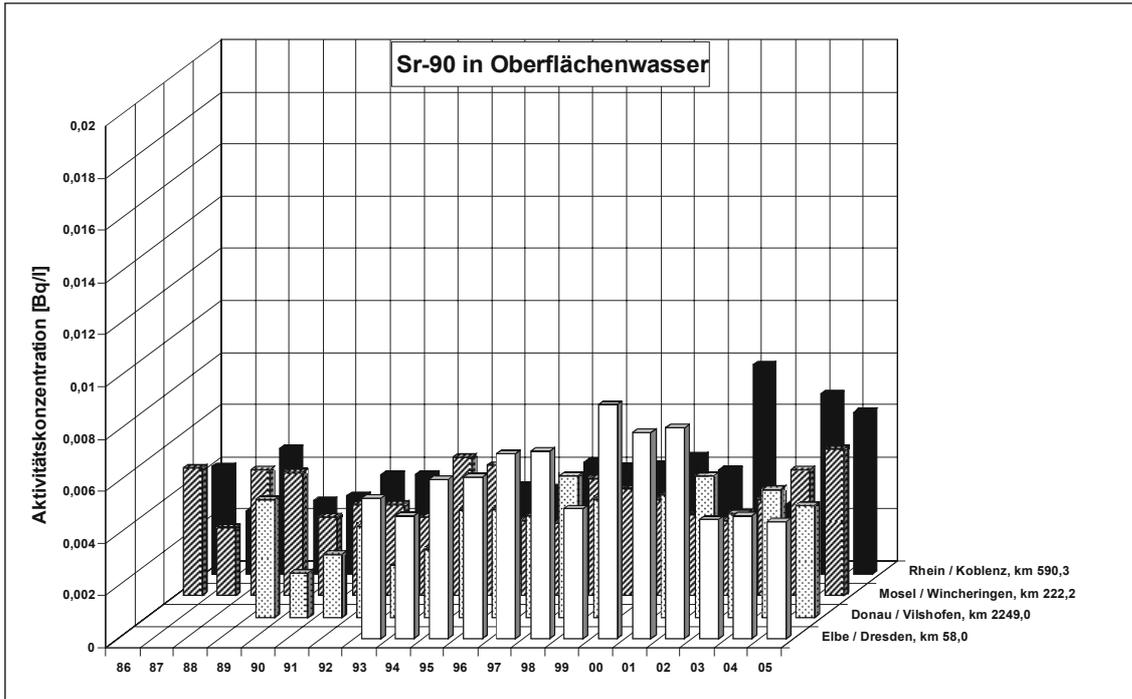


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Strontium-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Strontium-90 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

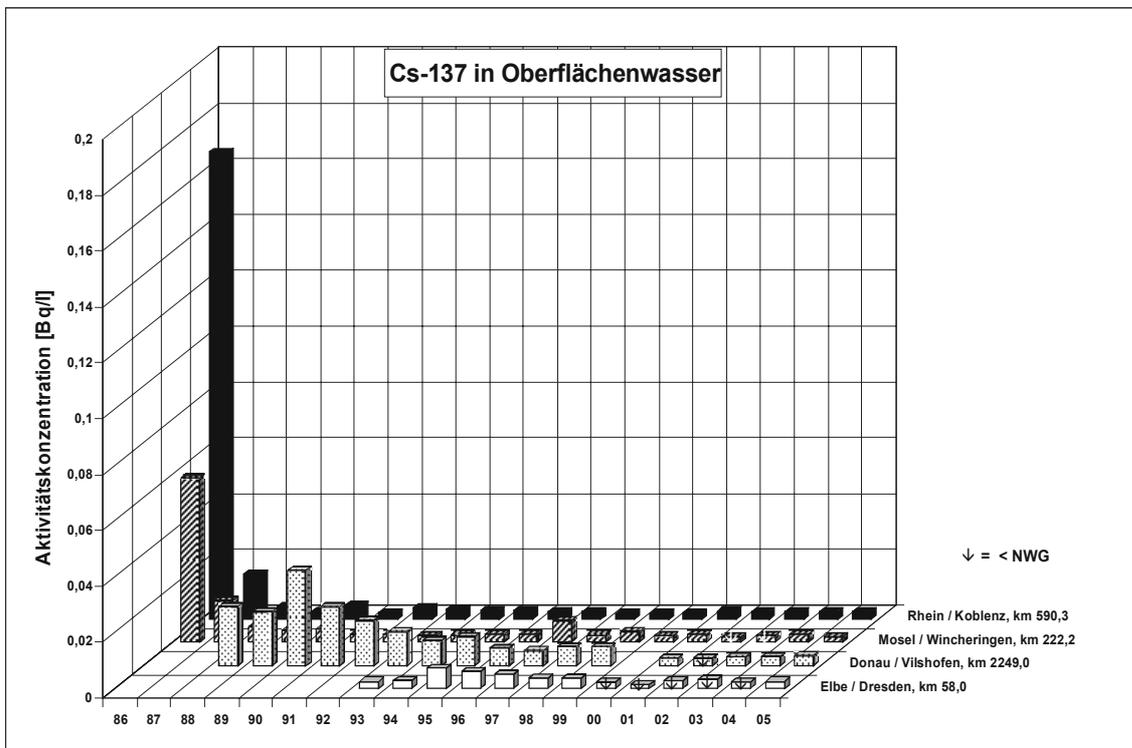


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cäsium-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cesium-137 activity concentrations (Bq/l) in surface water from selected inland waters)

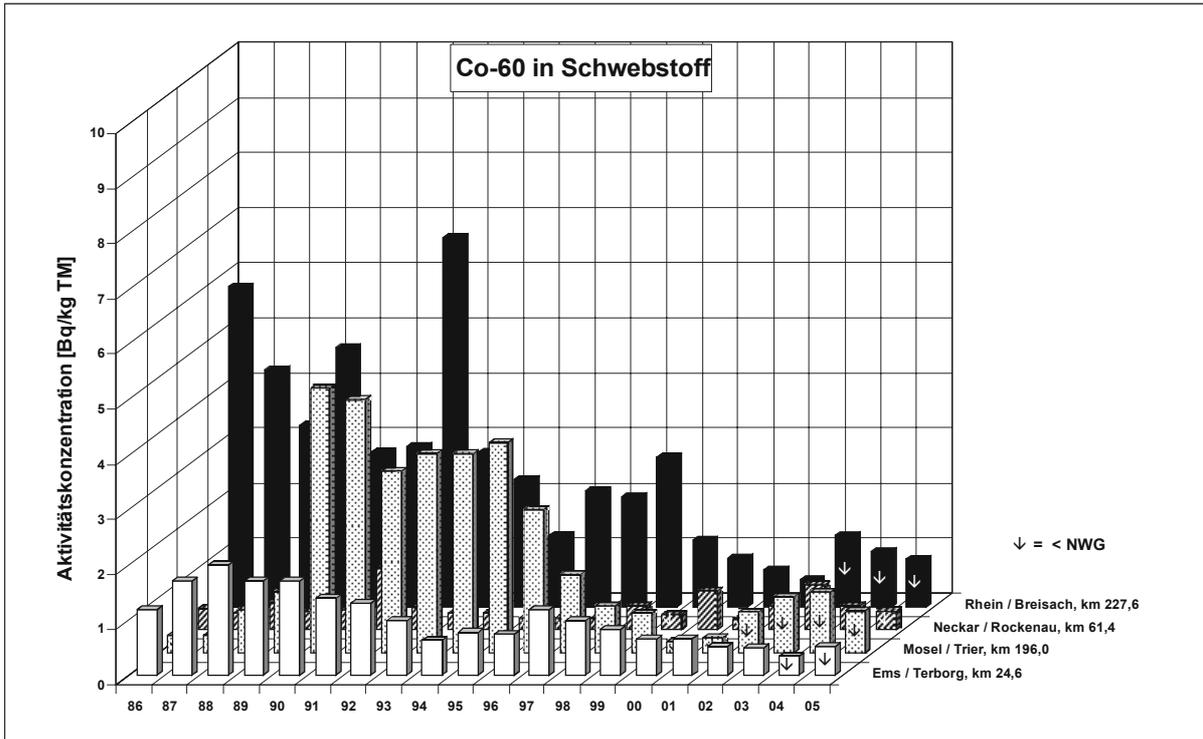


Abbildung 2.2.2-5 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cobalt-60 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

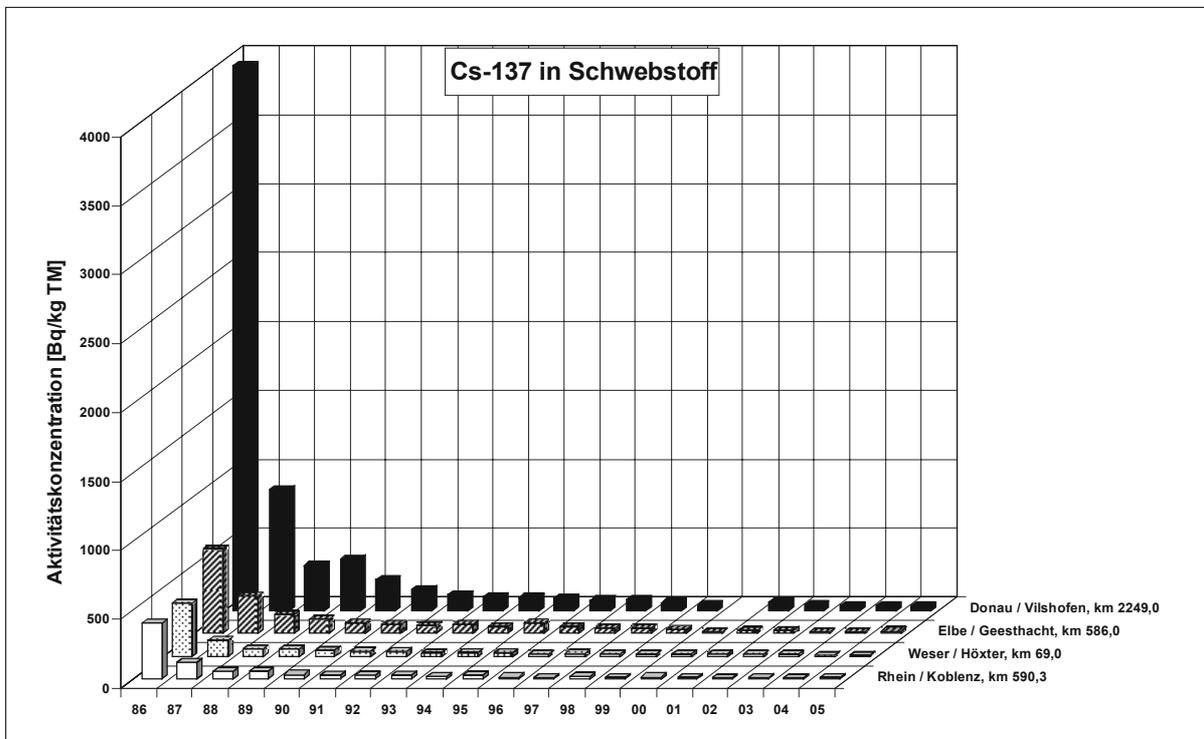


Abbildung 2.2.2-6 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

(Cesium-137 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

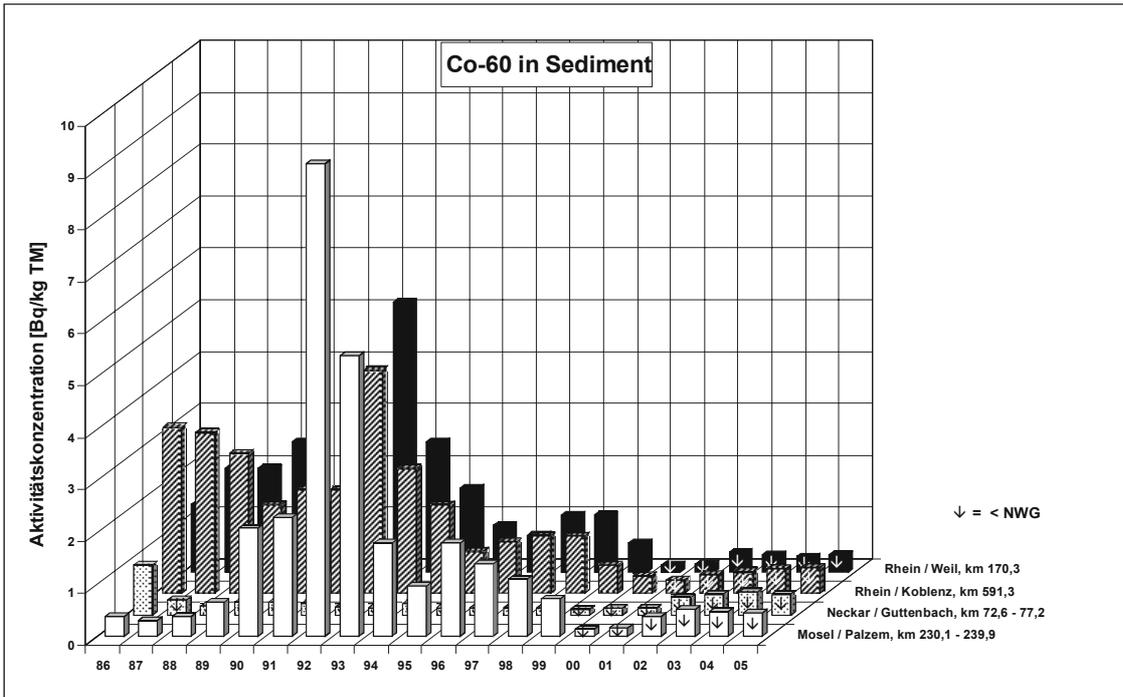


Abbildung 2.2.2-7 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cobalt-60 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

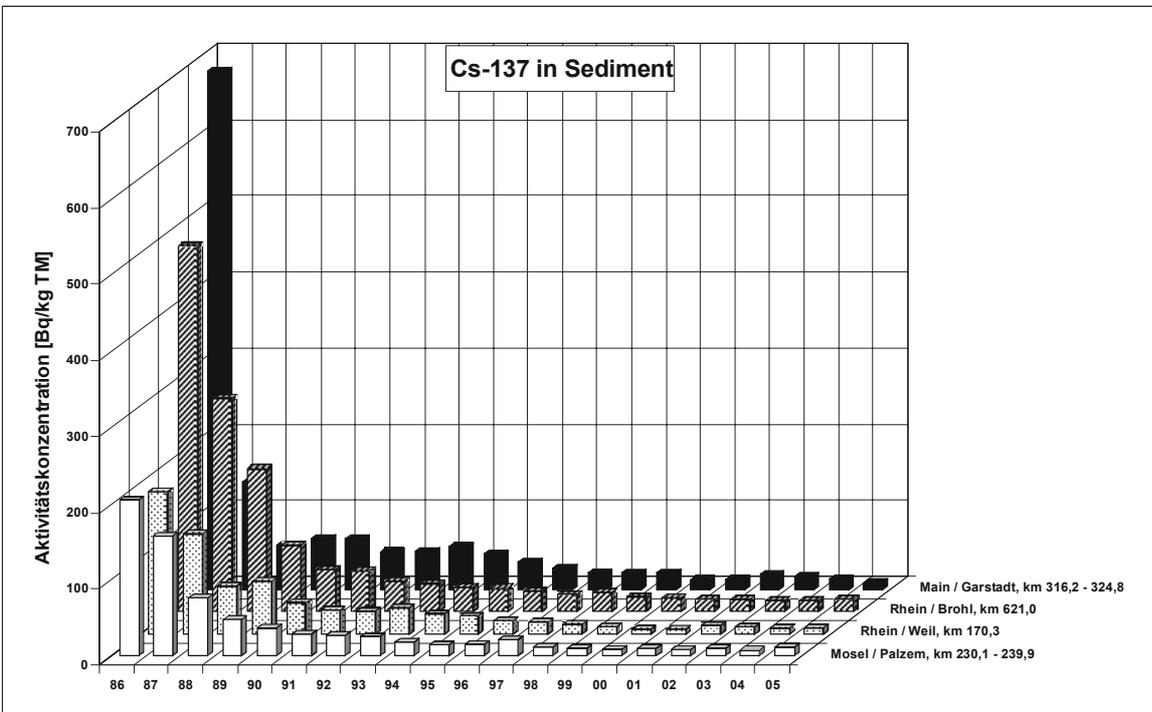


Abbildung 2.2.2-8 Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Cäsium-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cesium-137 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM (from selected inland waters - annual mean values)

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 2005		Aktivitätskonzentration				
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte		
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004	
RHEIN									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12	0	1,65	4,16	2,36	2,37	
		Koblenz, km 590,3	12	0	3,28	9,92	4,87	5,07	
		Wesel, km 814,0	12	0	3,47	7,22	5,04	5,38	
	Sr-90	Weil, km 172,97	4	0	0,0042	0,0107	0,0065	0,0043	
		Koblenz, km 590,3	4	0	0,0045	0,0086	0,0062	0,0069	
		Wesel, km 814,0	4	0	0,0044	0,0066	0,0059	0,0057	
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	4	<0,0011	0,0068	0,0033	<0,0026	
		Koblenz, km 590,3	12	3	<0,0011	0,0043	0,0026	0,0025	
		Wesel, km 814,0	12	8	<0,0011	0,0058	<0,0022	<0,0020	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	5	0	1,37	9,10	3,66	4,6	
		Koblenz, km 590,3	1	0	1,16	1,16	1,16	1,42	
	Co-60	Weil, km 172,97	12	6	<0,18	<2,61	<1,14	<1,51	
		Koblenz, km 590,3	11	8	<0,37	<0,66	<0,49	<0,61	
		Wesel, km 814,0	10	10	<0,70	<11,7	nn	nn	
	Cs-137	Weil, km 172,97	12	0	2,84	14,6	8,5	11,6	
		Koblenz, km 590,3	11	0	7,96	11,4	9,8	11,1	
		Wesel, km 814,0	10	0	8,56	19,6	12,7	14,5	
	I-131	Weil, km 172,97	11	8	<2,06	41,1	<12,4	12,9	
		Koblenz, km 590,3	10	0	3,94	21,2	11,6	23,3	
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	-	-	-	-	-	0,26
			Worms, km 444,50-446,60	1	1	0,60	0,60	0,60	-
Co-60		Weil, km 170,3	24	24	<0,18	<0,57	nn	<0,29	
		Worms, km 444,50-446,60	36	35	<0,12	<0,51	<0,31	<0,30	
		Koblenz, km 591,3	5	5	<0,42	<0,55	nn	nn	
Cs-137		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	16	<0,23	<0,80	nn	nn	
		Weil, km 170,3	24	0	2,67	9,83	7,20	7,5	
		Worms, km 444,50-446,60	36	3	0,30	9,84	3,39	3,1	
		Koblenz, km 591,3	5	0	9,60	12,9	11,4	13,2	
Düsseldorf, km 740,3-748,9		16	0	2,86	21,0	10,0	10,9		
NECKAR									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	0	3,81	45,2	16,2	20,5	
		Rockenau, km 61,4	12	0	2,89	31,4	11,9	15,7	
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	3	0	0,0038	0,0065	0,0050	0,0043	
		Rockenau, km 61,4	4	0	0,0040	0,0053	0,0047	0,0057	
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	11	4	0,0015	0,0059	0,0027	<0,0021	
		Rockenau, km 61,4	12	6	<0,0015	0,0045	<0,0025	<0,0020	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	0	7,44	10,6	9,0	10,3	
		Rockenau, km 61,4	4	0	4,50	7,13	5,74	7,2	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	8	0	6,06	28,3	12,4	9,7	
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	0	8,40	14,7	10,4	11,0	
		Guttenbach, km 72,0-77,0	16	0	0,52	156	16	7,6	
MAIN									
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	11	0	1,24	68,7	11,2	7,0	
		Eddersheim, km 15,3	12	0	1,38	12,3	3,3	4,7	
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	0	0,0029	0,0082	0,0052	0,0055	
		Eddersheim, km 15,3	4	0	0,0029	0,0078	0,0051	0,0062	
	Cs-137	Wippfeld, km 316,1	10	4	<0,0017	0,0077	0,0035	<0,0021	
		Eddersheim, km 15,3	12	5	<0,0016	0,0070	0,0039	<0,0023	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,3	4	0	25,7	36,5	30,1	31,5	
		Garstadt, km 323,7	4	0	13,6	19,5	16,4	16,2	

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	0	7,28	25,7	15,1	9,7
		Garstadt, km 316,2-324,8	9	0	1,45	23,7	8,2	14,0
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	0	13,0	43,3	30,6	31,7
		Koblenz, km 2,0	12	0	7,50	18,9	13,4	14,9
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	3	0	0,0046	0,0073	0,0056	0,0048
		Koblenz, km 2,0	4	0	0,0031	0,0081	0,0059	0,0071
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	10	4	<0,0011	0,0033	0,0021	0,0029
Koblenz, km 2,0		11	4	<0,0011	0,0101	0,0028	<0,0022	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	2	0	0,99	1,38	1,19	1,10
		Co-60	12	5	<0,65	2,50	1,49	2,66
	Co-60	Perl, km 241,96	12	11	0,53	<1,28	<0,75	<1,11
		Trier, km 196,3	12	0	12,3	19,6	15,5	14,6
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	0	10,4	17,3	14,1	14,3
		Trier, km 196,3	12	3	6,04	60,4	30,0	37
I-131	Perl, km 241,96	12	4	<4,26	33,8	21,7	-	
	Trier, km 196,3	12	4	<4,26	33,8	21,7	-	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	16	15	<0,35	0,62	<0,49	<0,34
		Trier, km 184,1-196,1	24	24	<0,24	<0,96	nn	<0,44
		Koblenz/Güls km 4,05	5	4	<0,30	0,95	<0,56	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	16	0	7,78	17,7	14,2	8,5
		Trier, km 184,1-196,1	24	0	5,65	18,1	12,2	10,6
		Koblenz/Güls, km 4,05	5	0	5,23	15,2	10,6	9,06
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	12	0	1,04	3,76	1,85	1,37
			4	0	0,0034	0,0082	0,0059	0,0058
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	11	5	<0,0016	0,0052	0,0034	<0,0026
11			0	17,2	26,8	20,6	19,7	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	11	0	17,2	26,8	20,6	19,7
DONAU								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	11	0	1,29	3,71	1,95	2,09
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	1,77	4,42	2,83	3,03
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	4	0	0,0038	0,0066	0,0056	0,0068
		Vilshofen, km 2249,0	4	0	0,0028	0,0054	0,0043	0,0049
	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	4	<0,0055	<0,0075	nn	<0,0070
Geisling, km 2354,28		10	4	<0,0013	0,0056	0,0036	<0,0020	
Vilshofen, km 2249,0		12	4	<0,0011	0,0052	0,0032	0,0030	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	0	93,4	174	141	134
		Regensburg, km 2381,3	4	0	43,2	55,5	51,1	48,7
		Vilshofen, km 2249,0	12	0	24,9	40,9	31,4	33,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm-Wiblingen 2590,8	4	0	33,2	130	76	101
		Regensburg, km 2379,1-2381,4	6	0	21,1	400	102	108
		Straubing, km 2326,65	2	0	35,6	56,0	45,8	46,2
		Grünau, km 2205,5	2	0	17,8	24,9	21,4	14,5
ISAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	4	<5,2	<5,2	nn	<3,22
		Platting, km 9,1	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0054	<0,0069	nn	nn
		Platting, km 9,1	4	4	<0,0046	<0,0060	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	0	19,9	51,4	29,1	23,8
		Platting, km 9,1	4	0	37,6	70,6	53,6	64,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	3	0	24,0	29,6	27,0	29,8
		Platting, km 9,1	4	0	4,71	7,99	6,09	29,6

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
EMS								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	0	1,69	47,3	10,3	14,1
		Terborg, km 24,64	12	0	1,64	10,4	3,8	5,8
	Co-60	Terborg, km 24,64	5	2	<0,0012	0,0070	0,0046	0,0042
		Sr-90	Geeste, km 106,3	4	0	0,0048	0,0189	0,0088
	Cs-137	Terborg, km 24,64	2	0	0,0055	0,024	0,015	0,0203
Geeste, km 106,3		12	4	<0,0018	0,0080	0,0039	0,0042	
		Terborg, km 24,64	5	0	0,0027	0,053	0,026	0,0289
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,47	<0,76	nn	nn
		Terborg, km 24,64	4	2	<0,32	0,71	<0,53	<0,35
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	0	12,3	27,2	19,5	18,7
		Terborg, km 24,64	4	0	3,04	4,94	4,01	3,36
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herbrum, km 212,75	2	0	1,07	1,82	1,45	<0,85
	Cs-137		2	0	7,21	9,06	8,14	9,2
WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rinteln, km 163,2	12	0	1,87	31,6	8,7	7,4
		Langwedel, km 329,4	12	0	1,60	8,74	4,30	4,4
		Blexen, km 430,00	11	0	3,27	11,6	5,6	4,62
	Sr-90	Rinteln, km 163,2	4	0	0,0021	0,0051	0,0037	0,0042
		Langwedel, km 329,4	4	0	0,0019	0,0043	0,0035	0,0054
		Blexen, km 430,0	4	0	0,0054	0,013	0,008	0,0087
	Cs-137	Rinteln, km 163,2	11	2	<0,0017	0,0060	0,0038	0,0030
		Langwedel, km 329,4	12	4	0,0011	0,0054	0,0028	0,0021
		Blexen, km 430,0	11	0	0,0038	0,0108	0,0067	0,0057
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Rinteln, km 163,2	4	0	9,67	11,1	10,3	9,7
		Langwedel, km 329,4	12	0	10,7	23,6	13,6	14,3
		Wilhelmshaven/Jadebusen	2	1	<4,46	6,49	<5,48	<3,13
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Minden, km 204,40	4	0	7,39	13,3	10,3	10,7
		Bremen, km 373,97	2	0	12,0	12,2	12,1	14,0
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	0	2,00	6,48	4,02	3,54
		Tangermünde, km 389,10	12	0	1,41	3,92	2,91	2,89
		Geesthacht, km 586,0	9	0	1,74	3,57	2,65	2,99
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	1,49	3,75	2,33	1,65
		Cuxhaven, km 724,5	8	0	3,84	5,08	4,34	4,13
	Sr-90	Dresden, km 58,0	4	0	0,0029	0,0062	0,0045	0,0047
		Tangermünde, km 389,10	4	0	0,0037	0,0073	0,0056	0,0059
		Geesthacht, km 586,0	2	0	0,0038	0,0046	0,0042	0,0062
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	0,0038	0,0045	0,0042	0,0043
		Cuxhaven, km 724,5	2	0	0,0039	0,0040	0,0040	0,0079
	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	5	<0,0011	0,0046	0,0026	<0,0022
		Tangermünde, km 389,10	11	3	0,0013	0,0046	0,0029	0,0046
		Geesthacht, km 586,0	8	2	0,0018	0,0026	0,0020	<0,0027
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	1	<0,0017	0,0041	0,0038	0,0034
		Cuxhaven, km 724,5	7	3	0,0024	0,0153	0,0066	0,0065
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	0	13,7	25,9	20,8	24,7
		Geesthacht, km 586,0	2	0	15,0	16,4	15,7	12,6
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	13,6	18,5	15,3	14,7
		Cuxhaven, km 724,5	4	0	<0,14	0,35	0,32	0,33
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	10	0	17,1	37,9	26,5	24,7
		Arneburg, km 403,5	10	0	11,4	43,9	25,1	29,8
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	0	22,1	29,9	24,8	34,2

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
ODER								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	0	0,93	1,50	1,18	1,24
		Schwedt, km 690,55	11	0	0,79	1,37	1,14	1,22
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	3	0	0,0039	0,0071	0,0050	0,0082
		Schwedt, km 690,55	4	0	0,0044	0,0074	0,0053	-
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	10	2	0,0020	0,0066	0,0035	<0,0033
Schwedt, km 690,55		11	3	<0,0016	0,0046	0,0028	nn	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,20	4	0	12,9	23,9	19,9	24,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	-	-	-	-	-	30,7
		Hohensaaten, km 667,5	7	0	12,4	27,4	20,5	22,5
SPREE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<1,92	<2,21	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	0	0,79	1,25	1,03	0,95
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	0	0,0047	0,0114	0,0074	0,0053
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	0	0,0014	0,0042	0,0024	0,0016
	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	5	<0,0015	0,0061	0,0030	0,0022
Schwebstoffe (Bq/kg TM)		Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	0	21,2	30,8	24,6	25,0
	Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	2	0	11,0	15,8	13,4	6,3	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	1	0	20,1	20,1	20,1	-
		Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal)	2	0	14,0	29,7	21,8	17,0
HAVEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	0	0,80	1,39	1,06	1,13
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4	0	0,0033	0,0065	0,0049	0,0097
			Cs-137	11	0	0,0019	0,0076	0,0043
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	4	0	53,8	70,8	62,4	63,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	8	0	26,0	48,7	38,4	37,3
SAALE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Halle/Planena, km 104,5	12	0	1,04	1,48	1,27	1,22
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,63	<4,33	nn	nn
	Sr-90	Halle/Planena, km 104,5	4	0	0,0033	0,0082	0,0055	0,0070
		Camburg, km 187,0	4	0	0,0049	0,0059	0,0053	0,0057
	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	12	8	0,0011	<0,0039	<0,0021	0,0026
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0059	<0,0062	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 104,5	4	0	11,9	12,9	12,3	11,9
		Camburg, km 187,0	4	0	23,2	47,0	31,1	30,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Halle/Planena, km 105,5	9	0	9,70	17,6	12,6	10,2
		Dorndorf-Steudnitz, km 192,0	4	0	5,46	29,2	19,2	25,0
PEENE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	0	0,94	1,28	1,13	1,17
	Sr-90	Anklam, km 96,1	4	0	0,0034	0,0115	0,0078	0,0056
			Cs-137	12	5	<0,0014	0,0040	0,0034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	4	0	31,0	37,4	35,2	39,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	10	0	23,1	48,6	31,2	30,3
TRAVE / UNTERTRAVE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	11	0	1,28	1,79	1,51	1,48
	Sr-90	Travemünde, km 26,9	3	0	0,0057	0,0064	0,0060	0,0063
			Cs-137	11	0	0,0043	0,0241	0,0118

GEWÄSSER Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmeort, Flusskilometer	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	0	26,5	47,8	40,6	43,8
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	11	0	1,21	1,82	1,57	1,59
	Sr-90		4	0	0,0024	0,0051	0,0036	0,0089
	Cs-137		12	2	<0,0032	0,0282	0,0104	0,0115
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	0	24,5	40,3	33,2	34,7

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 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
	Cs-137		8	8	<0,0040	<0,0097	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Nonnenhorn	4	0	2,09	8,37	5,10	5,75
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	4	<5,2	<5,2	nn	<3,17
	Sr-90		4	0	0,0041	0,0059	0,0052	0,0056
	Cs-137		4	4	0,0045	0,0071	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	37,3	74,2	55,3	56,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	0	4,33	19,3	13,3	10,9
Starnberger See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	4	<5,2	<5,2	nn	<3,73
	Sr-90		4	0	0,0095	0,0128	0,0108	0,0100
	Cs-137		4	3	0,0032	0,0076	<0,0057	<0,0063
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	199	270	226	249
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	0	1,42	3,53	2,71	5,67
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle41035	4	4	<1,92	<2,22	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0018	0,0046	0,0035	0,0037
	Cs-137		4	2	<0,0018	0,0030	<0,0025	<0,0021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	1	1,73	11,5	5,9	9,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	0	38,6	58,5	47,5	47
Stößensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<1,92	<2,22	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0035	0,0044	0,41	0,0036
	Cs-137		4	2	0,0013	0,0030	<0,0021	0,0220
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	1,78	16,2	6,0	7,7

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	0	90	157	125	98
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,45	<6,65	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,017	0,02	0,019	0,020
	Cs-137		4	0	0,007	0,010	0,0085	0,009
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	0	10,0	16,0	14,3	13
Neuendorfer See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<5,5	<7,0	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0041	0,0059	0,0049	0,0041
	Cs-137		4	2	<0,0019	0,0050	<0,0038	<0,0051
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	3	0	24,0	26,0	25,3	27
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	0	0,3	1,1	0,7	1,4
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<5,8	<5,9	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,01	<0,01	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0040	<0,0072	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	11,2	21,6	18,5	19,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Erbach	4	0	18,1	23,7	20,9	21,4
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	2,76	<4,33	<3,79	<4,41
	Cs-137		4	4	0,0041	<0,0065	nn	0,0246
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	11	26,4	18,6	10,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	0	6,11	27,3	12,0	10,5
Schweriner See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<3,95	<4,0	nn	nn
	Sr-90		4	0	0,0030	0,0072	0,0048	0,005
	Cs-137		4	0	0,0081	0,0121	0,0098	0,0104
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	34,1	103	68	86
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	0	29,1	63,6	51,8	29,6
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	2	1,5	<2,3	<2,0	<1,73
	Sr-90		4	0	0,0016	0,0029	0,0024	0,0015
	Cs-137		4	4	<0,0010	<0,0014	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	41	59	50	43
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	0	51	70	60	69
Steinhuder Meer								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	2	1,6	<2,3	<2,0	<1,69
	Cs-137		4	0	0,0033	0,0150	0,0079	0,0116
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	260	320	275	315
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	0	130	240	183	143

LAND / Gewässer Kompartiment	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<5,0	<8,0	nn	nn
	Sr-90		1	0	0,0065	0,0065	0,0065	0,0398
	Cs-137		4	4	<0,0028	<0,0051	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,0002	<0,0003	<0,0003	<0,0004
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	0	4,38	11,7	7,6	7,9
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	2	1,2	<3,5	<2,3	<2,6
	Cs-137		4	0	0,034	0,036	0,035	0,032
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	0	83	99	89	73
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<7,02	<8,07	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0049	<0,0061	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	0	38,7	72,7	53,9	16,7
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,061	0,097	0,076	0,0685
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	0	18,7	27,7	21,8	34,4
Schollener See								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	0	0,015	0,046	0,026	0,0360
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	0	124	270	229	223
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	2	<0,010	0,012	<0,011	0,011
	Cs-137		4	1	<0,007	0,012	0,010	<0,011
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	0	137	201	164	159
Wittensee								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	3	<0,008	0,015	<0,010	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	0	12,5	19,9	16,3	15,4
THÜRINGEN / Talsperre Schmalwasser								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Tambach-Diet- harz	4	4	<3,52	<4,68	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0045	<0,0064	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*)

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

Dieser Beitrag enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsmessungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen aus dem Jahr 2005 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). In die Auswertung wurden insgesamt ca. 4.350 Einzelwerte einbezogen; sie erfolgte wie in Abschnitt 2.2.2 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 ca. 2.000 Bq/l (Ems, KKE Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber wieder zurück (siehe Abschnitt 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 - insbesondere Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) vom Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall von Tschernobyl - praktisch nicht aufzeigbar. Dies gilt auch für Jod-131 (I-131), das meist von nuklearmedizinischen Anwendungen stammen dürfte. Einzelne Bestimmungen von Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239+240 an Wasserproben ließen wegen der niedrigen Werte (unter 0,0002 Bq/l; Kalter Bach, FZ Rossendorf) kaum Auswirkungen der jeweiligen Anlage im Vorfluter 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 wenigen direkt an Auslaufbauwerken entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Kobalt-60 (Co-60) gemessen: bis 16 Bq/kg TM im Rhein (KMK Mülheim-Kärlich) und 23 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal des FZ Jülich. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 waren Auswirkungen dieses Radionuklids von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzuzeigen. Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität ($G\alpha$) mit 534 Bq/kg TM im Mittel im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) gemessen; hier konnte zudem Americium-241 (Am-241) mit 5,6 Bq/kg TM nachgewiesen werden. Andere Transurane konnten bei den wenigen durchgeführten Bestimmungen nicht nachgewiesen werden.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus der Sicht des Strahlenschutzes vernachlässigbar. Der Berechnung der Gesamtexposition durch kerntechnische Anlagen werden gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift die Messwerte aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser zu Grunde gelegt (s. Teil B - II - 1.3.1). Die in diesem Kapitel errechneten Strahlenexpositionen sind Teil dieser Gesamtexposition (im Jahr 2005 <0,01 mSv).

Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis ca. 31 Bq/l (siehe Abschnitt 2.2.2). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich für H-3 eine über den "Trinkwasser-Pfad" für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) resultierende effektive Dosis von ca. 0,39 μ Sv/a. Für Kleinkinder (\leq 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,67 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 μ Sv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu 0,13 bzw. 0,22% ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 16 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus dem Rhein gemessen werden. Für den Fall, dass derartige 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. 5 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 2005		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	2	2	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<8,0	<8,0	nn	<9,7
	Co-60	nach KKW Leibstadt	2	2	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor Aare-Einmündung	2	2	<0,0097	<0,020	nn	nn
	Cs-137	vor KKW Leibstadt	2	2	<0,018	<0,029	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,020	<0,022	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	3	3	<0,246	<0,359	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	3	2	0,263	<1,03	<0,53	nn
	Cs-137	nach KKW Leibstadt	3	2	0,147	<0,652	<0,40	nn
		vor Aare-Einmündung	3	0	4,05	23,0	10,9	7,18
	Cs-137	vor KKW Leibstadt	3	0	5,41	13,1	8,0	8,23
		nach KKW Leibstadt	3	0	3,88	4,92	4,52	5,20
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	10	10	<8,0	<8,0	nn	nn
		Neuf Brisach	10	10	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	Weil	10	10	<0,011	<0,036	nn	nn
		Neuf Brisach	10	10	<0,012	<0,031	nn	nn
	Cs-137	Weil	10	10	<0,0097	<0,032	nn	nn
		Neuf Brisach	10	9	<0,012	<0,031	<0,018	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Neuenburg/Grissheim km 206,5	3	3	<0,290	<0,558	nn	nn
		Breisach, km 232,0	3	3	<0,337	<0,438	nn	nn
	Cs-137	Neuenburg/Grissheim km 206,5	3	0	1,53	3,66	2,29	2,66
		Breisach, km 232,0	3	0	4,72	8,55	7,01	4,42
RHEIN / HIRSCHKANAL / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Hirschkanal	9	1	0,014	0,036	0,024	0,037
	Gβ		9	0	0,060	0,115	0,092	0,104
	H-3		20	11	1,20	<8,0	<5,6	<5,4
	Co-60		3	3	<0,0079	<0,013	nn	nn
	Cs-137		3	3	<0,0069	<0,011	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	3	0	460	653	534	620
	Gβ		3	0	1100	1200	1170	1250
	Co-60		7	7	<0,346	<3,60	nn	nn
	Cs-137		7	0	35,9	161	121	95
	Am-241		7	3	1,48	<16,0	5,6	2,4
RHEIN / KKP Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	13	10	3,0	<8,0	<7,1	<7,2
		Auslaufbauwerke I u. II	26	8	6,1	65,8	30,4	31
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0054	<0,029	nn	nn
		Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0053	<0,031	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,0041	<0,032	nn	nn
Auslaufbauwerke I u. II	14	14	<0,0048	<0,032	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	2	1	1,15	<1,79	<1,47	2,15
		Auslaufbauwerk	2	0	1,57	1,60	1,59	2,55
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,59	<1,23	nn	0,653
		Auslaufbauwerk	2	0	1,09	3,01	2,05	2,16
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	15,6	20,6	18,1	14,9
Auslaufbauwerk	2	0	14,4	15,4	14,9	13,0		
RHEIN / KWB Biblis								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	2	2	<6,0	<9,5	nn	<18
		Auslaufbauwerke A u. B	4	1	8,0	66,7	45,6	18,9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,020	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerke A u. B	4	4	<0,030	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,020	<0,020	nn	nn
Auslaufbauwerke A u. B	4	4	<0,030	<0,050	nn	nn		

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	a)					nn 0,69
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk						17 101
RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	4	5,0	12,0	<7,1	<7
		Auslaufbauwerk	6	2	5,0	10,0	7,2	<6,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	6	<0,010	<0,020	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,010	<0,020	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	8	6	<0,0098	<0,020	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	6	6	<0,010	<0,020	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,50	<0,66	nn	
		Auslaufbauwerk	2	0	2,2	30	16	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	10	10	10	
		Auslaufbauwerk	2	0	10	10	10	
NECKAR / GKN Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	6	5	<4,6	<8,0	<6,8	<9
		Auslaufbauwerk	6	0	63,0	227	140	96
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,019	<0,041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	6	6	<0,026	<0,044	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	6	6	<0,016	<0,054	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	6	6	<0,022	<0,064	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,52	<0,52	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,36	<0,45	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	0	5,78	5,78	5,78	4,83
		nach Auslaufbauwerk	2	1	<2,35	10,3	<6,3	3,76
NECKAR / KWO Obrigheim (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	7	2	9,55	26,0	18,0	15
		Auslaufbauwerk	7	0	13,0	40,0	23,9	19
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,011	<0,018	nn	nn
		Auslaufbauwerk	7	7	<0,015	<0,019	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	7	7	<0,010	<0,022	nn	nn	
	Auslaufbauwerk	7	7	<0,012	<0,022	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,42	<0,42	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,36	<0,51	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	1	0,40	0,40	0,40	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	0	3,82	10,3	7,1	6,4
MAIN / KKG Grafenrheinfeld								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
MAIN / Versuchsatomkraftwerk Kahl (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	3	2	<3,9	5,2	<4,4	10
		Auslauf	3	3	<3,9	<6,0	nn	9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,011	<0,013	nn	nn
		Auslauf	3	3	<0,010	<0,012	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,010	<0,014	nn	nn	
	Auslauf	3	3	<0,010	<0,010	nn	nn	
MAIN / KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächen- wasser Bq/l)	Gα	Auslauf Kläranlage Hanau	a)					nn
Sediment (Bq/kg GR) (GR= Glührückstand)			a)					
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächen- wasser (Bq/l)		siehe auch Abschnitt 2.2.2	a)					

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Sediment (Bq/kg TM)		siehe auch Abschnitt 2.2.2	a)					
DONAU / KRB Gundremmingen								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg)			a)					
ISAR / KKI Isar 1 und 2								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
ISAR / Forschungsreaktor München								
Oberflächen- wasser (Bq/l)			a)					
Sediment (Bq/kg TM)			a)					
EMS / KKE Emsland								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<7,0	<10	nn	<8
		Auslaufbauwerk	8	0	110	4060	1990	2720
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0057	<0,041	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0063	<0,044	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0049	<0,011	nn	nn
Auslaufbauwerk		4	4	<0,0053	<0,0091	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,49	<0,57	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,32	<0,57	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	0	30	36	34	32
		nach Auslaufbauwerk, km 106,	4	0	20	36	28	25
WESER / KWW Würgassen (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0026	<0,05	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0018	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	2	2	<1,7	<4,2	nn	nn
		Auslaufbauwerk	2	0	8,1	8,8	8,5	18
		Wehrden, km 60,2	2	2	<1,2	<2,9	nn	nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	2	0	9,3	15	12	21
		Auslaufbauwerk	2	0	22	25	24	24
		Wehrden, km 60,2	2	0	12	18	15	14
WESER / KWG Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<4,48	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	0	17,6	250	115	105
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0070	<0,039	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0072	<0,040	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0061	<0,010	nn	nn
Auslaufbauwerk		4	4	<0,0064	<0,0091	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,25	<0,43	nn	nn
		Hamel, km 135	4	4	<0,47	<0,56	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	2,4	14	9	12
		Hamel, km 135	4	0	12	15	14	14

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
UNTERWESER / KKK Unterweser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	8	8	<10	<10	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	5	<10	77,2	<27	29
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	8	8	<0,0067	<0,050	nn	nn
		Auslaufbauwerk	8	8	<0,0061	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0074	<0,012	nn	<0,008
Auslaufbauwerk		4	4	<0,0051	<0,0097	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	1	<0,56	0,90	0,75	0,81
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	0,31	0,58	0,44	0,53
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	11	13	12	10
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	4,4	5,9	5,3	5,4
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	8	8	<10	<10	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<10	<10	nn	nn
	Co-60	Selhausen	8	8	<0,05	<0,05	nn	nn
		Jülich-Süd	8	8	<0,05	<0,05	nn	nn
	Gα	Selhausen	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn
Jülich-Süd		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<1,6	<2,5	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<1,1	<1,2	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	13	19	16	14
		Jülich-Süd	2	0	6,9	11	9	23
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Retentionsanlage	4	4	<0,06	<0,06	nn	<0,07
		Goorbach ,unterhalb der Stra- ßenkreuzung	4	4	<0,06	<0,06	nn	<0,06
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<1,0	<2,5	nn	nn
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<1,7	<3,8	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2	0	18	39	29	56
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	14	31	23	36
AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
			4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3	4	4	<10	<10	nn	nn	
		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Einleitung Moorbach	4	4	<1,2	<1,7	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,2	<2,5	nn	nn
	Cs-137	Einleitung Moorbach	4	0	19	28	25	32
		Ahauser Aa	4	0	31	46	38	49
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<5,6	<10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<5,6	<10	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	8	<0,015	<0,040	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,020	<0,038	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	8	6	<0,018	<0,037	<0,025	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	8	8	<0,020	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	6	<0,29	<1,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	6	<0,24	<0,94	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	6	4	<0,28	1,6	<0,8	0,70
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	6	5	<0,24	0,98	<0,80	nn
ELBE / KKK Krümmel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	16	<5,6	<6,6	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	15	<5,6	6,7	<6,3	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0091	<0,024	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0012	<0,023	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0053	<0,025	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,0013	<0,024	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 580	4	4	<0,84	<1,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582	4	4	<0,82	<1,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580	4	0	0,75	1,3	1,0	1,4
		nach Auslaufbauwerk, km 582	4	2	0,57	<1,1	<0,9	0,9
ELBE / KBR Brokdorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	16	13	<4,7	8,6	<5,7	<6,0
		Auslaufbauwerk	16	1	6,3	55,1	22,6	19,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,044	nn	nn
		Auslaufbauwerk	16	16	<0,011	<0,046	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,044	nn	nn
	Auslaufbauwerk	16	16	<0,012	<0,048	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,2	<1,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,90	<1,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	1,1	3,4	1,9	2,2
		nach Auslaufbauwerk	4	3	<0,88	1,2	<1,0	<0,82
ELBE / KKS Stade (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	5	<0,37	<10	1,8	2,1
		Auslaufbauwerk	13	2	<5,6	490	141	428
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	13	<0,0011	<0,015	nn	nn
		Auslaufbauwerk	13	13	<0,0061	<0,030	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 628,9	13	7	<0,0014	<0,011	<0,004	0,003
	Auslaufbauwerk	13	12	0,0052	<0,031	<0,018	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,17	<0,44	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,27	<0,44	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	1,6	9,6	4,6	4,4
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	3,6	7,9	5,7	7,2
ELBE / KKB Brunsbüttel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	24	24	<4,3	<5,9	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	22	<4,3	30,7	<7,2	<16
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	24	24	<0,0093	<0,022	nn	nn
		Auslaufbauwerk	24	24	<0,010	<0,026	nn	nn
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0036	0,0046	0,0041	0,0041
		Auslaufbauwerk	12	0	0,0036	0,0046	0,0042	0,004
Cs-137	vor Auslaufbauwerk	24	21	0,0081	<0,027	<0,017	<0,017	
	Auslaufbauwerk	24	21	0,0080	<0,029	<0,018	<0,018	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,2	<1,6	nn	nn
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	4	<1,1	<1,4	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	3,6	7,1	4,7	3,3
		5m unterhalb Auslaufbauwerk	4	0	1,8	4,2	2,9	2,7
ELBE / TBL / PKA Gorleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schnackenburg, km 474,6	8	1	1,61	3,42	2,5	2,6
		Dömitz, km 504,4	8	0	1,56	3,60	2,8	2,6
	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	8	8	<0,0008	<0,012	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	8	8	<0,001	<0,0095	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	12	7	0,0002	<0,012	<0,005	<0,004
		Dömitz, km 504,4	12	5	0,0003	<0,0092	0,0007	0,0007
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,0004	<0,0005	nn	nn
	Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,0005	<0,0007	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,0004	<0,0005	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schnackenburg, km 474,6	4	4	<0,23	<0,31	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	4	4	<0,43	<0,82	nn	nn
	Cs-137	Schnackenburg, km 474,6	4	0	13	26	20	13
		Dömitz, km 504,4	4	0	15	22	20	10
	Pu-238	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,13	<0,17	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,11	<0,16	nn	nn
	Pu-(239 +240)	Schnackenburg, km 474,6	2	2	<0,13	<0,17	nn	nn
		Dömitz, km 504,4	2	2	<0,11	<0,16	nn	nn

GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment	Nuklid	Probenentnahmestelle	Anzahl 2005		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2005		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2005	2004
ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kalter Bach	8	0	15,0	400	124	230
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<4,6	<5,0	nn	<5,9
	Co-60	Kalter Bach	8	3	0,0031	0,0096	0,0052	0,011
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,0047	<0,0050	nn	nn
		Kalter Bach	7	0	0,0027	0,019	0,008	0,004
Pu-238		4	4	<0,0001	<0,0006	nn	<0,0003	
Pu-(239 +240)		4	3	0,0001	<0,0006	<0,0002	0,0003	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	3	0	0,67	0,72	0,69	2,0
		Wesenitz, Dittersbach	2	2	<0,20	<0,22	nn	nn
		Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	2	<0,25	<0,53	nn	nn
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	6,2	13,0	8,7	10
		Wesenitz, Dittersbach	2	0	3,0	5,2	4,1	4,1
Elbe unterhalb d. Wesenitz	2	0	1,4	12,0	6,7	11		
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Salzbach	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Co-60	vor Salzbach	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Salzbach	4	4	<0,005	<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	0,35	0,45	0,40	0,41	
	nach Salzbach	12	0	0,40	0,54	0,47	0,49	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,34	<0,34	nn	nn
		Belsdorf	1	1	<0,30	<0,30	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1	0	5,4	5,4	5,4	4,4
		Belsdorf	1	0	6,9	6,9	6,9	5,3
Forschungsbergwerk Asse								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Vorfluter Remlingen	1	1	<2,4	<2,4	nn	
	Co-60		1	1	<0,0041	<0,0041	nn	
	Cs-137		1	1	<0,0035	0,0035	nn	
HAVEL / KKR Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	50m vor Einleitstelle	8	8	<5,2	<9,4	nn	nn
		50m nach Einleitstelle	8	8	<5,2	<9,4	nn	nn
	Co-60	50m vor Einleitstelle	16	16	<0,0013	<0,015	nn	nn
		50m nach Einleitstelle	16	16	<0,0015	<0,013	nn	nn
	Cs-137	50m vor Einleitstelle	16	3	0,0030	0,023	0,007	0,006
		50m nach Einleitstelle	16	2	0,0020	<0,013	0,006	0,006
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	50m vor Einleitstelle	2	2	<0,11	<0,12	nn	0,15
		50m nach Einleitstelle	2	2	<0,12	<0,13	nn	<0,13
	Cs-137	50m vor Einleitstelle	2	0	15,0	18,0	16,5	16
		50m nach Einleitstelle	2	0	2,5	3,4	3,0	5,6
GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Zulaufkanal	16	15	3,4	<5,0	<4,8	<4,9
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<4,2	<5,0	nn	nn
	Co-60	Zulaufkanal	16	16	<0,0031	<0,049	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	16	<0,0032	<0,049	nn	nn
	Cs-137	Zulaufkanal	16	11	0,015	0,073	<0,040	<0,036
		nach Auslauf (Hafenbecken)	16	9	0,025	0,060	<0,044	<0,044
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Zulaufkanal	2	2	<0,19	<0,21	nn	nn
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	2	<0,21	<0,26	nn	nn
	Cs-137	Zulaufkanal	2	0	4,7	7,2	6,0	6,6
		nach Auslauf (Hafenbecken)	2	0	3,4	4,3	3,9	7,8

a) Daten lagen nicht vor

nn nicht nachgewiesen/nachweisbar

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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 2005 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2005 insgesamt 4,3 m³ (Vorjahr: 6,1 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 1,5 GBq bzw. 1,4 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 205 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 7 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 2005 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2005 - summation values, tritium and alpha sources)

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

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 2005
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2005)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	α -Strahler
	Aktivität in Bq		
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	3,1 E07	6,8 E12	
Jülich	1,5 E08	6,3 E11	
GKSS Geesthacht	1,3 E08	2,9 E07	2,6 E04
HMI Berlin	2,3 E05	5,9 E08	
Garching FRM I	2,7 E05	4,6 E06	
Garching FRM II	1,8 E06	3,4 E08	
FRZ/VKTA Rossendorf ¹⁾	7,1 E06	4,0 E10	5,1 E05

1) vormals ZfK Rossendorf

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 2005
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2005)

Betrieb	α -Strahler
	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH	7,6 E06
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung ¹⁾	a
Betriebsteil Uran-Verarbeitung ¹⁾	a
ANF GmbH (Lingen)	nn
URENCO (Gronau)	2,7 E03

1) Brennelementproduktion eingestellt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 2.2.4-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2005 (Vorjahreswerte in Klammern)
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben in the year 2005)

Radionuklid	Aktivitätsabgabe in Bq
Tritium	1,6 E05 (1,3 E04)
Nuklidgemisch (außer Tritium)	2,9 E03 (9,2 E02)

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	2003	0 - 10	14	48,0	136,0	10	2,0	5,5
	2004	0 - 10	14	42,2	118,0	10	2,1	5,4
	2005	0 - 10	12	35,7	116,0	7	2,5	6,9
Bayern	2003	0 - 10	19	108,5	345,0	17	2,0	4,3
	2004	0 - 10	18	101,4	425,0	17	1,7	4,3
	2005	0 - 10	19	87,1	358,0	17	5,8	10,6
Berlin	2003	0 - 10	4	9,7	18,0	1	1,8	-
	2004	0 - 10	4	11,3	15,8	1	2,6	-
	2005	0 - 10	4	14,8	21,0	1	2,0	-
Brandenburg	2003	0 - 10	15	18,1	56,0	6	1,7	2,5
	2004	0 - 10	15	14,2	47,8	6	1,8	2,7
	2005	0 - 10	7	17,9	58,0	2	2,5	2,6
Bremen	2003	0 - 10	1	40,1	-	1	3,1	-
	2004	0 - 10	1	7,6	-	1	4,9	-
	2005	0 - 10	1	23,5	-	1	1,2	-
Hamburg	2003	0 - 10	2	4,0	4,3	1	2,5	-
	2004	0 - 10	2	5,8	7,2	1	1,0	-
	2005	0 - 10	1	10,1	-	-	-	-
Hessen	2003	0 - 10	5	19,9	29,3	3	3,1	5,8
	2004	0 - 10	5	20,0	35,7	3	2,8	5,3
	2005	0 - 10	2	23,1	28,9	-	-	-
Mecklenburg-Vorpommern	2003	0 - 10	8	21,8	66,2	4	1,3	2,5
	2004	0 - 10	8	17,2	61,8	4	0,6	0,8
	2005	0 - 10	8	20,0	83,1	4	0,7	0,8

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Niedersachsen	2003	0 - 10	7	35,8	90,9	4	2,8	4,1
	2004	0 - 10	9	30,7	69,1	4	2,5	3,2
	2005	0 - 10	13	28,8	71,5	4	9,1	17,6
Nordrhein-Westfalen	2003	0 - 10	20	15,1	26,0	5	1,3	2,5
	2004	0 - 10	20	16,6	68,9	5	<5,4	22,4*
	2005	0 - 10	20	<11,7	29,3	6	4,1	17,8*
Rheinland-Pfalz	2003	0 - 10	7	15,1	18,5	3	1,1	1,4
	2004	0 - 10	6	16,2	23,9	2	0,8	0,9
	2005	0 - 10	7	21,2	26,4	4	1,3	1,7
Saarland	2003	0 - 10	3	15,8	26,9	2	1,9	2,2
	2004	0 - 10	3	14,3	24,1	2	1,8	2,2
	2005	0 - 10	2	14,3	20,8	2	1,7	1,8
Sachsen	2003	0 - 10	6	13,1	33,7	5	1,0	1,8
	2004	0 - 10	6	16,1	44,7	5	1,3	2,6
	2005	0 - 10	6	13,9	34,8	5	1,2	2,6
Sachsen-Anhalt	2003	0 - 10	2	7,9	9,9	a)		
	2004	0 - 10	4	9,3	15,0	a)		
	2005	0 - 10	1	15,4	-	a)		
Schleswig-Holstein	2003	0 - 10	7	15,0	20,7	5	1,5	1,7
	2004	0 - 10	7	14,4	21,5	5	1,6	1,6
	2005	0 - 10	8	16,3	28,0	6	1,3	2,0
Thüringen	2003	0 - 10	6	24,1	35,7	3	1,7	1,7
	2004	0 - 10	6	22,9	35,4	3	1,8	1,9
	2005	0 - 10	6	24,7	37,7	3	1,2	1,7

a) Messwerte lagen nicht vor

* Der Sr-90-Wert ist nicht repräsentativ

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	2003	0 - 30	8	29,1	86,1	a)		
	2004	0 - 30	10	25,9	95,3	a)		
	2005	0 - 30	11	25,1	78,5	a)		
Bayern	2003	0 - 30	26	31,5	206,0	3	3,0	7,1
	2004	0 - 30	26	29,1	195,0	3	2,7	6,4
	2005	0 - 30	25	25,9	147,0	3	2,8	5,8

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Berlin	2003	0 - 30	1	3,0	-	1	1,0	-
	2004	0 - 30	1	8,7	-	1	2,1	-
	2005	0 - 30	2	7,7	9,2	1	1,3	-
Brandenburg	2003	0 - 30	9	11,9	31,0	3	0,7	1,0
	2004	0 - 30	9	11,2	32,0	2	1,0	1,5
	2005	0 - 30	9	11,3	28,0	3	0,8	1,5
Bremen	2003	0 - 30	2	8,6	13,2	1	1,5	-
	2004	0 - 30	2	4,1	4,4	1	1,4	-
	2005	0 - 30	2	7,4	10,6	1	0,7	-
Hamburg	2003	0 - 30	1	6,1	-	1	2,3	-
	2004	0 - 30	1	7,8	-	1	1,1	-
	2005	0 - 30	1	7,6	-	1	0,9	-
Hessen	2003	0 - 30	7	10,2	17,9	2	0,9	1,5
	2004	0 - 10	7	11,1	20,9	2	1,2	1,5
	2005	0 - 30	6	10,6	18,3	2	1,3	1,5
Mecklenburg-Vorpommern	2003	0 - 30	7	11,9	24,5	2	0,9	1,3
	2004	0 - 30	7	9,1	19,7	2	0,9	1,0
	2005	0 - 30	7	11,1	26,9	2	1,0	1,4
Niedersachsen	2003	0 - (25/30)	22	12,4	39,0	12	3,2	5,2
	2004	0 - (25/30)	24	<10,8	50,0	9	2,8	4,1
	2005	0 - (25/30)	27	11,4	37,8	7	3,7	13,5
Nordrhein-Westfalen	2003	0 - 30	19	9,9	16,5	5	1,9	6,8
	2004	0 - 30	20	<10,8	53,9	5	1,6	4,9
	2005	0 - 30	19	8,9	20,9	5	1,1	2,6
Rheinland-Pfalz	2003	0 - (25/30)	7	9,1	18,7	3	1,0	1,7
	2004	0 - (25/30)	6	8,3	17,2	2	0,9	1,1
	2005	0 - (25/30)	6	8,3	16,0	2	1,3	1,8
Saarland	2003	a)				a)		
	2004	a)				a)		
	2005	0 - 30	1	10,2	-	a)		
Sachsen	2003	0 - 30	6	8,9	14,2	a)		
	2004	0 - 30	6	9,3	21,4	a)		
	2005	0 - 30	6	9,4	21,2	a)		
Sachsen-Anhalt	2003	0 - 30	14	16,0	61,1	5	0,8	1,3
	2004	0 - 30	13	22,1	111,0	5	1,1	2,0
	2005	0 - 30	12	12,9	48,1	5	0,5	0,8
Schleswig-Holstein	2003	0 - 30	5	8,1	11,8	a)		
	2004	0 - 30	5	7,2	12,0	a)		
	2005	0 - 30	5	8,5	11,1	a)		
Thüringen	2003	0 - 30	6	10,5	16,8	2	1,4	1,7
	2004	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,2	1,3
	2005	0 - 30	6	9,9	14,7	2	1,3	1,3

- 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	2003	0 - 10	4	39,2	58,6	2	2,5	3,3
	2004	0 - 10	4	49,0	86,9	2	2,8	5,0
	2005	0 - 10	4	35,8	60,6	2	2,8	4,7
Niedersachsen	2003	0 - 10	2	116,1	212,0	a)		
	2004	0 - 10	2	180,0	343,0	a)		
	2005	0 - 10	2	95,8	170,0	a)		
Nordrhein-Westfalen	2003	0 - 10	6	65,3	129,0	a)		
	2004	0 - 10	6	64,3	206,0	a)		
	2005	0 - 10	6	46,7	138,0	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	2003	20	<1,6	6,7	10	2,5	6,3
	2004	20	<1,8	7,2	10	1,8	3,7
	2005	19	<0,6	7,7	8	0,4	1,1
Bayern	2003	80	<4,7	50,0	30	2,9	6,5
	2004	79	<3,2	29,1	30	1,9	4,9
	2005	71	<1,1	15,6	26	0,6	1,6
Berlin	2003	3	0,9	1,3	1	1,9	-
	2004	2	<1,5	2,6	1	0,5	-
	2005	2	0,8	1,1	1	0,6	-
Brandenburg	2003	26	<2,7	19,0	8	1,8	5,0
	2004	23	2,9	11,0	8	1,6	3,2
	2005	16	<0,7	4,0	5	0,4	0,6
Bremen	2003	2	1,2	1,5	1	0,8	-
	2004	2	<1,6	2,6	1	3,7	-
	2005	2	0,7	1,4	1	0,08	-
Hamburg	2003	2	1,1	1,7	1	2,5	-
	2004	2	1,0	1,0	1	2,1	-
	2005	1	<0,2	-	a)		
Hessen	2003	5	3,7	11,4	3	2,3	3,4
	2004	5	<1,7	4,5	3	3,6	5,9
	2005	15	<0,4	2,0	8	0,6	1,1
Mecklenburg-Vorpommern	2003	25	<4,2	41,7	12	1,9	3,2
	2004	25	<3,2	32,6	12	1,3	3,4
	2005	25	<0,5	4,3	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
Niedersachsen	2003	38	<10,3	132,0	21	2,6	4,9
	2004	41	<4,0	61,8	20	2,3	3,1
	2005	56	<1,4	13,0	20	0,4	1,7
Nordrhein-Westfalen	2003	19	<1,3	6,2	8	1,1	1,9
	2004	22	<1,1	2,8	9	1,4	3,7
	2005	19	<0,2	0,5	8	0,6	2,6
Rheinland-Pfalz	2003	8	<1,2	2,6	4	1,5	2,1
	2004	7	<0,4	<0,6	3	1,3	1,8
	2005	8	<0,4	1,0	5	0,5	0,8
Saarland	2003	2	1,0	1,3	1	2,5	-
	2004	2	<0,2	<0,2	1	2,4	-
	2005	2	<0,2	<0,2	1	0,2	-
Sachsen-Anhalt	2003	16	<0,7	2,8	7	1,0	2,0
	2004	18	<0,8	3,5	7	1,2	2,3
	2005	14	<0,4	2,0	7	0,2	0,4
Sachsen	2003	20	<1,6	10,3	10	1,2	2,9
	2004	20	<1,5	8,8	10	1,3	2,5
	2005	20	<0,6	10,3	10	0,3	0,5
Schleswig-Holstein	2003	20	<0,7	2,6	10	2,3	3,9
	2004	20	<1,0	2,9	10	2,2	3,4
	2005	21	<0,2	0,5	11	0,4	0,6
Thüringen	2003	12	<0,8	1,9	6	1,5	3,1
	2004	12	<0,6	1,7	6	1,7	2,5
	2005	12	<0,1	0,3	6	0,3	0,4

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

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	2003	246	<0,7	7,4	1	0,9	-
	2004	245	<0,5	5,3	1	<0,03	-
	2005	251	<0,5	6,6	1	0,02	-
Futterrüben	2003	36	<0,5	4,6	1	0,1	-
	2004	39	<1,1	24,9	-	-	-
	2005	27	<0,4	1,1	-	-	-
Futtergetreide	2003	136	<0,2	0,8	-	-	-
	2004	140	<0,3	1,6	-	-	-
	2005	147	<0,2	0,9	-	-	-

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Futterkartoffeln	2003	72	<0,5	2,8	-		
	2004	82	<0,4	2,8	-		
	2005	70	<0,5	3,6	-		
Erbsen	2003	6	<0,2	<0,4	1	3,9	-
	2004	2	<0,2	<0,2	1	0,7	-
	2005	4	<0,2	<0,2	-		
Raps	2003	6	<0,2	0,5	-		
	2004	4	<0,2	<0,3	-		
	2005	7	<0,3	0,5	-		
Ölkuchen/ Ölschrote	2003	3	<0,2	<0,2	-		
	2004	1	<1,3	-	-		
	2005	3	<0,3	0,3	-		

- 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	2003	3	<0,05	<0,07
	2004	6	<0,23	0,13
	2005	8	<0,15	<0,24
Mais, Maisprodukte	2003	23	<0,26	0,97
	2004	24	<0,25	0,93
	2005	19	<0,20	<0,68
Maniok, Tapioka	2003	2	<0,3	<0,3
	2004	5	<0,3	<0,4
	2005	2	<0,2	<0,3
Ölkuchen, Ölschrote	2003	87	<0,4	1,75
	2004	82	<0,4	1,2
	2005	75	<0,4	1,0
Erbsen	2003	a)		
	2004	2	<0,2	<0,3
	2005	a)		
Leguminosen, Lupinen	2003	1	<0,2	<0,2
	2004	1	0,5	-
	2005	2	<0,6	0,6
Fischmehl	2003	1	0,5	0,5
	2004	1	<0,15	-
	2005	1	0,3	-

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Tiernebenprodukte	2003	2	<0,14	<0,14
	2004	2	<0,14	<0,15
	2005	a)		
Kartoffeleiweiß	2005	2	<0,21	0,35
Molkenpulver	2003	a)	a)	a)
	2004	2	<0,3	0,3
	2005	1	0,5	-
Citrustrester	2003	4	<0,3	<0,3
	2004	8	<0,08	1,1
	2005	7	<0,3	<0,3

- 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	2003	115	<11,0	335,0
	2004	109	<9,3	72,0
	2005	114	<15,9	665,7
Nadeln	2003	60	<45,5	1250,0
	2004	53	<39,4	831,0
	2005	55	<44,0	751,0
Gras	2003	113	<13,1	174,0
	2004	108	<14,2	303,0
	2005	113	<18,6	364,0
Ferne (Thüringen)	2003	2	143,7	285,0
	2004	2	107,8	214,0
	2005	3	<203,1	607,0

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)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Pu-238 Pu-(239+240)
FZ Karlsruhe	2003	6	12,3	4	<0,14 <0,09
	2004	5	11,4	4	0,11 <0,08
	2005	5	12,4 (7,6 - 15,2)	3	<0,08 (<0,02-0,13) 0,32(0,16-0,43)
					Sr-90
KWO	2003	8	10,0		
Obrigheim	2004	8	9,8		
	2005	5	9,6 (3,0 - 13,0)		
GKN	2003	8	10,2		
Neckarwestheim	2004	4	10,8		
	2005	4	11,6 (3,5 - 20,4)		
KKP	2003	8	14,0		
Philippsburg	2004	6	10,3		
	2005	8	14,6 (7,7 - 28,0)		
KKW	2003	8	24,7		
Beznau/Leibstadt	2004	8	25,1		
Schweiz	2005	8	24,3 (12,1 - 37,2)		
KKW	2003	4	11,4		
Fessenheim	2004	4	11,1		
Frankreich	2005	2	10,4 (9,7 - 11,1)		
TRIGA	2003	2	b) 15,3; 17,3		
Heidelberg	2004	2	b) 13,6; 16,5		
	2005	1	14,9		
Bayern					
VAK	2003	2	20,0		
Kahl	2004	a)			
	2005	a)			
KRB	2003	10	65,0		
Gundremmingen	2004	a)			
	2005	a)			
KKI	2003	12	65,5		
Isar	2004	a)			
	2005	a)			
KKG	2003	10	8,2		
Grafenrheinfeld	2004	a)			
	2005	a)			
Forschungsreaktor	2003	2	62,5		
München	2004	a)			
	2005	a)			

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM						
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)			
Framatome ANP Erlangen KWU	2003	4	18,3	2	Pu-238	Pu-(239+240)		
	2004	a)		0,07	0,15 Pu-239 0,15Pu-240			
	2005	a)		a)	a)			
	2003	4		4	U-235	U-238	Am-241	
	2004	a)		a)	0,51	10,5	<0,04	
	2005	a)		a)	a)	a)	a)	
	2003	2	12,0	2	Pu-238	Pu-(239+240)		
	2004	a)		<0,1	0,13 (N=1)			
	2005	a)		a)	a)			
	2003	2		2	U-235	U-238	Am-241	
2004	a)		a)	<0,16	<2,9	<0,08		
2005	a)		a)	a)	a)	a)		
SBWK Karlstein	2003	a)	Gesamt-α-Aktivität					
	2004	a)						
	2005	a)						
Berlin			Cs-137					
Forschungsreaktor BERII	2003	8	12,8		Sr-90			
	2004	8	13,6					
	2005	8	17,2 (11,0 - 21,0)					
Brandenburg KKR Rheinsberg	2003	8	8,9					
	2004	8	9,7					
	2005	8	8,9 (4,5 - 11,0)					
Hessen			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche					
KWB Biblis	2003	10	8,9				Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche	Pu-(239+240) Bq/kg Asche
	2004	10	7,5					<0,58 0,15 a)
2005	a)							
Nuklearbetriebe Hanau	2003	8	920	4	U-235			
	2004	8	250	4				
	2005	a)		a)				
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137					
KGR Greifswald	2003	29	9,4	18	0,8			
	2004	19	9,3	a)				
	2005	8	4,2 (2,5 - 6,9)	a)				
			Sr-90					
Zwischenlager Nord	2003	30	6,6					
	2004	28	<7,1					
	2005	24	<4,6 (<0,4 - 10,5)					

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Niedersachsen	Cs-137	Sr-90				
		KKS	2003	14	8,0	a)
		Stade	2004	14	9,7	a)
			2005	14	9,5 (3,3 - 18,0)	a)
		KKU	2003	12	17,2	a)
		Unterweser	2004	12	19,3	a)
			2005	12	21,1 (8,6 - 55,0)	a)
		KWG	2003	10	15,4	a)
		Grohnde	2004	10	14,9	a)
		2005	10	10,5 (3,8 - 17,0)	a)	
	KKE	2003	10	15,8	a)	
	Emsland	2004	10	18,2	a)	
		2005	10	15,1 (7,9 - 23,7)	a)	
	Zwischenlager Gorleben	2003	26	32,6	4	4,2
		2004	26	29,5	4	1,4
		2005	26	31,5 (16,0 - 61,0)	4	2,6 (0,3 - 6,1)
		Pu-238		Pu-(239+240)		
		2003	2	<0,17	2	<0,17
		2004	2	<0,08	2	<0,08
		2005	2	<0,12 (<0,12 - <0,12)	2	<0,12 (<0,12-<0,12)
	Cs-137		Gesamt-α-Aktivität			
FMRB	2003	8	23,4	a)		
Braunschweig	2004	8	13,4	a)		
	2005	4	16,4 (7,3 - 19,8)	a)		
	Sr-90					
Schacht Konrad II c)	2003	4	11,2	a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
	U-234		U-235		U-238	
Advanced	2003	12	12,0	a)	a)	
Nuclear Fuels	2004	12	13,2	a)	a)	
Lingen	2005	a)	a)	a)	a)	
	Sr-90					
Forschungsbergwerk Asse	2005	4	9,7 (8,1 - 11,0)			
Nordrhein-Westfalen						
FZ Jülich	2003	10	8,8	6	1,3	
	2004	10	9,8	6	1,0	
	2005	10	7,7 (3,9 - 11,4)	6	1,2 (0,4 - 2,6)	
KWW	2003	20	17,7			
Würgassen	2004	19	15,2			
	2005	20	19,3 (5,8 - 76,0)			

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
THTR	2003	8	15,0	a)	a)
Uentrop	2004	8	12,7	a)	a)
	2005	8	20,5 (6,0 - 69,8)	a)	a)
Zwischenlager	2003	5	15,0	5	0,4
Ahaus	2004	6	10,9	5	0,5
	2005	5	8,2 (5,9 - 11,4)	5	0,6 (0,3 - 0,8)
			U-238		
UAG Gronau	2003	10	<0,2		
	2004	10	<0,2		
	2005	10	<0,2 (<0,2 - <0,2)		
			Cs-137		
Rheinland-Pfalz					
KMK	2003	8	8,4		
Mülheim-Kärlich	2004	5	14,9		
	2005	3	6,1 (3,1 - 9,6)		
KKW	2003	a)		a)	
Cattenom	2004	a)		a)	
Frankreich	2005	a)		a)	
Sachsen					
VKTA	2003	16	7,1		
Rosendorf	2004	16	8,3		
	2005	16	6,6 (2,3 - 11,0)		
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	2003	8	10,3	4	0,3
	2004	8	9,5	4	0,3
	2005	7	9,4 (4,0 - 17,0)	4	0,2 (0,2 - 0,3)
					Gesamt-β-Aktivität
					608
					620
					620 (570 - 660)
Schleswig-Holstein					
GKSS	2003	10	11,4	2	0,3
Geesthacht	2004	10	12,0	2	0,3
	2005	5	12,9 (7,0 - 20,6)	1	0,4
KKB	2003	8	29,8	a)	
Brunsbüttel	2004	8	30,5	2	b) 0,8; 4,7
	2005	6	20,4 (3,4 - 48,3)	2	b) 0,9; 3,3
KKK	2003	12	7,2	6	0,8
Krümmel	2004	12	6,6	6	0,8
	2005	6	6,6 (4,0 - 8,6)	3	0,5 (0,4 - 0,6)
KBR	2003	12	20,3	8	2,1
Brokdorf	2004	16	17,1	8	2,0
	2005	8	15,1 (6,1 - 33,0)	4	2,1 (0,8 - 3,3)

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 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)**

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Pu-238 Pu-(239+240)
FZ Karlsruhe	2003	6	0,9	4	<0,03 <0,03
	2004	6	0,8	4	<0,02 <0,02
	2005	2	2,2 (2,0 - 2,4)	a)	a) a)
					Sr-90
KWO Obrigheim	2003	8	<0,8	a)	
	2004	8	<0,8		
	2005	5	<0,5 (0,3 - 1,3)		
GKN Neckarwestheim	2003	8	<1,0		
	2004	4	0,6		
	2005	4	<0,4 (0,3 - 0,7)		
KKP Philippsburg	2003	8	<2,6		
	2004	6	1,3		
	2005	8	1,9 (0,2 - 3,9)		
KKW Beznau/Leibstadt Schweiz	2003	8	3,3		
	2004	8	2,3		
	2005	6	2,2 (1,0 - 4,8)		
KKW Fessenheim Frankreich	2003	4	1,8		
	2004	4	0,5		
	2005	2	0,7 (0,6 - 0,9)		
TRIGA Heidelberg	2003	2	0,3		
	2004	2	b) 0,1; 0,5		
	2005	1	1,6		
Bayern					
VAK Kahl	2003	2	0,9		
	2004	a)			
	2005	a)			
KRB Gundremmingen	2003	10	1,8		
	2004	a)			
	2005	a)			
KKI Isar	2003	12	6,4		
	2004	a)	a)		
	2005	a)	a)		
KKG Grafenrheinfeld	2003	10	<0,4		
	2004	a)	a)		
	2005	a)	a)		
Forschungsreaktor München	2003	2	4,5		
	2004	a)			
	2005	a)			

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
Framatome ANP Erlangen (KWU)	2003	4	<1,0	2	0,019 (N=1)	0,023	
	2004	a)		a)			
	2005	a)		a)			
	Framatome ANP Karlstadt (KWU)	2003	2	b)0,3;<0,4	2	<0,06	<0,02 (N=1)
		2004	a)		a)		
		2005	a)		a)		
SBWK Karlstadt	2003	a)	Gesamt-α-Aktivität	Sr-90			
	2004	a)					
	2005	a)					
Berlin Forschungsreaktor BERII	2003	8	Cs-137 <1,5	a)	a)	a)	
	2004	8					<1,9
	2005	8					<2,1 (<0,2 - 4,2)
Brandenburg KKR Rheinsberg	2003	8	2,9	a)	a)	a)	
	2004	8					3,0
	2005	8					3,5 (0,3 - 8,1)
Hessen KWB Biblis	2003	10	<0,7	a)	a)	a)	
	2004	10					<0,4
	2005	a)					
Nuklearbetriebe Hanau	2003	3	Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche 507	a)	Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche a)	Pu-(239+240) Bq/kg Asche a)	
	2004	2					450
	2005	a)					
Mecklenburg-Vorp. KGR Greifswald	2003	20	Cs-137 <0,5	a)	a)	a)	
	2004	14					<2,9
	2005	8					<2,2 (0,1 - 9,1)
Zwischenlager Nord	2003	24	<0,5	a)	a)	a)	
	2004	24					<1,2
	2005	24					<0,8 (0,2 - 3,7)
Niedersachsen KKS Stade	2003	10	<0,7	a)	a)	a)	
	2004	14					<0,6
	2005	14					<0,8 (<0,1 - 3,2)
KKU Unterweser	2003	12	<0,8	a)	a)	a)	
	2004	12					<0,6
	2005	12					<0,9 (<0,2 - 2,8)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
			Cs-137		Sr-90		
KWG	2003	10	<0,3	a)			
Grohnde	2004	10	<0,4				
	2005	10	<1,1 (<0,1 - 5,0)				
Zwischenlager Grohnde	2004	6	0,8	a)			
	2005	a)					
KKE	2003	10	1,3				
Emsland	2004	10	1,2				
	2005	10	<1,2 (<0,2 - 3,7)				
Zwischenlager Lingen	2004	6	<1,2	a)			
	2005	a)					
Zwischenlager Gorleben	2003	20	15,2	5	10,3		
	2004	20	20,7	4	8,7		
	2005	20	<9,2 (0,5 - 37,0)	3	7,9 (3,7 - 15,0)		
FMRB	2003	4	8,1				
Braunschweig	2004	4	2,2				
	2005	2	1,1 (0,6 - 1,6)				
Schacht Konrad II d)	2003	4	<5,5	a)	Sr-90	Gesamt-α-Aktivität	
	2004	a)		a)	a)	a)	
	2005	a)		a)	a)	a)	
Advanced Fuels Lingen	2003	a)	0,7	1	Pu-238	Pu-(239+240)	
	2004	4		1	<0,03 (Bq/kg FM)	<0,03 (Bq/kg FM)	
	2005	a)		a)	<0,01 (Bq/kg FM)	<0,01 (Bq/kg FM)	
					U-234	U-235	U-238
					Bq/kg FM		
	2003			2	0,10	b)0,004; <0,014	0,11
	2004			1	0,065	0,003	0,059
	2005			1	0,028	0,002	0,028
						Bq/kg TM	
	2004			4	<0,08	<0,02	<0,10
	2005			a)	a)	a)	a)
					Sr-90		
Forschungsbergwerk Asse	2005	4	< 0,2 (<0,1 - <0,2)				
Nordrhein-Westf.							
FZ Jülich	2003	10	<0,4	a)			
	2004	10	<0,3	a)			
	2005	8	<0,3 (0,2 - <0,5)	a)			
KWO	2003	12	<0,4	a)			
Würgassen	2004	12	<0,8	a)			
	2005	10	<0,5 (<0,2 - 1,4)	a)			

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs137		Sr-90
THTR	2003	8	<3,4		
Uentrop	2004	8	<1,2		
	2005	8	<1,0 (0,2 - 2,7)		
Zwischenlager	2003	9	<0,9	9	1,1
Ahaus	2004	10	<0,9	8	1,6
	2005	9	<1,6 (0,2 - 3,6)	8	1,0 (0,4 - 2,4)
			U-238 Bq/kg TM		Uran Bq/kg TM Fluor mg/kg TM
UAG Gronau	2003	4	<0,4	16	c)<1,6 (<0,23-21,1) c)<13,5(<1,5-189,0)
	2004	4	<0,3	13	<0,23 <1,5
	2005	6	<0,4 (<0,4 - <0,4)	12	<0,39(<0,23-2,1) <1,8(<1,5 - 4,3)
			Cs-137		Sr-90
Rheinland-Pfalz					
KMK	2003	7	<0,4		
Mülheim-Kärlich	2004	4	<0,5		
	2005	3	<0,5 (<0,3 - 0,8)		
KKW	2003	a)		a)	
Cattenom	2004	a)		a)	
Frankreich	2005	a)		a)	
Sachsen-Anhalt					Gesamt-β-Aktivität
Endlager	2003	8	<0,7	4	1000
Morsleben	2004	8	<1,2	4	1050
	2005	8	<0,6 (0,3 - 1,0)	4	1150 (1100 - 1200)
Sachsen					Sr-90
VKTA	2003	16	<2,1		
Rosendorf	2004	16	<1,5		
	2005	16	<1,5 (0,2 - 3,3)		
Schleswig-Holstein					
GKSS	2003	8	2,3		
Geesthacht	2004	8	2,8		
	2005	4	1,0 (0,3 - 1,7)		
KKB	2003	8	0,5	a)	
Brunsbüttel	2004	8	0,4	a)	
	2005	4	<0,2 (<0,2 - 0,3)	a)	
KKK	2003	8	<0,7	6	0,9
Krümmel	2004	8	<0,4	6	2,4
	2005	4	0,6 (0,2 - 1,2)	3	2,2 (1,6 - 3,1)
KBR	2003	8	<0,6	a)	a)
Brokdorf	2004	14	<0,8	a)	a)
	2005	6	0,9 (0,5 - 1,2)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

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

d) 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

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

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 2005 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 65 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen fast alle unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,53 mBq/l bis 11 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Die tatsächlich gemessenen Werte liegen unter den gefundenen Nachweisgrenzen (2005: 2,2 mBq/l bis 46 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt <4,5 mBq/l (2004: <4,1 mBq/l).

In 40% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,041 mBq/l bis 24 mBq/l (2004: 0,051 bis 6 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 1,2 mBq/l (2004: <1,7 mBq/l).

In zwei Proben wurde Tritium mit Werten von 1,8 Bq/l und 2,2 Bq/l bestimmt, die gefundenen Nachweisgrenzen liegen zwischen 1,9 Bq/l und 6,3 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 Trink- und Rohwässern wurde an 80 bzw. 50 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Für Cäsium-137 liegen fast alle Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,88 mBq/l bis 5,0 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen bei 0,2 mBq/l (2004: 1 und 7 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 6,2 mBq/l (2004: <6,0 mBq/l).

In 43% der untersuchten Proben konnte Strontium-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,48 mBq/l und 18 mBq/l (2004: 1,0 und 18 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei <4,0 mBq/l (2004: 3,4 mBq/l). Die Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss von Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser auf die Trinkwassergewinnung an.

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 Plutoniumisotope 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 vernachlässigbar klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 0,2 mBq/l und Sr-90 18 mBq/l zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter für den Erwachsenen Ingestionsdosen von 0,0000018 bzw. 0,00035 (2004: 0,000064 bzw. 0,00035) Millisievert pro Jahr.

Tabelle 2.4.1-1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser im Jahr 2005
(General monitoring of groundwater and drinking water in the year 2005)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	118	61	43	670		140
	Cs-137	118	118				<4,5
	Sr-90	63	38	0,041	24		<1,2
	H-3	17	15	1800	2200		<2300
Trinkwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	303	181	14	1900		<150
	Cs-137	302	301			0,2	<6,2
	Sr-90	100	57	0,048	18		<4,0
	H-3	13	11	4400	9100		<2,2

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 2005 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 Kalium-40, Cäsium-137, Strontium-90 und Tritium.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 142 Grundwasserentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cäsium-137 liegen fünf Messwerte über den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,10 mBq/l bis 60 mBq/l. (2004: 0,12 bis 60 mBq/l). Die Messwerte reichen von 5,0 mBq/l bis 19 mBq/l, der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 19 mBq/l (2004: <23 mBq/l).

Die Werte für die Strontium-90-Aktivitätskonzentrationen (50% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 0,95 mBq/l und 10 mBq/l (2004: 0,84 bis 11 mBq/l). Der Median liegt bei 5,3 mBq/l (2004: 4,1 mBq/l).

Die berichtete Gesamt- α -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,026 Bq/l und 0,14 Bq/l (2004: 0,036 bis 4,5 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von <0,06 Bq/l (2004: <0,2 Bq/l).

Die Rest- β -Aktivitätskonzentration wurde in 24 Proben gemessen. Alle Werte lagen unterhalb der gefundenen Nachweisgrenzen (2004: alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze). Der Median aller Werte beträgt <0,10 Bq/l (2004: < 0,10 Bq/l).

In 22% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 1,8 Bq/l bis 190 Bq/l nachgewiesen (2004: 0,82 Bq/l bis 180 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <5,0 Bq/l (2004: < 5,3 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 88 bis 190 Bq/l (2004: bis 180 Bq/l) wurden – anders als in den vergangenen Jahren – 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 66 Bq/l. Bei diesen Stichproben wurden auch Kobalt-60-Kontaminationen von bis zu 0,12 Bq/l (2004: 0,14 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 2005 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 16 Reinwasser- und 16 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für Cäsium-137 wurden keine Messwerte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,12 mBq/l bis 60 mBq/l (2004: 0,097 mBq/l bis 50 mBq/l) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <11 mBq/l (2004: < 15 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Strontium-90 liegen zwischen 0,21 mBq/l und 3,7 mBq/l (2004: 0,22 bis 4,9 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 0,98 mBq/l (2004: 2,0 mBq/l).

Die Werte für die Gesamt- α -Aktivitätskonzentrationen sind natürlichen Ursprungs, sie liegen bei 57 mBq/l und 73 mBq/l (2004: 31 und 50 mBq/l). Der Median lag bei 65 mBq/l (2004: 41 mBq/l).

In 9 von 82 gemessenen Proben wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 1,9 Bq/l und 53 Bq/l (2004: 0,72 bis 95 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <5,9 Bq/l (2004: <6,5 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 belastet ist.

Alle Werte über 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weisen 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 2005
(Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in 2005 - groundwater and drinking water)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt ^{b)}	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser (Bq/l)							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	143	75	0,011	1,1		<0,34
	Co-60	387	368	0,016	0,12		<0,029
	Cs-137	261	256	0,005	0,019		<0,019
	H-3	421	330	1,8	190		<5,0
	Sr-90	32	16	0,00095	0,01		0,0053
	R-Beta	24	24				<0,1
	G-Alpha	39	29	0,026	0,14		0,06
Trinkwasser (Bq/l)							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	57	41	0,025	0,19		<0,25
	Co-60	66	66				<0,013
	Cs-137	68	68				<0,011
	H-3	82	73	1,9	53		<5,9
	Sr-90	22	9	0,00021	0,0037	0,0011	0,00098
	G-Alpha	2	0	0,057	0,073	0,065	0,065

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 Cäsium-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cäsium-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Strontium-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2004 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 Sammel tanks 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 2005.

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

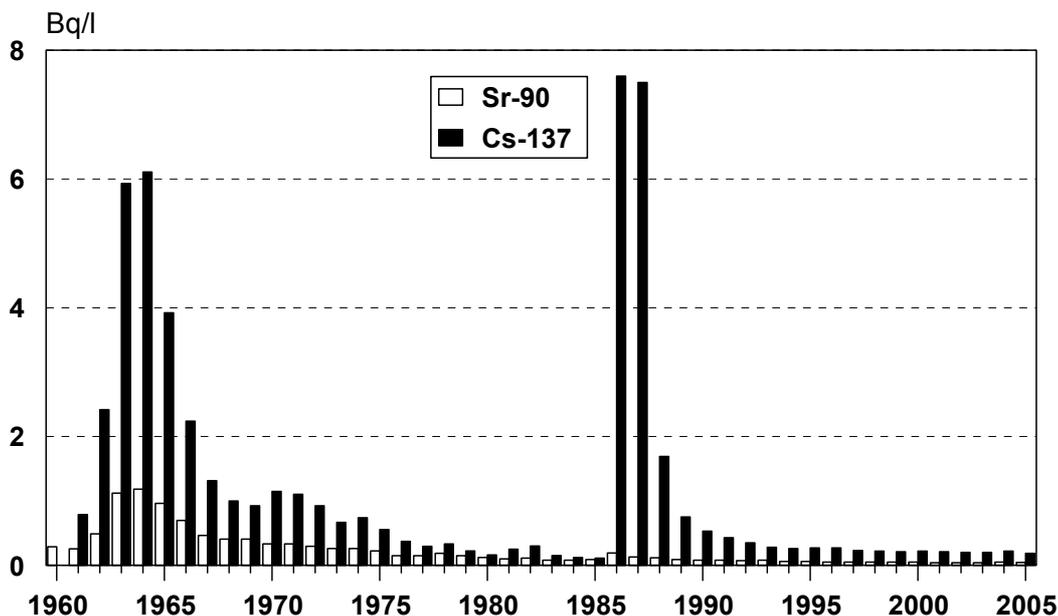


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90 und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland

(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	2003	31	<0,07	83	<0,16
	2004	29	<0,06	83	<0,14
	2005	25	<0,05 (<0,01 - 0,1)	79	<0,13 (<0,01 - 0,82)
Bayern	2003	35	0,10	261	<0,28
	2004	90	0,12	259	<0,24
	2005	87	0,11 (0,02 - 0,31)	295	<0,20 (<0,1 - 0,61)
Berlin	2003	12	<0,02	24	<0,10
	2004	13	0,03	25	0,66 (0,03 - 8,3*)
	2005	13	0,02 (0,01 - 0,04)	24	<0,45 (0,02 - 2,5)
Brandenburg	2003	15	0,03	40	<0,31
	2004	16	0,03	40	<0,38
	2005	12	0,04 (0,03 - 0,05)	37	<0,29 (0,08 - 0,92)
Bremen	2003	12	<0,03	12	0,55
	2004	12	<0,03	12	0,35
	2005	12	<0,02 (<0,01 - 0,04)	12	<0,33 (0,02 - 0,94)
Hamburg	2003	12	0,03	11	<0,12
	2004	12	<0,02	12	<0,12
	2005	12	0,02 (0,01 - 0,04)	12	<0,15 (<0,08 - <0,19)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Hessen	2003	14	0,04	32	<0,09
	2004	12	0,05	34	<0,09
	2005	17	0,04 (0,02 - 0,08)	40	<0,09 (0,01 - 0,16)
Mecklenburg-Vorpommern	2003	33	0,03	58	<0,14
	2004	27	<0,03	51	<0,1
	2005	26	0,03 (0,004 - 0,06)	50	<0,14 (0,05 - 0,46)
Niedersachsen	2003	102	0,04	200	<0,23
	2004	97	0,03	216	<0,31
	2005	81	0,04 (0,02 - 0,11)	213	<0,24 (<0,05 - 1,06)
Nordrhein-Westfalen	2003	39	< 0,04	134	<0,12
	2004	44	0,04	145	<0,12
	2005	41	0,04 (0,01 - 0,22)	132	<0,11 (<0,04 - 0,96)
Rheinland-Pfalz	2003	20	0,04	63	<0,10
	2004	18	0,04	37	<0,08
	2005	17	0,04 (0,03 - 0,07)	34	<0,07 (0,02 - <0,2)
Saarland	2003	12	<0,03	12	<0,20
	2004	12	0,06	12	<0,20
	2005	12	<0,05 (<0,02 - 0,14)	12	<0,20 (<0,2 - <0,2)
Sachsen	2003	12	0,02	24	<0,10
	2004	12	0,03	24	<0,09
	2005	12	0,03 (0,02 - 0,03)	24	<0,09 (<0,05 - 0,15)
Sachsen-Anhalt	2003	12	<0,02	37	<0,30
	2004	12	<0,03	35	<0,28
	2005	12	<0,02 (<0,01 - 0,04)	36	<0,44 (0,08 - 2,5)
Schleswig-Holstein	2003	32	<0,05	94	<0,13
	2004	27	<0,05	91	<0,14
	2005	32	0,05 (0,03 - 0,08)	96	<0,14 (0,05 - 0,39)
Thüringen	2003	20	0,02	34	<0,10
	2004	21	0,02	36	<0,08
	2005	16	0,02 (0,01 - 0,03)	33	<0,09 (0,02 - 0,21)
Bundesrepublik (gesamt)	2003	413	<0,04	1119	<0,20
	2004	454	<0,05	1112	<0,22 (<0,01 - 8,3**)
	2005	427	<0,05 (0,004 - 0,31)	1129	<0,19 (<0,01 - 2,51)

* 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	1129	<0,24	<0,01	2,51	<0,01
Käse	7	<0,18	<0,10	0,53	<0,11
Importe					
Käse	102	<0,23	<0,01	0,84	<0,05
Frischkäse	5	<0,07	<0,04	<0,13	<0,06
Schafskäse	12	<0,2	<0,03	<0,2	<0,03
Ziegenkäse	6	<0,16	<0,03	<0,2	<0,03
Lakenkäse	2	<0,12	<0,06	0,18	<0,07

**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)**

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l						
		N	Mittelwert (Bereich) Sr-90	N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Bereich I-131	
Baden-Württemb.	FZ Karlsruhe	2004	2	0,02	2	<0,04	a)	a)
		2005	a)		a)		a)	
	KWO Obrigheim	2004	4	<0,02	4	<0,05	10	<0,008 - <0,012
		2005	4	0,02 (0,01 - 0,03)	4	<0,20 (<0,05 - 0,59)	10	<0,007 - <0,009
	GKN Neckarwestheim	2004	4	0,02	4	<0,05	9	<0,007 - <0,011
		2005	4	0,03 (0,02 - 0,04)	4	<0,21 (<0,05 - <0,69)	8	<0,008 - <0,009
	KKP Philippsburg	2004	4	0,02	4	<0,03	12	<0,008 - <0,011
		2005	2	0,02 (0,01 - 0,02)	2	<0,02 (<0,02 - 0,02)	9	<0,005 - <0,011
	KKW Beznau/Leibstadt, Schweiz	2004	5	0,04	5	<0,04	10	<0,004 - <0,011
		2005	3	0,04 (0,02 - 0,05)	3	<0,05 (<0,03 - <0,06)	5	<0,005 - <0,010
	KKW Fessenheim, Frankreich	2004	4	0,02	4	<0,11	9	<0,006 - <0,010
		2005	4	0,02 (0,02 - 0,04)	4	<0,06 (<0,04 - <0,07)	8	<0,004 - <0,008
	Bayern	KRB	2004	a)	a)		a)	
		Gundremmingen	2005	a)	a)		a)	
			2004	a)		a)		a)
	KKI Isar	2005	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich) Sr-90	N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Bereich I-131
KKG	2004	a)		a)		a)	
Grafenrheinfeld	2005	a)		a)		a)	
Brandenburg							
KKR	2004	4	0,02)	4	<0,19	a)	
Rheinsberg	2005	4	0,02 (0,02 - 0,02)	4	<0,09 (0,07 - <0,11)	a)	
Hessen							
KWB	2004	10	0,02 (0,002 - 0,05)	10	<0,08 (<0,02 - <0,14)	33	<0,004 - <0,010
Biblis	2005	a)		a)		a)	
Mecklenburg- Vorpommern							
KGR	2004	4	0,02	5	0,15	3	<0,06 - <0,16
Greifswald	2005	4	0,02 (0,01 - 0,04)	4	<0,11 (0,08 - 0,15)	a)	
Niedersachsen							
KKS	2004	4	0,03	4	<0,13	12	<0,006 - <0,01
Stade	2005	4	0,03 (0,02 - 0,04)	4	<0,10 (<0,06 - 0,15)	12	<0,005 - <0,013
KKU	2004	4	0,04	4	<0,15	12	<0,005 - <0,012
Unterweser	2005	4	0,03 (0,02 - 0,04)	4	<0,06 (<0,04 - 0,07)	12	<0,005 - <0,015
KWG	2004	4	0,03	4	<0,06	12	<0,006 - <0,013
Grohnde	2005	4	0,02 (0,02 - 0,03)	4	<0,07 (<0,06 - <0,10)	12	<0,005 - <0,012
KKE	2004	4	0,02	4	<0,10	12	<0,006 - <0,021
Emsland	2005	4	0,02 (0,01 - 0,03)	4	<0,07 (<0,01 - 0,10)	12	<0,005 - <0,015
Schacht Konrad II ^{b)}	2004	a)		a)		a)	
	2005	a)		a)		a)	
Zwischenlager	2004	16	0,04	28	0,43	2	I - 129 µBq/l
Gorleben	2005	8	0,03 (0,02 - 0,05)	20	0,54 (0,07 - 1,30)	a)	12 (8 -16)
Nordrhein-Westf.							I - 131 Bq/l
FZ Jülich	2004	4	0,03	4	<0,14	32	<0,006 - <0,01
	2005	4	0,03 (0,02 - 0,05)	4	<0,12 (<0,07 - <0,16)	43	<0,005 - <0,01
KWW	2004	a)		a)			
Würgassen	2005	a)		a)			
THTR	2004	a)		a)			
Hamm-Uentrop	2005	a)		a)			
UAG Gronau	2004	12	<0,23	12	<0,42		
	2005	12	<0,23 (<0,23 - <0,23)		<0,42 (<0,42 - <0,42)		
Rheinland-Pfalz							
KWK	2004	a)		4	<0,10	a)	
Mülheim-Kärlich	2005	a)		4	<0,10 (<0,09 - <0,11)	a)	
KKW							
Cattenom	2004	a)		a)		a)	
Frankreich	2005	a)		a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich) Sr-90	N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Bereich I-131
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	2004	a)	a)	4	<0,20		
	2005	a)	a)	4	<0,25 (<0,11 - 0,56)		
Sachsen							
VKTA	2004	2	0,03	4	<0,19	2	<0,002 - <0,04
Rosendorf	2005	2	0,03 (0,03 - 0,03)	3	<0,10 (0,07 - 0,17)	2	<0,05 - <0,06
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	2004	4	0,05	4	<0,17	12	<0,004 - <0,009
	2005	2	0,05 (0,04 - 0,05)	2	<0,12 (<0,11 - 0,13)	8	<0,006 - <0,009
KKB	2004	4	0,04	4	0,07	32	<0,007 - <0,01
Brunsbüttel	2005	2	0,03 (0,03 - 0,04)	2	0,08 (0,06 - 0,10)	16	<0,008 - <0,01
KKK	2004	8	0,03	8	<0,10	24	<0,008 - <0,01
Krümmel	2005	4	0,03 (0,02 - 0,07)	4	<0,09 (<0,03 - 0,11)	15	<0,008 - <0,01
KBR	2004	8	0,03	8	<0,05	24	<0,008 - <0,01
Brokdorf	2005	4	0,03 (0,03-0,03)	4	<0,05 (0,02 - 0,11)	16	<0,008 - <0,01

a) Messwerte lagen nicht vor

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

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 2005 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 in den entsprechenden Tabellen 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-Routinemessprogramm 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 Fischteichen und aus Fließgewässern waren 2005 knapp 10-fach niedriger als die aus Binnenseen (Tabelle 2.4.5-1).

Tabelle 2.4.5-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2005)
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2005)

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

Gewässer	Region	2005					2004
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Binnenseen	Süddeutschland	40	1	0,097	24	1,0	1,6
	Mitteldeutschland	3	1	<0,11	0,23	0,14	0,15
	Norddeutschland	56	5	<0,1	220	2,7	2,7
Fischteiche	Süddeutschland	23	7	0,061	0,40	0,15	0,20
	Mitteldeutschland	22	8	<0,1	1,4	0,14	0,16
	Norddeutschland	13	4	<0,10	0,84	0,24	0,71
Fließgewässer	Süddeutschland	9	1	0,11	0,33	0,19	0,25
	Mitteldeutschland	30	8	<0,1	4,5	0,19	0,18
	Norddeutschland	7	0	0,25	1,1	0,30	0,88
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	4	1	<0,15	3,1	0,95	<0,16
	Mitteldeutschland	1	1	<0,26	<0,26	<0,26	2,2
	Norddeutschland	1	0	0,46	0,46	0,46	1,3

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abb. 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 Abb. 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. Abb. 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 (2005)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2005)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

Fisch	2005					2004
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Forellen	38	14	<0,1	0,35	0,14	0,16
Karpfen	39	10	0,061	4,6	0,27	0,25

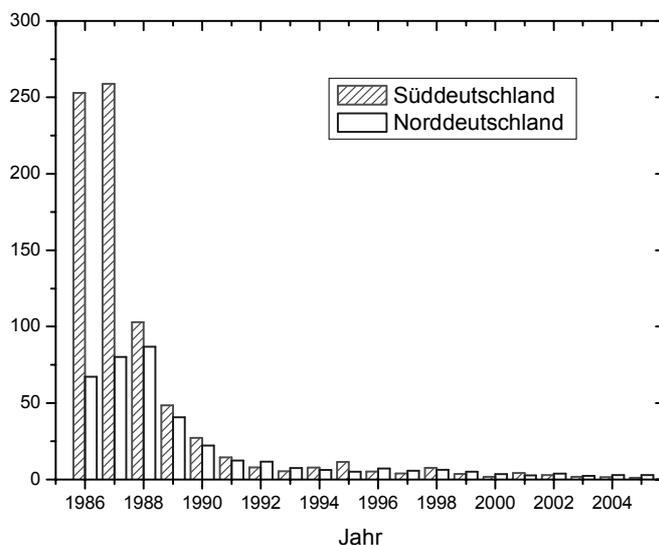


Abbildung 2.4.5.1
Jahresmittelwerte der Cs-137-aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg FM)

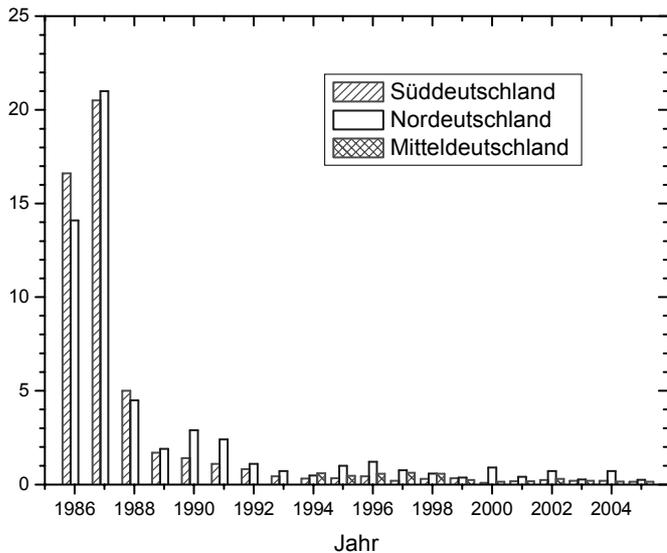


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg FM)

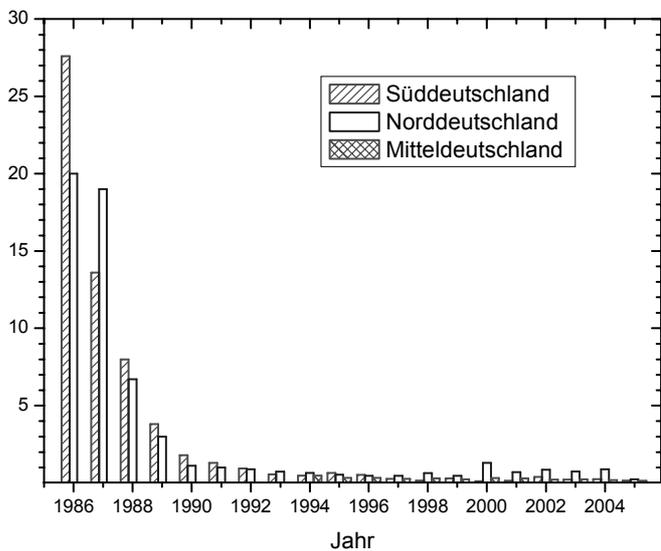


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg FM)

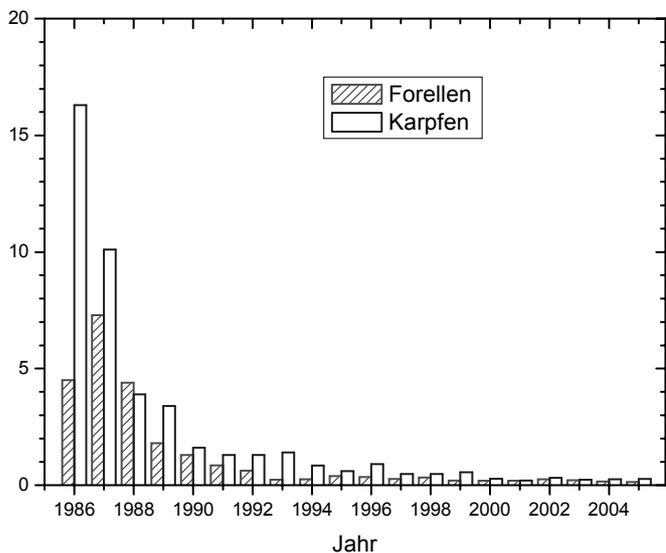


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in trout and carp in Bq/kg FM)

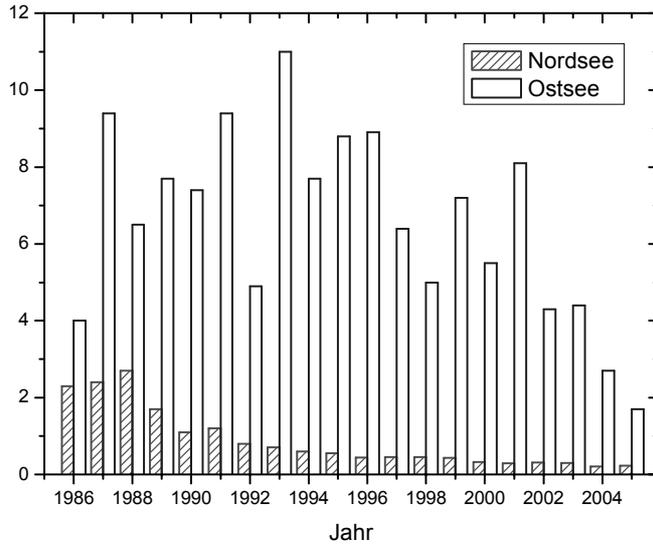


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg FM)

In Tabelle 2.4.5-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt. Darin sowie in Abb. 2.4.5-5 wurden rückwirkend für das Jahr 2004 korrigierte Werte eingetragen, in denen die verspätet erfolgten Messungen bei der Leitstelle berücksichtigt wurden; die Medianwerte für 2004 haben sich dadurch nur leicht erhöht. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2005 die Cs-137-Werte unter maximal 2 Bq/kg, im Mittel bei etwa 0,23 Bq/kg.

Tabelle 2.4.5-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2005)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2005)
 Messungen der Bundesländer

Gewässer	Probenart	2005					2004
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM							
Nordsee	Fische	36	11	<0,1	2,0	0,23	0,21
	Garnelen	15	15	<0,12	<0,22	<0,14	<0,13
	Miesmuscheln	15	13	<0,11	0,39	<0,2	<0,13
Ostsee	Fische	28	2	<0,13	10	1,7	2,7

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zur mittleren Cs-137-Aktivität schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig die Cs-137-Aktivität im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abb. 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 0,12 Bq/kg auf (vgl. Tabelle 2.4.5-3). Die meisten der Einzelwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die im Jahr 2005 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei 0,33 Bq/kg, etwas niedriger lagen die Werte für Seefisch sowie für Krusten- und Schalentiere.

Tabelle 2.4.5-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2005)
(*Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2005*)

Probenart	2005					2004
	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM			
Süßwasserfisch	24	7	<0,16	2,6	0,33	0,27
Seefisch	79	29	0,056	9,2	0,13	0,21
Krusten- u. Schalentiere	11	10	<0,1	0,39	<0,12	<0,15
Fischerzeugnisse	1	0	0,20	0,20	0,20	0,11

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 3 mal so groß war wie bei Fließgewässern und 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 ganz ähnliche, niedrige Sr-90-Werte gefunden.

Tabelle 2.4.5-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2005)
(*Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2005*)

Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	2005					2004
		N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
				Spez. Sr-90-Aktivität in Bq/kg FM			
Fisch	Binnenseen	16	2	<0,013	0,21	0,039	0,047
	Fischteiche	5	2	<0,010	0,026	0,022	0,013
	Fließgewässer	10	7	<0,0025	0,036	0,0055	0,0050
	Meere	5	2	<0,012	0,047	0,018	0,016
Garnelen	Nordsee	12	6	<0,02	0,12	0,039	0,034
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	<0,02	0,12	0,037	0,025

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während der Fahrten mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ genommen. Durch einen Laborumzug bedingt 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 der für das Berichtsjahr 2005 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. Im Fischfleisch zeigen sich von 1999 bis 2004 eng beisammen liegende Werte bei knapp über 1 mBq/kg FM. Sprotten, als Gesamtfischproben analysiert, weisen wegen des hohen Grätenanteils etwa 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.

Tabelle 2.4.5-7 zeigt mit analogem Aufbau die nachzutragenden Ergebnisse für Fischproben aus der Ostsee. Im Fischfleisch zeigt sich von 1999 bis 2004 eine Abnahme der Sr-90-Werte, die zudem etwa 4 bis 2fach höher als für die Nordsee sind. Bei der Ostsee ist der Unterschied der Sr-90-Werte zwischen Sprotten und Fischfleisch größer als in der Nordsee. 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.

**Tabelle 2.4.5-6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee - Nachtrag zu früheren Jahren
(Radionuclide content in fish from the North Sea - Supplement to earlier years)**

Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 1999 bis 2004; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM			
Fischfleischproben	Sr-90	1999	6	2	7,9E-04	2,3E-03	1,1E-03	
		2000	5	1	1,1E-03	2,4E-03	1,2E-03	
		2001	2	1	<1,5E-03	1,8E-03	<1,6E-03	
		2002	1	0	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	
		2003	3	0	8,8E-04	1,1E-03	1,1E-03	
		2004	1	0	1,3E-03	1,3E-03	1,3E-03	
	Pu-(239+240)	1999	6	2	1,7E-05	<3,6E-05	2,0E-05	
		2000	8	2	1,7E-05	5,9E-05	2,6E-05	
		2003	2	0	4,0E-05	4,2E-05	4,1E-05	
	Am-241	1999	6	6	<1,5E-05	<2,6E-05	<2,0E-05	
		2000	6	5	<1,3E-05	<1,8E-04	<1,9E-05	
		2003	2	1	1,7E-05	<2,8E-05	<1,0E-05	
Sprotte, Gesamtfisch	Sr-90	1999	2	0	3,7E-03	3,8E-03	3,7E-03	
		2000	2	0	2,5E-03	2,6E-03	2,6E-03	
		2001	1	0	3,8E-03	3,8E-03	3,8E-03	
		2002	1	0	4,0E-03	4,0E-03	4,0E-03	
		2003	1	0	1,6E-03	1,6E-03	1,6E-03	
		2004	2	0	3,0E-03	5,6E-03	4,3E-03	
	Pu-(239+240)	1999	2	0	1,3E-04	2,5E-04	1,9E-04	
		2000	2	0	1,2E-04	3,5E-04	2,4E-04	
		2003	1	0	1,2E-04	1,2E-04	1,2E-04	
	Am-241	1999	2	0	8,3E-05	1,3E-04	1,1E-04	
		2000	20	0	4,2E-05	1,6E-04	1,0E-04	
		2003	1	0	8,2E-05	8,2E-05	8,2E-05	
						Aktivitätsverhältnis		
	Pu-238/ Pu-(239+240)	1999	2	0	0,13	0,40	0,27	
		2000	2	0	0,18	0,25	0,21	
2003		1	1	<0,43	<0,43	<0,43		

**Tabelle 2.4.5-7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee - Nachtrag zu früheren Jahren
(Radionuclide content in fish from the Baltic Sea - Supplement to earlier years)**

Ergebnisse von "Walther-Herwig-III"-Fahrten in den Jahren 1999 bis 2004; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM		
Fischfleischproben	Sr-90	1999	6	0	2,1E-03	1,6E-02	5,0E-03
		2000	7	0	1,8E-03	3,2E-02	3,5E-03
		2001	3	0	1,8E-03	3,3E-03	3,3E-03
		2002	4	0	2,2E-03	2,8E-02	4,8E-03
		2003	6	0	1,3E-03	3,0E-03	2,1E-03
		2004	4	0	1,5E-03	2,8E-03	2,1E-03
	Pu-(239+240)	1999	6	4	2,0E-05	2,4E-05	2,0E-05
		2000	5	3	<1,9E-05	9,1E-05	<2,0E-05
		2001	3	3	<2,4E-05	<3,5E-05	<2,7E-05
		2002	4	3	<2,1E-05	<4,3E-05	<3,0E-05
		2003	4	2	<2,0E-05	3,7E-05	1,7E-05
		2004	2	1	<2,2E-05	4,4E-05	1,1E-05

Probe	Radionuklid	Jahr	N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert
					Aktivitätskonzentration in Bq/kg FM		
Fischfleischproben	Am-241	1999	2	2	<3,1E-05	<2,0E-04	<1,1E-04
		2000	5	5	<1,5E-05	<2,5E-05	<2,1E-05
		2001	3	3	<1,7E-05	<1,4E-04	<2,2E-05
		2002	4	4	<1,4E-05	<2,4E-05	<1,6E-05
		2003	6	6	<1,7E-05	<1,1E-04	<2,3E-05
		2004	2	2	<1,6E-05	<1,6E-04	<8,6E-05
Sprotte, Gesamtfisch	Sr-90	2000	2	0	2,5E-02	4,2E-02	3,4E-02
		2001	1	0	3,3E-02	3,3E-02	3,3E-02
		2002	1	0	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02
		2004	1	0	1,2E-02	1,2E-02	1,2E-02
	Pu-(239+240)	2000	1	0	5,2E-04	5,2E-04	5,2E-04
		2001	1	0	4,7E-04	4,7E-04	4,7E-04
		2002	2	0	5,7E-04	5,7E-04	5,7E-04
		2004	1	0	3,1E-04	3,1E-04	3,1E-04
	Am-241	2000	1	0	3,3E-04	3,3E-04	3,3E-04
		2001	1	0	1,6E-04	1,6E-04	1,6E-04
		2002	2	0	2,2E-04	2,4E-04	2,3E-04
		2004	1	0	1,4E-04	1,4E-04	1,4E-04

Literatur

- [1] Kanisch G, Kirchoff K, Michel R, Rühle H, Wiechen A: „Genauigkeit von Messwerten, Empfehlungen zur Dokumentation“. Kapitel IV.4. In: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen. Stand: 1.10.2000. Urban & Fischer Verlag München, Jena, ISBN 3-437-21596-5

2.4.6 Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (*Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities*)

Im Berichtsjahr 2005 wurden für 19 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem Cäsium-137) an 67 Fischfleischproben und 2 Wasserpflanzenproben gemeldet; Strontium-90-Messungen wurden an 5 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 8 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“, 6 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 Atomkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Atomkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cäsium-Gehalte auf. Der Maximalwert beim Atomkraftwerk Emsland geht auf zwei Hechtproben zurück, deren Cs-137-Werte etwa 20fach höher als in Brachsen waren, was die u. a. durch den Einfluss der Nahrungskette bedingte mögliche Variabilität von Cs-137 in Fischen an einem Standort eindrucksvoll belegt.

Bei den wenigen in Tabelle 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 2005 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2005 (within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities))

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

Fluss	Anlage	Radio-nuklid	2005					2004	
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert	
Fisch (Bq/kg FM)									
Donau	KRB Gundremmingen a)								
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,19	0,40	0,29	0,25	
	KKK Krümmel	Cs-137	3	0	0,17	0,27	0,26	0,21	
	PKA Gorleben	Cs-137	3	0	0,14	0,23	0,19	0,28	
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,22	0,65	0,39	0,27	
	KBR Brokdorf		Sr-90	5	5	<0,006	<0,011	<0,01	<0,009
			Cs-137	5	0	0,056	0,62	0,25	0,30
	KKB Brunsbüttel	Cs-137	6	0	0,098	0,63	0,26	0,25	
Ems	KKE Emsland	Cs-137	4	0	0,17	10	5,0	1,5	
Greifswalder Bodden	KGR Greifswald	Cs-137	6	0	0,80	5,6	3,6	8,0	
Havel	HMI Berlin	Cs-137	1	0	0,73	0,73	0,73	2,8 (Wannsee)	
Sacrower See		Cs-137	1	0	19	19	19	13	
Isar	KKI 1/2 Isar a) FRM a)								
Main	KKG Grafenrheinfeld a)								
Neckar	GKN Neckarwestheim a)	Cs-137	1	0	0,069	0,069	0,069	<0,12	
	KWO Obrigheim	Cs-137	1	1	<0,094	<0,094	<0,094	<0,10	
Rhein	KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	1	0	0,15	0,15	0,15	0,11	
	KWB Biblis a)	Sr-90						0,018	
		Cs-137						0,088	
	KKW Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	2	1	<0,063	0,87	0,40	0,12	
	KKP Philippsburg	Cs-137	4	0	0,12	0,15	0,15	0,11	
Rur	FZ Jülich	Cs-137	2	0	0,30	0,50	0,40	0,21	
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	4	0	22	95	65	57	
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	11	89	50	9,6	
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,081	0,42	0,16	0,077	
	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,15	0,42	0,27	0,37	
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)									
Ahauser Aa	Ahaus	I-131	1	0	8,6	8,6	8,6	2,6	
		Co-60	1	0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	<0,7	<0,7	<0,7	<0,5	
Isar	FRM Garching a)								
	KKI 1/2 Isar a)								

a) Daten lagen nicht vor

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.

Tabelle 2.4.6-2 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen): Nachtrag zu 2003
(*Specific activity in fish and aquatic plants (within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities): Supplement to 2003*)

Fluss	Anlage	Radio-nuklid	2003					2002
			N	nn	min. Wert	max. Wert	Medianwert	Medianwert
Fisch (Bq/kg FM)								
Nachtrag zu 2003:								
Donau	KRB	Cs-137	6	4	<0,084	0,27	<0,10	0,19
	Gundremmingen							
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	0	0,15	0,42	0,30	0,29
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	2	<0,19	0,44	0,13	0,34
	VAKKahl	Cs-137	2	2	<0,18	<0,19	<0,19	<1,4
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)								
Nachtrag zu 2003:								
Donau	KRB Gundremmingen	Cs-137	2	0	12	33	23	33
Isar	KKI 1/2 Isar	Co-60	1	0	1,8	1,8	0,36	0,36
		I-131	1	0	39	39	39	40
		Cs-134	1	1	<0,22	<0,22	<0,22	0,15
		Cs-137	1	0	39	39	39	33
Main	KKGGrafenrheinfeld	Cs-137 b)	2	0	0,13	0,67	0,40	0,31

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 Cäsium-137 und Strontium-90 in Nahrungsmitteln führte auch im Jahr 2005 zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau lagen (s. Tabellen 2.4.7-1 - 2.4.7-15). 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 2.4.7-14). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln. Die maximal zulässige Aktivitätskonzentration von 600 Bq/kg für Cs-137 wird bei Wild und Pilzen überschritten. Diese höher belasteten Lebensmittel gelangen aus Verbraucherschutzgründen nicht in den Handel.

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

In den Tabellen sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte aufgeführt. Bei den Messwerten fehlen in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keine Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen "<" gekennzeichneten sind, die Realität, weil in der Berechnung zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 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	2004	45	<0,15	(<0,02 - <0,23)	9	0,17	(0,08 - 0,26)
	2005	36	<0,14	(<0,04 - <0,21)	10	0,12	(0,03 - 0,22)
Bayern	2004	34	<0,17	(0,05 - 0,82)	3	0,42	(0,27 - 0,50)
	2005	41	<0,20	(<0,12 - <0,20)	5	0,28	(0,12 - 0,55)
Berlin	2004	1	<0,12	(<0,12 - <0,12)	1	0,13	
	2005	2	<0,12	(<0,08 - <0,16)	1	0,26	

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Brandenburg	2004	16	<0,12	(<0,08 - 0,30)	1	0,43	
	2005	15	<0,11	(<0,07 - 0,20)	1	0,78	
Bremen	2004	2	<0,04	(<0,03 - <0,06)	1	0,08	
	2005	3	<0,08	(<0,06 - <0,09)	1	0,21	
Hamburg	2004	4	<0,14	(<0,12 - <0,18)	-		
	2005	2	<0,13	(<0,10 - <0,15)	-		
Hessen	2004	10	<0,15	(<0,13 - <0,17)	-		
	2005	14	<0,13	(<0,07 - <0,17)	-		
Mecklenburg-Vorpommern	2004	31	<0,13	(<0,07 - <0,18)	2	0,11 (0,11 - 0,11)	
	2005	33	<0,14	(<0,08 - <0,18)	2	0,12 (0,11 - 0,12)	
Niedersachsen	2004	52	<0,14	(<0,04 - 0,24)	4	0,09 (0,07 - 0,14)	
	2005	52	<0,16	(<0,04 - <0,28)	6	0,15 (0,06 - 0,21)	
Nordrhein-Westfalen	2004	36	<0,10	(<0,04 - <0,19)	2	<0,06 (<0,02 - 0,09)	
	2005	40	<0,10	(<0,04 - <0,19)	3	0,18 (0,10 - 0,31)	
Rheinland-Pfalz	2004	27	<0,13	(<0,05 - <0,24)	1	0,17	
	2005	29	<0,13	(<0,04 - <0,27)	1	0,08	
Saarland	2004	2	<0,20	(<0,20 - <0,20)	-		
	2005	3	<0,20	(<0,20 - <0,20)	-		
Sachsen	2004	12	<0,10	(<0,08 - <0,12)	3	0,12 (0,10 - 0,14)	
	2005	12	<0,10	(<0,08 - <0,11)	3	0,10 (0,07 - 0,12)	
Sachsen-Anhalt	2004	15	<0,16	(<0,10 - 0,28)	4	0,20 (0,08 - 0,40)	
	2005	13	<0,14	(<0,11 - <0,17)	3	0,16 (0,05 - 0,33)	
Schleswig-Holstein	2004	34	<0,14	(<0,08 - <0,52)	4	0,17 (0,12 - 0,25)	
	2005	33	<0,13	(<0,08 - 0,24)	4	0,20 (0,14 - 0,30)	
Thüringen	2004	22	<0,12	(<0,09 - <0,13)	1	0,03	
	2005	22	<0,12	(<0,09 - <0,14)	1	0,09	
Bundesrepublik (gesamt)	2004	343	<0,14	(<0,02 - 0,82)	36	<0,17 (<0,02 - 0,50)	
	2005	350	<0,14	(<0,04 - <0,28)	41	0,18 (0,03 - 0,78)	

- 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	2004	3	<0,13 (<0,07 - <0,19)
	2005	1	<0,12
Frankreich	2004	5	<0,17 (<0,10 - <0,20)
	2005	3	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Irland	2004	-	
	2005	1	<0,17
Kanada	2004	-	
	2005	1	<0,16
Polen	2004	-	
	2005	1	<0,15
Schweden	2004	-	
	2005	1	<0,12
Tschechische Republik	2004	-	
	2005	2	<0,07 (<0,04 - <0,20)
Türkei	2004	1	<0,04
	2005	3	<0,13 (<0,07 - <0,20)

- 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)	
Gerste	2004	121	<0,14	(<0,04 - 0,35)	12	0,19	(0,05 - 0,57)
	2005	106	<0,15	(<0,06 - 0,30)	7	0,17	(0,11 - 0,25)
Hafer	2004	23	<0,49	(<0,06 - 2,76)	2	0,50	(0,26 - 0,75)
	2005	16	<0,28	(<0,09 - 1,28)	2	0,40	(0,26 - 0,54)
Mais	2004	3	<0,09	(<0,03 - <0,16)	-		
	2005	4	<0,10	(<0,06 - <0,13)	-		
Reis	2004	14	<0,12	(<0,04 - <0,25)	-		
	2005	11	<0,12	(0,07 - <0,19)	-		
Roggen	2004	155	<0,16	(<0,02 - 0,97)	11	<0,18	(<0,02 - 0,46)
	2005	208	<0,22	(<0,02 - 5,50)	15	0,21	(0,09 - 0,72)
Triticalen	2004	-			-		
	2005	10	<0,16	(<0,10 - <0,26)	-		
Sonstige	2004	24	<0,13	(<0,04 - <0,34)	1	0,11	
	2005	9	<0,30	(<0,10 - 0,98)	-		
Getreideprodukte	2004	-			-		
	2005	5	<0,39	(<0,08 - 1,14)	-		

- 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	2004	7	<0,46 ($<0,15 - 0,84$)
	2005	6	<0,56 ($<0,10 - 1,46$)
Bayern	2004	5	0,35 (0,10 - 0,52)
	2005	7	<0,20 ($<0,20 - <0,20$)
Berlin	2004	2	2,25 (0,30 - 4,20)
	2005	1	2,35
Brandenburg	2004	3	1,63 (0,50 - 2,60)
	2005	5	1,39 (0,30 - 4,50)
Bremen	2004	2	0,84 (0,73 - 0,94)
	2005	3	0,55 (0,36 - 0,70)
Hamburg	2004	3	0,76 (0,59 - 0,97)
	2005	3	<0,29 ($<0,11 - 0,48$)
Hessen	2004	3	<0,34 (0,27 - 0,45)
	2005	3	<0,32 ($<0,12 - 0,70$)
Mecklenburg-Vorpommern	2004	7	<2,26 (0,11 - 9,08)
	2005	4	2,72 (0,38 - 5,85)
Niedersachsen	2004	9	<0,61 ($<0,14 - 1,27$)
	2005	9	0,60 (0,21 - 0,99)
Nordrhein-Westfalen	2004	18	<0,54 ($<0,12 - 2,59$)
	2005	19	<0,44 ($<0,09 - 1,26$)
Rheinland-Pfalz	2004	4	<0,27 ($<0,13 - 0,39$)
	2005	1	<0,30
Saarland	2004	2	<0,20 ($<0,20 - <0,20$)
	2005	1	<0,20
Sachsen	2004	5	0,52 (0,16 - 1,40)
	2005	5	0,33 (0,14 - 0,56)
Sachsen-Anhalt	2004	3	0,92 (0,64 - 1,15)
	2005	3	0,76 (0,49 - 1,23)
Schleswig-Holstein	2004	1	0,47
	2005	3	<0,61 ($<0,17 - 1,49$)
Thüringen	2004	-	
	2005	1	0,29
Bundesrepublik (gesamt)	2004	74	<0,78 (0,10 - 9,08)
	2005	74	<0,66 ($<0,09 - 5,85$)

- 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	2004	35	<0,60 ($<0,08 - 4,00$)
	2005	38	<0,40 ($<0,10 - 1,83$)
Bayern	2004	49	<0,43 (0,11 - 2,59)
	2005	67	<0,51 ($<0,20 - 21,0$)
Berlin	2004	6	1,26 (0,08 - 3,00)
	2005	7	2,46 (0,19 - 8,20)
Brandenburg	2004	34	<3,38 ($<0,08 - 20,0$)
	2005	28	2,70 (0,30 - 9,50)
Bremen	2004	7	2,15 (0,10 - 7,84)
	2005	6	1,64 ($<0,04 - 7,74$)
Hamburg	2004	6	<1,58 ($<0,09 - 5,19$)
	2005	6	0,76 ($<0,09 - 2,69$)
Hessen	2004	9	<0,21 ($<0,10 - 0,41$)
	2005	12	0,15 ($<0,12 - 0,39$)
Mecklenburg-Vorpommern	2004	33	<1,36 (0,08 - 10,9)
	2005	38	5,05 (0,07 - 56,5)
Niedersachsen	2004	28	<2,63 ($<0,11 - 26,0$)
	2005	32	2,58 ($<0,12 - 40,6$)
Nordrhein-Westfalen	2004	39	<0,31 ($<0,06 - 1,95$)
	2005	38	<0,24 ($<0,08 - 1,19$)
Rheinland-Pfalz	2004	9	<0,15 (0,09 - 0,31)
	2005	8	<0,15 ($<0,10 - <0,26$)
Saarland	2004	6	<0,20 ($<0,20 - <0,20$)
	2005	6	<0,23 ($<0,20 - 0,40$)
Sachsen	2004	29	<0,34 (0,07 - 1,74)
	2005	29	<0,29 (0,06 - 0,89)
Sachsen-Anhalt	2004	24	<1,28 ($<0,09 - 16,2$)
	2005	24	<0,66 (0,07 - 5,98)
Schleswig-Holstein	2004	24	<0,56 ($<0,11 - 4,14$)
	2005	22	<0,38 ($<0,09 - 2,48$)
Thüringen	2004	22	<0,14 ($<0,08 - 0,54$)
	2005	22	<0,20 ($<0,08 - 1,28$)
Bundesrepublik (gesamt)	2004	360	<1,06 ($<0,06 - 26,0$)
	2005	382	<1,26 ($<0,04 - 56,5$)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2004	20	<0,23	(<0,13 - 0,48)
	2005	19	<0,22	(<0,09 - 0,68)
Bayern	2004	26	<0,34	(0,04 - 2,18)
	2005	34	<0,25	(0,20 - <2,00)
Berlin	2004	6	0,25	(0,16 - 0,44)
	2005	6	<0,26	(0,15 - 0,60)
Brandenburg	2004	25	<0,28	(<0,08 - 1,30)
	2005	25	<0,19	(<0,08 - 0,50)
Bremen	2004	6	0,15	(0,09 - 0,22)
	2005	6	<0,16	(0,05 - 0,42)
Hamburg	2004	6	<0,25	(<0,11 - 0,56)
	2005	6	<0,21	(<0,10 - 0,65)
Hessen	2004	9	<0,21	(<0,08 - <0,33)
	2005	12	<0,16	(<0,11 - <0,27)
Mecklenburg - Vorpommern	2004	31	<0,48	(0,08 - 6,26)
	2005	33	<0,24	(0,05 - 0,74)
Niedersachsen	2004	53	<0,20	(<0,06 - 0,69)
	2005	55	<0,18	(<0,05 - 0,53)
Nordrhein-Westfalen	2004	67	<0,14	(<0,05 - 0,55)
	2005	74	<0,15	(<0,05 - 1,20)
Rheinland-Pfalz	2004	9	<0,24	(0,09 - 0,84)
	2005	9	<0,13	(<0,09 - <0,22)
Saarland	2004	6	<0,21	(<0,20 - 0,28)
	2005	4	<0,20	(<0,20 - <0,20)
Sachsen	2004	23	<0,16	(0,06 - 0,40)
	2005	23	<0,17	(0,07 - 0,51)
Sachsen-Anhalt	2004	36	<0,21	(<0,08 - 0,63)
	2005	36	<0,24	(<0,06 - 0,73)
Schleswig-Holstein	2004	11	<0,27	(<0,10 - 0,67)
	2005	11	<0,17	(0,09 - 0,40)
Thüringen	2004	20	<0,21	(<0,09 - 0,77)
	2005	20	<0,16	(<0,08 - 0,52)
Bundesrepublik (gesamt)	2004	354	<0,23	(0,04 - 6,26)
	2005	373	<0,19	(<0,05 - <2,00)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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	2004	-	
	2005	1	<0,17
Lamm / Schaf	2004	14	<0,25 (<0,09 - 0,97)
	2005	17	<0,67 (<0,06 - 7,36)
<u>Geflügel</u>			
Ente	2004	12	<0,15 (0,07 - <0,21)
	2005	17	<0,16 (<0,09 - <0,24)
Gans	2004	16	<0,18 (<0,06 - 0,42)
	2005	23	<0,17 (0,06 - <0,47)
Huhn / Hähnchen	2004	135	<0,16 (0,04 - 0,57)
	2005	137	<0,16 (<0,05 - <0,43)
Pute	2004	63	<0,13 (0,04 - <0,24)
	2005	52	<0,13 (<0,05 - 0,25)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Elch	2004	-	
	2005	1	4,50
Hase	2004	2	<0,13 (<0,07 - <0,20)
	2005	2	<0,11 (<0,10 - <0,12)
Hirsch	2004	10	<7,63 (<0,08 - 30,3)
	2005	11	<9,27 (<0,06 - 59,7)
Reh	2004	113	<39,1 (<0,13 - 1060)
	2005	123	<20,0 (<0,11 - 257)
Rot- / Damwild	2004	2	39,7 (13,8 - 65,6)
	2005	9	17,0 (0,25 - 63,0)
Wildschwein	2004	114	<299 (<0,05 - 2680)
	2005	356	<679 (<0,05 - 12800)

- 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	2004	9	<0,14	(<0,07 - <0,21)	1	0,01	
	2005	16	<0,12	(<0,04 - <0,17)	1	0,04	
Bayern	2004	34	<0,27	(<0,11 - 0,95)	2	0,15	(0,14 - 0,15)
	2005	35	<0,27	(<0,10 - 0,71)	3	0,26	(0,11 - 0,54)
Berlin	2004	3	<0,18	(<0,11 - 0,27)	1	0,02	
	2005	2	<0,13	(<0,07 - <0,18)	1	0,02	
Brandenburg	2004	12	<0,13	(0,10 - 0,20)	1	0,03	
	2005	12	<0,14	(<0,08 - 0,30)	1	0,02	
Bremen	2004	2	0,08	(0,05 - 0,12)	-		
	2005	2	<0,06	(0,03 - <0,09)	-		
Hamburg	2004	2	<0,15	(<0,13 - <0,17)	-		
	2005	2	<0,12	(<0,11 - <0,12)	-		
Hessen	2004	5	<0,10	(<0,06 - <0,13)	-		
	2005	4	<0,14	(<0,10 - <0,17)	-		
Mecklenburg-Vorpommern	2004	12	<0,10	(<0,04 - 0,25)	2	0,02	(0,02 - 0,02)
	2005	12	<0,09	(0,03 - 0,11)	2	0,02	(0,01 - 0,03)
Niedersachsen	2004	39	<0,16	(<0,08 - 0,66)	4	<0,02	(0,02 - 0,02)
	2005	38	<0,15	(<0,04 - 0,41)	4	<0,01	(<0,00 - <0,02)
Nordrhein-Westfalen	2004	17	<0,12	(<0,06 - <0,16)	5	<0,05	(0,01 - 0,19)
	2005	19	<0,14	(<0,06 - 0,43)	5	<0,05	(<0,01 - 0,12)
Rheinland-Pfalz	2004	6	<0,09	(<0,03 - <0,17)	2	0,03	(0,03 - 0,04)
	2005	6	<0,12	(<0,04 - <0,21)	2	0,03	(0,03 - 0,03)
Saarland	2004	2	<0,20	(<0,20 - <0,20)	-		
	2005	2	<0,20	(<0,20 - <0,20)	-		
Sachsen	2004	10	<0,10	(<0,06 - <0,13)	1	0,01	
	2005	10	<0,11	(<0,08 - <0,14)	1	0,02	
Sachsen-Anhalt	2004	9	<0,14	(<0,11 - 0,25)	2	<0,03	(<0,02 - 0,03)
	2005	9	<0,20	(<0,11 - 0,71)	2	<0,03	(<0,02 - 0,03)
Schleswig-Holstein	2004	6	<0,10	(<0,07 - 0,16)	1	0,05	
	2005	6	<0,13	(<0,09 - <0,18)	1	0,05	
Thüringen	2004	6	<0,11	(<0,09 - <0,12)	1	0,02	
	2005	6	<0,11	(<0,09 - <0,12)	1	0,02	
Bundesrepublik (gesamt)	2004	174	<0,16	(<0,03 - 0,95)	23	<0,04	(0,01 - 0,19)
	2005	181	<0,16	(0,03 - 0,71)	24	<0,06	(<0,00 - 0,54)

- 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	2004	672	<0,15	(<0,01 - 2,00)	80	0,20	(0,03 - 1,03)
	2005	645	<0,17	(<0,02 - 4,60)	70	0,19	(0,03 - 0,67)
Fruchtgemüse	2004	214	<0,13	(<0,02 - 0,39)	13	<0,06	(<0,02 - 0,14)
	2005	221	<0,13	(<0,03 - 0,45)	11	0,06	(0,03 - 0,08)
Sprossgemüse	2004	279	<0,13	(<0,01 - 0,51)	18	<0,05	(0,01 - <0,13)
	2005	282	<0,13	(<0,02 - 0,53)	17	0,09	(0,00 - 0,67)
Wurzelgemüse	2004	174	<0,16	(0,03 - 1,93)	15	0,15	(0,01 - 0,44)
	2005	185	<0,15	(<0,02 - 0,54)	14	0,15	(0,04 - 0,41)

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	2004	2	<0,30 (<0,13 - 0,47)
	2005	7	<0,50 (<0,11 - 1,60)
Kulturpilzprodukte	2004	-	
	2005	1	<0,26
Wildpilze			
Keulen- und Korallenpilze (nur Krause Glucke)	2004	3	20,7 (4,10 - 48,9)
	2005	5	<50,7 (<0,21 - 233)
Wildbauchpilze	2004	1	<0,70
	2005	3	0,72 (0,35 - 1,22)
Wildblätterpilze	2004	97	<68,2 (<0,15 - 1830)
	2005	37	<40,1 (<0,09 - 267)
<u>Wild-Leisten- u. Trompetenpilze</u>			
Pfifferling	2004	50	42,6 (0,78 - 188)
	2005	33	<39,5 (<0,20 - 297)
Sonstige	2004	-	
	2005	2	<1,35 (0,78 - <1,92)
<u>Wild-Röhrenpilze</u>			
Maronenpilze	2004	66	252,0 (2,61 - 2210)
	2005	40	298,0 (7,30 - 1950)
Steinpilze	2004	32	<91,2 (<0,73 - 1650)
	2005	26	34,4 (0,08 - 110)
Sonstige	2004	56	77,0 (0,40 - 510)
	2005	19	98,6 (0,48 - 347)
Wild-Schlauchpilze (nur Speisemorchel)	2004	-	
	2005	20	<2,76 (0,30 - <6,35)
Wildstachelpilze	2004	2	470 (9,36 - 931)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Wildpilzmischungen	2005	2	19,7 (6,20 - 33,3)
	2004	14	<25,4 (<0,14 - 71,0)
	2005	3	34,2 (7,12 - 87,0)
Wildpilzprodukte	2004	-	
	2005	12	<21,8 (<0,26 - 105)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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)
Wald- u. Wildbeeren	2004	14	<39,9 (<0,16 - 300)	-	
	2005	26	<24,7 (<0,11 - 192)	-	
Sonstige	2005	60	<0,72 (<0,03 - 18,0)	3	0,03 (0,02 - 0,05)
Exotische Früchte	2004	10	<0,15 (<0,04 - 0,33)	-	
	2005	9	<0,13 (<0,04 - <0,25)	-	
Kernobst	2004	191	<0,13 (0,02 - <0,27)	20	<0,02 (0,01 - 0,04)
	2005	204	<0,16 (0,01 - <2,70)	22	<0,03 (0,01 - 0,16)
Rhabarber	2004	24	<0,18 (<0,08 - 1,16)	2	0,21 (0,19 - 0,22)
	2005	24	<0,13 (<0,05 - <0,19)	1	0,38
Schalenobst	2004	7	<0,60 (<0,14 - 2,94)	-	
	2005	19	<0,48 (<0,12 - <1,36)	-	
Steinobst	2004	130	<0,12 (0,02 - 0,38)	10	<0,08 (0,02 - 0,27)
	2005	122	<0,17 (0,01 - <2,41)	10	<0,06 (<0,02 - 0,16)
Zitrusfrüchte	2004	10	<0,10 (<0,04 - <0,20)	-	
	2005	11	<0,10 (<0,02 - <0,20)	-	
Obstprodukte	2004	-		-	
	2005	4	<0,21 (<0,14 - 0,35)	-	

* 2004 als Erdbeeren und sonstige angegeben

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-13 Getränke, Inland und Einfuhr
(*Soft drinks, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Erdbeersaft	2004	-	
	2005	1	<0,08
Heidelbeerwein	2004	1	2,65
	2005	1	<0,30
Mineralwasser	2004	-	
	2005	4	<0,06 (<0,01 - <0,13)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-14 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(*Other foodstuffs, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)			
		N	Mittelwert (Bereich)		
Gewürze	2004	7	<0,64	(<0,21 - 2,44)	
	2005	4	<0,35	(<0,15 - 0,73)	
Honig					
	Blütenhonig	2004	20	<57,1	(<0,11 - 466)
		2005	31	<26,0	(<0,09 - 286)
Blütenhonigmischungen	2004	24	<3,57	(<0,07 - 62,0)	
	2005	22	<4,95	(<0,07 - 92,0)	
<u>Honigtauhonige, Blütenpollen u. -zubereitungen</u>					
Waldhonig	2005	23	<28,5	(0,21 - 130)	
Sonstige	2005	4	27,2	(3,93 - 53,6)	
Hühnereier	2004	1	<0,14	(<0,14 - <0,14)	
	2005	68	<1,86	(<0,20 - <3,74)	
Kaffee, geröstet	2004	3	<0,21	(<0,20 - 0,22)	
	2005	3	<0,30	(<0,15 - 0,45)	
Kakaopulver	2004	-			
	2005	3	0,71	(0,52 - 0,83)	
Knäckebrot	2004	-			
	2005	2	<0,11	(<0,07 - 0,14)	
Ölsamen	2004	4	<0,24	(<0,09 - 0,50)	
	2005	2	<0,17	(<0,16 - <0,18)	
Sojamehl	2004	-			
	2005	1	<0,15		
Tee, fermentiert	2004	1	2,07		
	2005	1	0,82		
Tee, unfermentiert	2004	-			
	2005	4	<0,89	(<0,40 - 1,55)	
Zucker	2004	-			
	2005	2	<2,13	(<0,06 - 4,20)	

Tabelle 2.4.7-15 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(*Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production*)

Jahr	Strontium-90 (Bq/kg FM)			Cäsium-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
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 *

* Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

Die Beprobung der Gesamtnahrung dient der Abschätzung der ingestionsbedingten Strahlendosis gesunder Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu werden verzehrfertige Menüs der Gemeinschaftsverpflegung aus Kantinen, Heimen, Krankenhäusern und Restaurants vermessen. Daraus resultiert eine Mittlung der Verzehrsmenge und der Zusammensetzung.

Die mittlere tägliche Cäsium-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2005 mit $0,29 \text{ Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$ ($\text{d} = \text{Tag}$; $\text{p} = \text{Person}$) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Strontium-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von $0,11 \text{ Bq}/(\text{d} \cdot \text{p})$, gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen

$$\text{Sr-90} : 40 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$$

$$\text{Cs-137} : 106 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p})$$

Tabelle 2.4.7-16 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat	Jahr	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	2004	82	<0,38 (<0,02 - 6,60)	18	0,15 (0,02 - 0,90)
	2005	92	<0,23 (<0,02 - 1,01)	22	<0,10 (<0,00 - 0,28)
Februar	2004	87	<0,25 (0,03 - 1,62)	22	<0,15 (0,02 - 0,96)
	2005	82	<0,35 (<0,01 - 2,64)	19	<0,12 (<0,02 - 0,48)
März	2004	96	<0,30 (0,06 - 7,29)	19	0,11 (0,05 - 0,45)
	2005	92	<0,26 (<0,04 - 1,12)	21	<0,11 (0,02 - 0,43)
April	2004	82	<0,23 (<0,04 - 1,90)	15	0,10 (0,05 - 0,28)
	2005	83	<0,41 (<0,00 - 10,7)	14	<0,11 (0,01 - 0,31)
Mai	2004	95	<0,21 (<0,05 - 0,81)	22	0,07 (0,01 - 0,15)
	2005	93	<0,18 (0,04 - 0,68)	19	<0,10 (0,01 - 0,51)
Juni	2004	92	<0,24 (<0,06 - 2,00)	21	<0,13 (0,04 - 0,99)
	2005	86	<0,50 (<0,04 - 24,3)	23	<0,08 (<0,02 - 0,22)
Juli	2004	86	<0,22 (<0,05 - 0,94)	17	0,11 (0,04 - 0,33)
	2005	85	<0,38 (0,02 - 8,40)	15	0,09 (0,01 - 0,22)
August	2004	96	<0,31 (0,03 - 4,39)	23	<0,08 (0,03 - 0,22)
	2005	95	<0,19 (0,03 - 0,50)	17	<0,07 (0,01 - 0,18)
September	2004	92	<0,23 (<0,04 - 1,34)	20	<0,10 (0,04 - 0,21)
	2005	89	<0,21 (0,02 - 1,24)	22	<0,10 (0,01 - 0,30)
Oktober	2004	86	<0,23 (0,03 - 1,01)	18	<0,10 (0,02 - 0,26)
	2005	91	<0,25 (0,00 - 2,20)	22	0,11 (0,01 - 0,49)
November	2004	91	<0,24 (0,04 - 1,84)	20	0,12 (0,02 - 0,47)
	2005	85	<0,24 (<0,01 - 2,00)	13	0,17 (0,03 - 0,54)
Dezember	2004	87	<0,25 (<0,02 - 2,00)	16	<0,10 (0,03 - 0,18)
	2005	85	<0,29 (0,05 - 4,16)	15	0,13 (0,02 - 0,29)
Jahr (gesamt)	2004	1070	<0,26 (<0,02 - 7,29)	231	<0,11 (0,01 - 0,99)
	2005	1058	<0,29 (<0,00 - 24,3)	222	<0,11 (<0,00 - 0,54)

**Tabelle 2.4.7-17 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)**

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2004	19	<0,21 (<0,01 - 1,74)	8	<0,05 (<0,02 - 0,10)
	2005	21	<0,16 (0,03 - 0,60)	11	<0,04 (0,01 - 0,07)
Februar	2004	21	<0,15 (<0,04 - 0,29)	4	0,03 (0,01 - 0,04)
	2005	24	<0,16 (<0,00 - 0,90)	3	0,01 (0,00 - 0,02)
März	2004	18	<0,11 (0,03 - <0,21)	4	0,05 (0,02 - 0,07)
	2005	17	<0,20 (0,03 - 0,76)	5	0,04 (0,01 - 0,08)
April	2004	17	<0,13 (<0,02 - 0,85)	5	<0,02 (0,00 - 0,03)
	2005	24	<0,30 (0,02 - 4,32)	8	<0,07 (0,01 - 0,24)
Mai	2004	17	<0,14 (<0,03 - 0,35)	3	0,04 (0,03 - 0,06)
	2005	18	<0,13 (<0,02 - <0,40)	2	0,06 (0,02 - 0,09)
Juni	2004	26	<0,12 (<0,02 - 0,40)	3	0,06 (0,05 - 0,06)
	2005	20	<0,13 (<0,02 - <0,21)	2	0,07 (0,02 - 0,12)
Juli	2004	18	<0,16 (<0,04 - 0,45)	9	<0,06 (<0,02 - 0,16)
	2005	16	<0,17 (0,02 - 0,62)	8	0,07 (0,01 - 0,31)
August	2004	18	<0,14 (<0,02 - <0,28)	3	<0,02 (<0,01 - 0,02)
	2005	23	<0,12 (<0,02 - 0,24)	6	<0,03 (0,01 - 0,04)
September	2004	14	<0,14 (0,03 - 0,43)	3	0,07 (0,02 - 0,15)
	2005	19	<0,22 (<0,04 - 1,50)	3	0,05 (0,03 - 0,07)
Oktober	2004	24	<0,18 (<0,04 - 0,82)	7	<0,07 (0,01 - 0,31)
	2005	28	<0,15 (<0,04 - 0,36)	5	<0,07 (0,01 - 0,28)
November	2004	24	<0,13 (<0,03 - 0,55)	1	0,03 (0,04 - 0,04)
	2005	21	<0,17 (<0,05 - 0,64)	2	0,04 (0,04 - 0,04)
Dezember	2004	15	<0,19 (0,04 - 0,71)	-	
	2005	16	<0,13 (<0,04 - 0,58)	1	0,04
Jahr (gesamt)	2004	231	<0,15 (<0,01 - 1,74)	50	<0,05 (0,00 - 0,31)
	2005	247	<0,17 (<0,00 - 4,32)	56	<0,05 (0,00 - 0,31)

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)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	2003	17	<0,05	2	0,11
	2004	9	<0,07	3	0,11
	2005	17	<0,04 (<0,01 - 0,08)	a)	
KWO Obrigheim	2003	17	<0,07	11	0,13
	2004	17	<0,07	9	0,10
	2005	5	<0,06 (<0,04 - <0,09)	2	0,12 (0,04 - 0,20)
GKN Neckarwestheim	2003	21	<0,07	11	0,11
	2004	15	<0,08	8	0,09
	2005	6	<0,06 (<0,05 - <0,08)	2	0,05 (0,03 - 0,07)
KKP Philippsburg	2003	8	<0,05	4	0,06
	2004	4	<0,03	2	0,05
	2005	6	<0,06 (<0,03 - <0,12)	1	0,08
KKW Beznau/Leibstadt Schweiz	2003	16	<0,09	11	0,24
	2004	12	<0,06	6	0,52
	2005	10	<0,10 (<0,05 - <0,17)	1	0,21
KKW Fessenheim Frankreich	2003	29	<0,09	5	0,15
	2004	15	<0,11	4	0,14
	2005	11	<0,07 (<0,02 - 0,18)	3	0,05 (0,03 - 0,08)
Bayern					
KRB Gundremmingen	2003	1	<0,2	1	0,74
	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
KKI Isar	2003	a)		1	0,53
	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
KKG Grafenrheinfeld	2003	2	<0,2	2	0,32
	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Berlin					
Forschungsreaktor	2003	11	<0,19	6	0,33
BERII	2004	13	<0,16	3	0,17
	2005	10	<0,15 (<0,03 - <0,42)	3	0,10 (0,04 - 0,38)
Brandenburg					
KKR	2003	10	<0,11	10	0,22
Rheinsberg	2004	18	<0,14	14	0,11
	2005	17	<0,15 (<0,11 - <0,20)	17	0,20 (0,03 - 0,87)
Hessen					
KWB	2003	16	<0,08	16	0,08
Biblis	2004	10	<0,04	10	0,08
	2005	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Pu-238 Bq/kg Asche Pu-(239+240) Bq/kg Asche
Nuklearbetriebe	2003			a)	a)
Hanau	2004			1	<0,06 0,12
	2005	a)		a)	
			Cs-137		Sr-90
Mecklenburg-Vorp.					
KGR	2003	2	0,08	2	0,03
Greifswald	2004	2	<0,12	2	0,14
	2005	a)	a)	a)	
Niedersachsen					
KKE	2003	5	<0,11	5	0,15
Emsland	2004	7	<0,10	7	0,24
	2005	7	<0,13 (0,07 - 0,29)	7	0,23 (0,10 - 0,63)
KWG	2003	4	<0,07	4	0,08
Grohnde	2004	5	<0,10	5	0,18
	2005	4	<0,11 (<0,09 - <0,13)	4	0,28 (0,07 - 0,75)
KKS	2003	5	<0,14	5	0,27
Stade	2004	4	<0,10	4	0,14
	2005	4	<0,11 (<0,08 - <0,15)	4	0,25 (0,05 - 0,44)
KKU	2003	7	<0,08	7	0,10
Unterweser	2004	7	<0,09	7	0,09
	2005	7	<0,11 (<0,08 - <0,14)	7	0,13 (0,06 - 0,34)
Schacht Konrad II b)	2003	a)		a)	
	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	2005	3	<0,12 (<0,07 - 0,15)		

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Nordrhein-Westfalen					
FZ Jülich	2003	7	<0,08	7	0,14
	2004	10	<0,14	10	<0,20
	2005	6	<0,12 (<0,06 - <0,26)	5	0,07 (0,008 - 0,18)
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
UAG Gronau	2003	5	3,5	5	<0,9
	2004	5	<2,1 (<1,5 - 3,3)	5	<0,26
	2005	a)	a)	3	a)
			Cs-137		Sr-90
Rheinland-Pfalz					
KWK	2003	1	<0,05	1	0,01
Mülheim-Kärlich	2004	2	<0,06	a)	
	2005	1	<0,02	a)	
Sachsen					
VKTA	2003	2	<0,05	1	0,13
Rosendorf	2004	1	<0,1	1	0,13
	2005	5	<0,26 (<0,08 - <0,95)	2	0,11 (0,09 - 0,13)
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	2003	2	<0,18	2	0,36
	2004	2	<0,2	1	0,19
	2005	2	<0,16 (<0,15 - <0,16)	1	0,25
Schleswig-Holstein					
GKSS	2003	1	<0,11	1	0,14
Geesthacht	2004	1	<0,10	1	0,15
	2005	1	<0,16	1	0,17
KKK	2003	1	<0,06	1	0,04
Krümmel	2004	2	<0,06	2	0,08
	2005	1	<0,05	1	0,13
KKB	2004	1	<0,07		
Brunsbüttel	2005	1	<0,1		

a) Messwerte lagen nicht vor

b) 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

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

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)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	2003	10	<0,07	7	0,18
	2004	7	<0,07	2	0,32
	2005	5	<0,06 (<0,05 - <0,07)	a)	
KWO	2003	6	<0,09	3	0,13
Obrigheim	2004	6	<0,10	3	0,10
	2005	2	<0,27 (<0,10 - 0,44)	a)	
GKN	2003	6	<0,07	3	0,11
Neckarwestheim	2004	6	<0,08	3	0,10
	2005	1	<0,14	a)	
KKP	2003	5	<0,08	3	0,14
Philippsburg	2004	7	<0,07	4	0,15
	2005	2	<0,11 (<0,09 - <0,13)	a)	
KKW	2003	7	<0,07	4	0,27
Beznau/Leibstadt	2004	4	<0,08	4	0,27
Schweiz	2005	a)	a)	a)	
KKW	2003	7	<0,09	3	0,19
Fessenheim	2004	3	<0,09	3	0,20
Frankreich	2005	5	<0,09 (<0,06 - 0,15)	1	0,12
Bayern					
KRB	2003	3	<0,2	3	0,21
Gundremmingen	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
KKI	2003	3	<0,2	3	0,14
Isar	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
KKG	2003	2	<0,2	2	0,12
Grafenrheinfeld	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität		
SBWK	2003	a)		a)	
Karlstein	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
Berlin			Cs-137		
Forschungsreaktor	2003	a)			
BERII	2004	a)			
	2005	a)			
Hessen					
KWB	2003	4	<0,14	4	<0,09
Biblis	2004	12	<0,10	10	0,08
	2005	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90	
Nuklearbetriebe Hanau	2003		Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche	a)	Pu-238 Bq/kg Asche	Pu-(239+240) Bq/kg Asche
	2004			1	<0,06	<0,05
	2005			a)		
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137		Sr-90	
KGR	2003	5	<0,12	5	0,20	
Greifswald	2004	7	<0,12	7	0,16	
	2005	10	<0,17 (<0,10 - 0,69)	10	0,15 (0,04 - 0,34)	
Niedersachsen						
KKE	2003	a)		a)		
Emsland	2004	1	<0,17	1	0,55	
	2005	1	<0,06	1	0,40	
KWG	2003	a)		a)		
Grohnde	2004	2	<0,14	2	0,43	
	2005	2	<0,13 (<0,11 - <0,14)	2	0,21 (0,15 - 0,27)	
KKS	2003	a)		a)		
Stade	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
KKU	2003	a)		a)		
Unterweser	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
Schacht Konrad II b)	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
Nordrhein-Westfalen						
Zwischenlager Ahaus	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
FZ Jülich	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)	U-238 (Bq/kg TM)
UAG Gronau	2003	20	<1,6	20	<0,23	b)<0,3 ;<0,3 N = 2
	2004	18	<1,5	18	<0,23	<0,1 (N = 4)
	2005	18	<1,5 (<1,5 - <1,5)	18	<0,23 (<0,23-<0,23)	<0,4 (<0,4-<0,4) (N = 4)
Rheinland-Pfalz			Cs-137		Sr-90	
KWK	2003	a)		a)		
Mülheim-Kärlich	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	2003	4	<0,16	1	0,18
	2004	4	0,16	1	0,22
	2005	3	<0,18 (<0,01 - <0,20)	1	0,08
Schleswig-Holstein					
GKSS	2003	1	<0,10	1	0,29
	2004	1	<0,16	1	0,23
	2005	1	<0,17	1	0,33
KKB Brunsbüttel	2003	2	<0,09	2	0,13
	2004	2	<0,10	2	0,13
	2005	2	<0,08 (<0,08 - <0,09)	2	0,10 (0,10 - 0,10)
KKK Krümmel	2003	2	<0,04	1	0,21
	2004	2	<0,06	2	0,32
	2005	2	<0,07 (0,04 - <0,10)	2	0,24 (0,21 - 0,27)

a) Messwerte lagen nicht vor

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

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

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)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) C-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	2003	6	<0,03	1	0,38
	2004	3	<0,05	1	0,34
	2005	2	<0,01 (<0,01 - <0,01)	a)	
KWO Obrigheim	2003	8	<0,06	2	0,05
	2004	7	<0,05	3	0,10
	2005	3	<0,04 (<0,03 - <0,05)	3	0,08 (0,05 - 0,11)
GKN Neckarwestheim	2003	5	<0,09	2	0,09
	2004	5	<0,06	2	0,08
	2005	2	<0,08 (<0,07 - <0,09)	2	0,09 (0,07 - 0,11)
KKP Philippsburg	2003	3	<0,09	1	0,18
	2004	5	<0,08	1	0,02
	2005	3	<0,09 (<0,05 - <0,11)	1	0,01
KKW Beznau/Leibstadt	2003	8	<0,06		
	2004	8	<0,05	1	0,02
	2005	1	<0,05	1	0,11
KKW Fessenheim Frankreich	2003	2	<0,08	2	0,22
	2004	6	<0,09	2	0,24
	2005	3	<0,05 (<0,04 - <0,08)	3	0,10 (0,04 - 0,16)
Bayern					
KRB Gundremmingen	2003	1	0,4	1	0,01
	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich) C-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90	
KKG Grafenrheinfeld	2003	2	<0,25	2	0,05	
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
Berlin						
Forschungsreaktor BERII	2003	7	<0,11	1	0,07	
	2004	4	<0,11	1	0,05	
	2005	3	<0,09 (<0,04 - <0,14)	1	0,04	
Brandenburg						
KKR Rheinsberg	2003	1	<0,16	1	0,11	
	2004	a)		a)		
	2005	1	<0,1	1	0,1	
Hessen						
KWB Biblis	2003	5	<0,03	5	0,04	
	2004	4	<0,02	4	0,01	
	2005	a)		a)		
Mecklenburg-Vorp.						
KGR Greifswald	2003	12	<0,12	12	0,11	
	2004	14	<0,15	8	0,06	
	2005	11	<0,13 (0,05 - <0,31)	8	0,04 (0,02 - 0,13)	
Niedersachsen						
KKE Emsland	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
KWG Grohnde	2003	1	0,06	1	0,02	
	2004	a)		a)		
	2005	1	<0,11	1	0,11	
KKS Stade	2003	2	<0,06	2	0,05	
	2004	3	<0,08	3	<0,04	
	2005	3	<0,08 (<0,06 - <0,11)	3	0,03 (0,02 - 0,04)	
KKU Unterweser	2003	a)		a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
Schacht Konrad II b)	2003	1	<0,08	a)		
	2004	a)		a)		
	2005	a)		a)		
Nordrhein-Westfalen						
FZ Jülich	2003	a)		a)		
	2004	1	<0,2	1	0,03	
	2005	1	<0,07	1	0,02	
UAG Gronau			Fluor (mg/kgTM)		Uran (Bq/kgTM)	U-238 (Bq/kgTM)
	2003	1	<1,5	1	<0,23	<0,3(<0,3-<0,3)N=4
	2004	a)		3	a)	<0,1
	2005			3	a)	<0,4(<0,4-<0,4)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) C-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Rheinland-Pfalz					
KWK	2003	4	<0,04	4	0,03
Mülheim-Kärlich	2004	2	<0,04	a)	
	2005	2	<0,20 (<0,2 - <0,2)	a)	
Sachsen					
VKTA	2003	1	<0,09	1	0,04
Rosendorf	2004	1	<0,08	1	0,02
	2005	1	<0,11	2	0,02 (0,02 – 0,02)
Sachsen-Anhalt					
EndlagerMorsleben	2003	5	<0,13	2	<0,03
	2004	3	<0,13	2	<0,14
	2005	4	<0,13 (<0,1 - <0,16)	2	<0,03 (<0,02 - 0,04)
Schleswig-Holstein					
KKK	2003	2	<0,03	2	0,06
Krümmel	2004	2	<0,03	2	0,05
	2005	a)		a)	

a) Messwerte lagen nicht vor

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

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

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)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	2003	3	<0,04	2	0,04
	2004	2	<0,03	2	0,02
	2005	2	<0,03 (<0,02 - <0,03)	a)	
KWO	2003	2	<0,08	2	0,05
Obrigheim	2004	2	<0,06	2	0,03
	2005	1	<0,07	1	0,01
GKN	2003	3	<0,06	3	0,05
Neckarwestheim	2004	3	<0,08	3	0,02
	2005	2	<0,05 (<0,05 - <0,06)	2	0,03 (0,03 - 0,03)
KKP	2003	1	<0,09	1	0,03
Philippsburg	2004	2	<0,04	1	0,02
	2005	1	<0,03	a)	
KKW	2003	4	<0,06	4	0,04
Beznau/Leibstadt	2004	4	<0,06	4	0,05
Schweiz	2005	a)		a)	
KKW	2003	3	<0,08	2	0,03
Fessenheim	2004	2	<0,09	2	0,02
Frankreich	2005	3	<0,03 (0,02 - <0,04)	a)	

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Bayern					
KRB	2003	a)		a)	
Gundremmingen	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	2003	1	0,17	a)	
	2004	2	<0,20	a)	
	2005	2	<0,12 (<0,05 - <0,18)	1	0,03
Brandenburg					
KKR	2003	1	<0,14	1	0,02
Rheinsberg	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
Hessen					
KWB	2003	4	<0,07	4	0,03
Biblis	2004	3	<0,05	3	0,03
	2005	a)	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorp.					
KGR	2003	1	<0,07	1	0,01
Greifswald	2004	1	<0,08	a)	
	2005	a)		a)	
Niedersachsen					
KWG	2003	1	0,07	1	0,03
Grohnde	2004	1	0,07	1	0,06
	2005	1	<0,08	1	0,05
KKU	2003	1	0,24	1	0,04
Unterweser	2004	1	0,21	1	0,07
	2005	1	<0,12	1	0,04
KKS	2003	1	<0,09	1	0,03
Stade	2004	1	0,09	1	0,04
	2005	1	<0,12	1	0,3
KKE	2003	a)		a)	
Emsland	2004	a)		a)	
	2005	a)		a)	
Forschungsbergwerk Asse	2005	1	<0,12		
Nordrhein-Westfalen					
FZJülich	2003	1	<0,12	1	0,02
	2004	a)		a)	
	2005	4	<0,12 (<0,07 - <0,16)	4	0,11 (0,04 - 0,14)
Rheinland-Pfalz					
KWK	2003	4	<0,05	4	0,06
Mülheim-Kärlich	2004	1	<0,03	a)	
	2005	2	<0,03 (<0,03 - <0,03)	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 Jahresmittelwerte der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel und Tees dienen, für 2005 zusammengefasst. Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 liegen mit maximal etwa 1200 Bq/kg (TM) bei Spitzwegerichkraut aus Ungarn und minimal etwa 110 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Rumänien im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten des Cäsium-137 erreichen Spitzenwerte von etwa 550 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern aus Polen und etwa 200 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Rumänien.

Für Tabak wurden je nach Herkunft Kalium-40-Gehalte zwischen 570 und 2100 Bq/kg(TM) gemessen. Die Maximalwerte für Cs-137 lagen bei 3,6 Bq/kg (TM) für Rohtabak aus Bulgarien.

Tabelle 2.5-1 Jahresmittelwerte der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel dienen, für 2005 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes.
(Annual mean value of the cesium-137 and potassium-40 concentrations in different medicinal plants and plants used as basic product for pharmaceuticals, and indication of their country of origin, in the year 2005)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Ginkgoblätter	China	320	0,2
Kürbiskerne	Österreich	310	0,07
Lindenblüten	Bulgarien	610	1,1
Pfefferminzblätter	Deutschland	640	0,5
Salbei KBA ¹⁾	Kroatien	380	0,3
Kamillenblüten	Kroatien	970	NWG: 0,6
Hagebuttenschalen	Chile	710	0,2
Islandmoos	Rumänien	110	200
Johanniskraut	Polen	540	NWG: 0,3
Ringelblumenblüten	Ägypten	450	NWG: 0,5
Brennnesselblätter	Bulgarien	1100	NWG: 0,8
Mateblätter, grün	Brasilien	690	0,1
Gänsefingerkraut	Polen	480	27
Spitzwegerichkraut	Ungarn	1200	0,2
Thymian, gerebelt	Polen	580	0,6
Lavendelblüten	Frankreich	580	NWG: 0,5
Wacholderbeeren	Bulgarien	340	0,2
Majoran, gerebelt	Ägypten	600	0,6
Pfeffer, schwarz, ganz	Vietnam	520	NWG: 0,3
Fenchel	Bulgarien	510	0,1
Weißdornblüten	Serbien	730	1,2
Bitterkleeblätter	Polen	930	550
Grüner Tee	China	570	0,4
Melissenblätter	Serbien	900	1,2

¹⁾ KBA: kontrolliert biologischer Anbau

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 2005 liegen die Messergebnisse aus 95 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 Maxi-

malwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Kalium-40, Kobalt-60, Cs-134 und Cs-137, Jod-131, Strontium-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 2005 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 2400 Bq/kg TM (Vorjahr bis 850 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 230 bzw. 190 Bq/kg TM (Vorjahr 140 bzw. 100 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: 43 Bq/kg TM; Maximalwert: 3100 Bq/kg TM, Vorjahr: 41 bzw. 2500 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Maximalwert Abwasser: 140 Bq/l, Maximalwert Klärschlamm: 260 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Maximalwert: 780 Bq/kg TM) und Indium-111 (Maximalwert: 30 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 0,009 bzw. 0,02 Bq/kg TM nachgewiesen.

Von den infolge des Unfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 von Bedeutung. Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Unfall 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 97% und von Cs-134 ausschließlich unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieser Radionuklide im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2005 zwischen 0,0012 und 0,2 Bq/l, bei einem Median von < 0,031 Bq/l (2004: zwischen 0,0016 und 0,010 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge starker Niederschläge Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 2.6-1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2005 – wie seit bereits mehr als anderthalb Jahrzehnten - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 86 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 und 86 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 2005 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 und 21 Bq/kg TM. Nach einem sehr drastischen Anstieg des Jahresmittelwertes in Bremen im Jahr 2003 zeigt sich auch in diesem Bundesland wieder eine Tendenz zur Abnahme der Cs-137-Gehalte (Abb.2.6-1). 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.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 0,5 : 1 betrug, hat sich auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertszeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2005, d. h. im Laufe von 19 Jahren auf etwa 0,0013 : 1 verschoben (Vorjahr: 0,0018 : 1). In wenig belasteten Gebieten findet man häufig ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche relativ stärker bemerkbar macht, sofern Cs-134 überhaupt noch nachzuweisen ist.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 86 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 14 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.

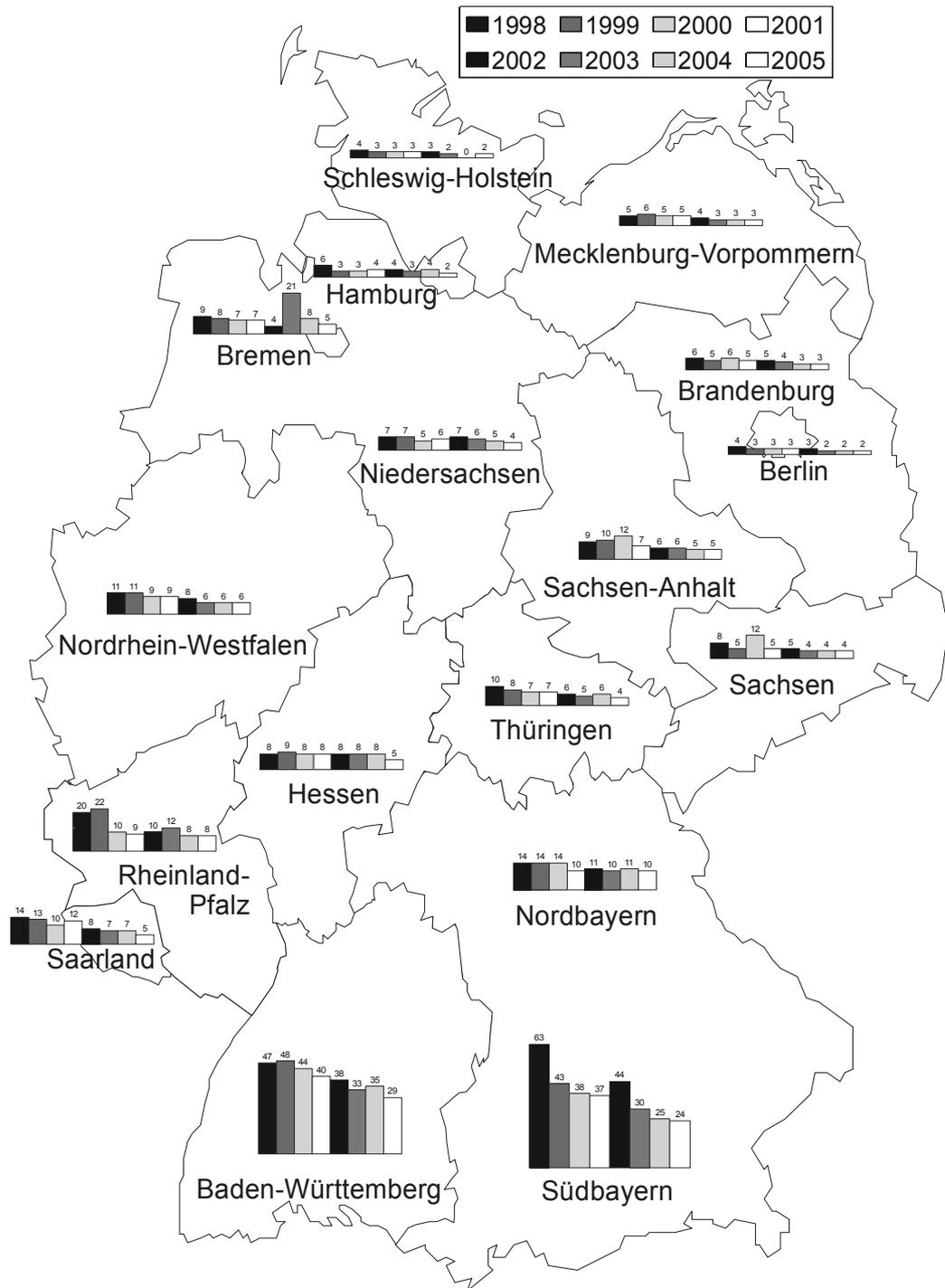


Abbildung 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal Länder)

Tabelle 2.6- 1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2005 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2005 - minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	20	0,11	1,2	0,36	<1,5
	Co-60	20	20				<0,052
	I-131	14	0				0,27
	Cs-137	20	20				<0,057
	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	1,9	1,9	0,35	<3,1
	Co-60	4	4	0,22	0,45		<0,084
	I-131	4	0				0,37
	Cs-137	4	4				<0,084
	Sr-90	4	0				0,001
	U-234	4	0				0,00017
	U-235	4	4				<0,00005
	U-238	4	0				0,00013
Niedersachsen	K-40	48	12			0,31	1,4
	Co-60	48	48	0,026	0,73	<0,025	
	I-131	48	9			0,088	
	Cs-137	48	48			<0,023	
	Sr-90	6	1			0,008	
	U-234	4	3			<0,00055	
	U-235	4	4			<0,00061	
	U-238	4	3			<0,00055	
Bremen	K-40	8	3			0,49	1
	Co-60	8	8	0,079	0,5	<0,029	
	I-131	8	0			0,24	
	Cs-137	8	8			<0,033	
	Sr-90	3	3			<0,025	
	U-234	4	3			0,046	
	U-235	4	4			<0,002	
	U-238	4	1			0,0042	
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	22			0,42	5,3
	Co-60	40	40	0,03	0,85	<0,047	
	I-131	40	11			0,17	
	Cs-137	40	39			<0,048	
	Sr-90	4	2			0,069	
	U-234	4	0			0,0095	
	U-235	4	4			<0,0023	
	U-238	4	0			0,007	
Hessen	K-40	20	16			0,47	0,94
	Co-60	20	20	0,0069	0,03	<0,051	
	I-131	11	11			<0,36	
	Cs-137	20	20			<0,053	
	Sr-90	4	4			<0,1	
	U-234	4	1			0,012	
	U-235	4	4			<0,005	
	U-238	4	1			0,0078	

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Rheinland-Pfalz	K-40	20	6	0,53	2,3	1,3	0,97
	Co-60	20	20				<0,023
	I-131	20	3	0,034	1,7	0,22	0,073
	Cs-137	20	20				<0,025
	Sr-90	4	0	0,0014	0,0023	0,002	0,0021
	U-234	4	1	0,0028	0,035	0,016	<0,015
	U-235	4	4				<0,0081
	U-238	4	0	0,0037	0,034	0,017	0,015
Baden-Württemberg	K-40	40	8	0,3	0,83	0,54	0,53
	Co-60	40	40				<0,03
	I-131	40	34	0,051	0,22		<0,051
	Cs-137	40	39	0,023	0,023		<0,026
	Sr-90	4	2	0,003	0,004		0,0035
	U-234	4	0	0,0037	0,0066	0,0055	0,0059
	U-235	4	3	0,00025	0,00025		<0,0004
	U-238	4	0	0,0032	0,006	0,0044	0,0042
Bayern	K-40	38	33	0,84	1,5		<1,3
	Co-60	38	38				<0,09
	I-131	6	0	0,16	0,44	0,29	0,27
	Cs-137	38	38				<0,099
	Sr-90	4	4				<0,016
	U-234	4	0	0,00085	0,017	0,0092	0,0095
	U-235	4	3	0,00085	0,00085		0,00085
	U-238	4	0	0,00071	0,016	0,0089	0,0096
Saarland	K-40	6	0	0,52	1,1	0,87	0,95
	Co-60	6	6				<0,0084
	I-131	3	0	0,007	0,22	0,082	0,025
	Cs-137	6	6				<0,0097
	Sr-90	2	1	0,0042	0,0042		0,0042
	U-234	2	0	0,0021	0,0025	0,0023	0,0023
	U-235	2	2				<0,00024
	U-238	2	0	0,0012	0,0017	0,0014	0,0014
Berlin	K-40	16	0	0,093	1,6	0,94	0,95
	Co-60	16	16				<0,0012
	i-131	10	10				<0,027
	Cs-137	16	8	0,0012	0,0035		<0,0022
	Sr-90	8	0	0,0022	0,004	0,0032	0,0033
	U-234	8	0	0,0016	0,0043	0,0026	0,0025
	U-235	8	3	0,000076	0,0002	0,00015	0,00017
	U-238	8	0	0,0013	0,0035	0,0023	0,0023
Brandenburg	K-40	20	0	0,6	1,1	0,89	0,9
	Co-60	20	20				<0,0091
	I-131	20	0	0,03	0,81	0,21	0,1
	Cs-137	20	18	0,006	0,01		<0,009
	Sr-90	8	0	0,003	0,005	0,0039	0,004
	U-234	8	3	0,0003	0,001	0,00062	0,00035
	U-235	8	8				<0,00029
	U-238	8	2	0,0002	0,0008	0,00047	0,0003
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,47	1,2	0,79	0,77
	Co-60	20	20				<0,015
	I-131	19	0	0,02	0,69	0,17	0,16
	Cs-137	20	20				<0,013
	Sr-90	4	1	0,001	0,0045	0,0028	0,003
	U-234	4	1	0,0028	0,0086	0,0056	0,0042
	U-235	4	4				<0,0041
	U-238	4	3	0,0022	0,0022		<0,0041

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Sachsen	K-40	20	5	0,53	1,4	1	1
	Co-60	20	20				<0,074
	I-131	20	10	0,057	0,63		0,16
	Cs-137	20	20				<0,07
	Sr-90	4	3	0,006	0,006		<0,008
	U-234	4	0	0,0059	0,016	0,012	0,014
	U-235	4	4				<0,0018
	U-238	4	0	0,0059	0,013	0,011	0,012
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	0,42	1,4	0,8	0,78
	Co-60	20	20				<0,0098
	I-131	20	4	0,015	0,34	0,13	0,056
	Cs-137	20	20				<0,011
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	0	0,0048	0,043	0,02	0,016
	U-235	4	1	0,0004	0,001	0,00067	0,0008
	U-238	4	0	0,0046	0,03	0,014	0,011
Thüringen	K-40	21	21				<2,1
	Co-60	21	21				<0,083
	Cs-137	21	21				0,09
	Sr-90	4	4				<0,0033
	U-234	4	0	0,012	0,09	0,041	<0,032
	U-235	4	3	0,0026	0,0026		<0,0011
	U-238	4	0	0,0072	0,045	0,021	0,017
	Bundesrepublik Deutschland	K-40	361	149	0,093	5,3	0,91
Co-60		361	361				<0,033
I-131		283	92	0,007	1,7	0,21	0,1
Cs-137		361	349	0,0012	0,2		<0,031
Sr-90		71	33	0,00076	0,5	0,019	0,0042
U-234		70	16	0,00013	0,09	0,01	0,0047
U-235		70	59	0,000076	0,0026		0,00085
U-238		70	14	0,00013	0,045	0,0073	0,0043
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	29	350	83	58
	Co-60	20	20				<0,85
	I-131	20	0	4,3	83	30	24
	Cs-137	20	6	0,95	3,9	1,9	1,4
	Sr-90	4	0	2,9	7	4,7	4,4
	U-234	4	0	6,7	19	13	12
	U-235	4	4				<5
	U-238	4	0	6,3	22	13	11
Hamburg	K-40	8	0	120	420	260	250
	Co-60	8	8				<1,1
	I-131	8	0	9,8	430	97	54
	Cs-134	8	8				<0,97
	Cs-137	8	3	1,6	2,8	1,9	<2,5
	Sr-90	4	0	1	1,8	1,4	1,3
	U-234	4	0	12	14	13	13
	U-235	4	0	0,54	0,66	0,58	0,56
U-238	4	0	11	13	12	12	
Niedersachsen	K-40	40	0	42	680	220	130
	Co-60	40	40				<0,52
	I-131	39	0	3,2	3100	300	78
	Cs-134	40	40				<0,47
	Cs-137	40	3	0,98	13	4,1	3,4
	Sr-90	4	0	2,9	3,9	3,4	3,5
	U-234	4	0	10	45	27	27
	U-235	4	2	0,2	1,7		<0,46
U-238	4	0	10	35	22	22	

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Bremen	K-40	8	0	120	2400	600	390
	Co-60	8	8				<1,5
	I-131	6	0	10	120	52	36
	Cs-134	8	8				<1,3
	Cs-137	8	0	2,8	6,6	4,7	5
	Sr-90	4	0	0,71	1,6	1,1	1
	U-234	4	0	9,8	14	12	13
	U-235	4	3	0,49	0,49		<1,4
	U-238	4	0	8,9	12	11	11
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	62	450	190	160
	Co-60	40	40				<0,2
	I-131	40	0	0,86	460	81	37
	Cs-134	39	39				<0,24
	Cs-137	40	1	1,8	16	5,6	4,6
	Sr-90	4	1	3,4	13	7,8	5,1
	U-234	4	0	28	42	36	38
	U-235	4	0	1,1	1,8	1,5	1,4
	U-238	4	0	22	33	29	29
Hessen	K-40	20	0	100	280	150	140
	Co-60	20	20				<1,1
	I-131	11	4	20	77	41	27
	Cs-134	20	20				<1
	Cs-137	20	1	1,4	12	4,9	4,3
	Sr-90	4	1	0,4	1,3	0,86	1,1
	U-234	4	0	30	110	70	68
	U-235	4	0	1,1	3,4	2,2	2,2
	U-238	4	0	22	75	47	45
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	78	430	180	170
	Co-60	20	20				<0,48
	I-131	20	3	1,5	210	49	12
	Cs-134	20	20				<0,43
	Cs-137	20	3	1	47	9,3	4,8
	Sr-90	4	0	1,3	6,3	3,1	2,5
	U-234	4	0	39	56	47	46
	U-235	4	1	1,1	1,3	1,2	<1,2
	U-238	4	0	31	34	32	32
Baden-Württemberg	K-40	35	0	69	460	200	170
	Co-60	35	35				<0,87
	I-131	35	2	1,1	540	84	30
	Cs-134	35	35				<0,71
	Cs-137	35	0	2,7	120	29	15
Baden-Württemberg (West ²)	Co-60	25	25				<0,79
	Cs-134	25	25				<0,71
	Cs-137	25	0	2,7	110	15	8,3
Baden-Württemberg (Ost ³)	Co-60	10	10				<1
	Cs-134	10	10				<0,93
	Cs-137	10	0	30	120	64	59
Bayern	K-40	38	0	52	560	250	230
	Co-60	38	38				<1,2
	I-131	31	0	6,8	430	74	43
	Cs-134	38	38				<1,4
	Cs-137	38	0	1,6	64	17	12
	Sr-90	4	2	4,8	7,7		<5
	U-234	4	0	42	58	51	52
	U-235	10	0	1,8	12	5,9	5,9
	U-238	4	0	45	52	49	50

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Bayern (Nord ²)	Co-60	18	18				<1,2
	Cs-134	18	18				<1,5
	Cs-137	18	0	3,9	22	9,6	7
	Sr-90	2	1	7,7	7,7		7,7
Bayern (Süd ³)	Co-60	20	20				<1,3
	Cs-134	20	20				<1,4
	Cs-137	20	0	1,6	64	24	21
	Sr-90	2	1	4,8	4,8		4,8
Saarland	K-40	8	0	190	300	220	210
	Co-60	8	8				<0,41
	I-131	8	0	5,9	180	54	29
	Cs-134	8	8				<0,38
	Cs-137	8	0	1,3	10	4,7	4,6
	Sr-90	4	0	1,7	5,2	3,4	3,3
	U-234	4	0	38	60	47	44
	U-235	4	0	1,2	2,1	1,6	1,6
	U-238	4	0	28	43	34	32
Berlin	K-40	17	0	30	120	77	73
	Co-60	17	17				<0,43
	I-131	17	0	33	250	96	84
	Cs-134	17	17				<0,45
	Cs-137	17	0	0,75	2,6	1,8	1,8
	Sr-90	4	0	1,3	1,6	1,5	1,5
	U-234	4	0	11	16	14	14
	U-235	5	1	0,46	0,6	0,51	0,51
	U-238	5	1	9,1	14	12	13
Brandenburg	K-40	21	0	38	140	100	120
	Co-60	21	21				<0,19
	I-131	20	0	3,4	340	56	38
	Cs-134	21	21				<0,18
	Cs-137	21	0	1	8,8	3	2
	Sr-90	7	0	2	3,6	2,7	2,6
	U-234	6	0	14	30	19	19
	U-235	6	0	0,6	4	1,3	0,65
	U-238	6	0	12	20	16	16
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	57	190	120	120
	Co-60	20	20				<0,34
	I-131	18	0	11	460	130	91
	Cs-134	20	20				<0,3
	Cs-137	20	0	0,66	7,4	2,7	1,9
	Sr-90	4	1	3,8	4,4	4,2	4,1
	U-234	4	0	13	27	19	18
	U-235	4	1	0,68	1,1	0,84	0,71
	U-238	4	0	14	25	18	17
Sachsen	K-40	20	0	78	210	150	150
	Co-60	20	20				<0,59
	Cs-134	20	20				<0,64
	Cs-137	20	2	7,9	15	4,3	3,2
	Sr-90	4	0	1,1	2	1,5	1,5
	U-234	4	0	39	230	97	57
	U-235	4	3	5,2	5,2		<3,5
	U-238	4	0	37	190	84	52

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert ¹	Maximalwert ¹	Mittel-/ Einzelwerte ¹	Median
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	110	410	190	140
	Co-60	20	20				<0,19
	I-131	20	0	2,1	260	74	58
	Cs-134	20	20				<0,19
	Cs-137	20	0	1,9	9,5	4,6	4,2
	Sr-90	4	4				<5
	U-234	4	0	49	120	86	88
	U-235	11	0	1,9	5,8	3,8	3,1
	U-238	15	0	18	110	57	52
Thüringen	K-40	20	0	92	400	210	220
	Co-60	20	20				<0,46
	I-131	16	0	0,61	60	21	16
	Cs-134	16	16				<0,47
	Cs-137	20	0	1,6	13	4,5	4,1
	Sr-90	4	0	0,94	2,2	1,5	1,4
	U-234	4	0	42	150	90	87
	U-235	4	0	1,5	3,7	2,4	2,2
	U-238	21	0	20	130	64	65
Bundesrepublik Deutschland	K-40	355	0	29	2400	190	140
	Co-60	355	355				<0,55
	I-131	309	9	0,61	3100	100	43
	Cs-134	330	330				<0,51
	Cs-137	355	19	0,66	120	8,4	3,9
	Sr-90	63	9	0,4	13	2,9	2,6
	U-234	62	0	6,7	230	42	34
	U-235	76	15	0,2	12	2,6	1,7
	U-238	91	1	6,3	190	42	32
Bundesrepublik Deutschland (Nord ²)	Co-60	325	325				<0,49
	Cs-134	300	300				<0,44
	Cs-137	325	19	0,66	110	5,5	3,5
	Sr-90	61	8	0,4	13	2,9	2,4
Bundesrepublik Deutschland (Süd ³)	Co-60	30	30				<1,1
	Cs-134	30	30				<1,2
	Cs-137	30	0	1,6	120	38	28
	Sr-90	2	1	4,8	4,8		4,8

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 2005 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 Cäsium-137, Jod-131, Kalium-40 und Tritium. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolf-

zell – 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 2005 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0013 : 1 (2004: 0,0018 : 1) abgenommen. Deshalb ist in fast allen Proben kein Cs-134 mehr zu finden und es werden nur noch Nachweisgrenzen angegeben.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** stammen die höchsten Werte für Cs-137 wie in den Vorjahren aus Nordbayern. Der Maximalwert liegt bei 1,4 Bq/l (2004: 1,9 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,067 Bq/l (2004: <0,065 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,090 Bq/l bis 90 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (2004: 0,096 bis 61 Bq/l, Median: 13 Bq/l). Tritium wurde in 74% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 5,7 und 1500 Bq/l (2004: 3,8 bis 660 Bq/l) gefunden.

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

Der Wert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich / östlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg - Zwiesel bei 280 Bq/kg TM (2004: 190 Bq/kg TM), der Median für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt bei 24 Bq/kg TM (2004: 82 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 270 Bq/kg TM bis 3000 Bq/kg TM, der Median bei 1400 Bq/kg TM (2004: 140 bis 3400 Bq/kg TM, Median: 1300 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,42 Bq/kg TM bis 49 Bq/kg TM (2004: 0,3 bis 61 Bq/kg TM) nachgewiesen werden,

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 14 Bq/kg TM (2004: 20 Bq/kg TM). Der gemessene Wert südlich/östlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg - Zwiesel liegt bei 9,2 Bq/kg TM (2004: 7,0 Bq/kg TM), nördlich davon bei 1,7 Bq/kg TM (2004: 1,5 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 120 Bq/kg TM bis 3800 Bq/kg TM (2004: 110 bis 3500 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,32 Bq/kg TM bis 12 Bq/kg TM (2004: 0,85 bis 1,9 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegt der gemessene Wert des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel im Jahr 2005 bei 1,7 Bq/kg TM (2004: 0,78 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 1,9 Bq/kg TM (2004: 1,0 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 3,4 Bq/kg TM bis 1700 Bq/kg TM (2004: 2,6 bis 2500 Bq/kg TM) mit einem Median von 120 Bq/kg TM (2004: 73 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,16 Bq/kg TM bis 3200 Bq/kg TM (2004: 0,28 bis 2000 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 (2004: alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der restlichen Bundesrepublik ein Median von <0,084 Bq/l (2004: <0,096 Bq/l).

I-131 wurde in 27 Proben mit Werten zwischen 0,22 Bq/l und 5200 Bq/l (2004: 0,083 und 2500 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 1,8 Bq/l (2004: 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 21 Bq/kg TM bis 46 Bq/kg TM (2004: 12 bis 37 Bq/kg TM) mit einem Median von 35 Bq/kg TM (2004: 24 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 2,2 Bq/kg TM und 31 Bq/kg TM (2004: 2,8 bis 27 Bq/kg TM), der Median liegt bei 7,5 Bq/kg TM (2004: 8,2 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 150 Bq/kg TM bis 920 Bq/kg TM, der Median bei 540 Bq/kg TM (2004: 180 bis 820 Bq/kg TM, Median: 470 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. 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 meistens noch durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 2.7-1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2005
(*Monitoring of residues and wastes in the year 2005*)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert ^{a)}	Maximal- wert ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Median
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	106	59	0,0018	1,4		0,067
Südlich *)	Cs-137	7	0	0,087	0,86	0,32	0,16
Alle Länder	K-40	113	13	0,09	90	19	13
	H-3	113	30	5,7	1500	78	22
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	49	1	0,61	150	32	24
Südlich *)	Cs-137	1	0				280
Alle Länder	K-40	50	0	270	3000	1400	1400
	I-131	31	17	0,42	49		<0,84
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	49	5	0,20	14	2,7	1,7
Südlich *)	Cs-137	1	0				9,2
Alle Länder	K-40	50	0	120	3800	430	300
	I-131	35	26	0,32	12		<0,63
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	43	11	0,054	45	7,9	1,9
Südlich *)	Cs-137	1	0				1,7
Alle Länder	K-40	44	1	3,4	1700	310	120
	I-131	40	6	0,16	3200	230	7,8
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	31	24	0,077	0,39		0,084
Südlich *)	Cs-137	1	1				<0,11
Alle Länder	K-40	32	12	1,5	47	12	3,2
	I-131	27	7	0,22	5200	530	1,8
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	51	0	2,2	31	8,3	7,5
Südlich *)	Cs-137	4	0	21	46	34	35
Alle Länder	K-40	55	0	150	920	510	540

*) 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 in Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cäsium-137- und Cäsium-134-Aktivität durchgeführt. Ab dem Jahr 1998 konnte kein Cs-134 mehr nachgewiesen werden. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 2.8-1 und 2.8-2 zusammengefasst und in Abb. 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. Bei den übrigen Messstellen werden keine regelmäßigen Messungen der Referenzgruppen mehr vorgenommen. 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 19 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
1993 a)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	<1,4	255	61	<1,2
2000	265	58	<1,6	242	63	<1,2
2001	362	57	<1,4	236	62	<1,1
2002	367	57	<1,3	245	62	<1,1
2003	419	57	<1,3	274	63	<1,1
2004	398	56	<1,4	278	62	<1,1
2005	444	55	<1,3	299	61	<1,1
Monatsmittelwerte für 2005						
Januar	38	55	<1,3	24	60	<1,1
Februar	35	55	<1,3	20	63	<1,1
März	39	54	<1,4	28	61	<1,1
April	35	56	<1,4	27	61	<1,1
Mai	38	55	<1,3	24	58	<1,1
Juni	39	56	<1,3	27	60	<1,1
Juli	36	55	<1,3	26	62	<1,1
August	38	53	<1,3	21	62	<1,1
September	33	55	<1,4	19	63	<1,1
Oktober	38	56	<1,4	30	61	<1,1
November	41	55	<1,3	28	61	<1,1
Dezember	34	55	<1,3	25	61	<1,1

a) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

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
1993	106	52	0,43	87	58	0,50
1994	112	49	<0,20	102	52	<0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 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
Monatsmittelwerte für 2005						
Januar	4	48	0,21	3	52	0,43
Februar	6	52	0,23	5	59	0,38
März	4	52	0,04	3	60	0,19
April	2	53	0,09	3	52	0,13
Mai	3	59	0,06	2	58	0,19
Juni	3	49	0,17	2	57	0,42
Juli	3	53	0,23	1	53	0,06
August	4	52	0,12	5	58	0,24
September	3	52	0,23	2	61	0,50
Oktober	2	53	0,26	2	64	0,16
November	4	49	0,12	3	61	0,10
Dezember	3	52	0,18	4	60	0,33

a) Mai 1996 keine Messungen

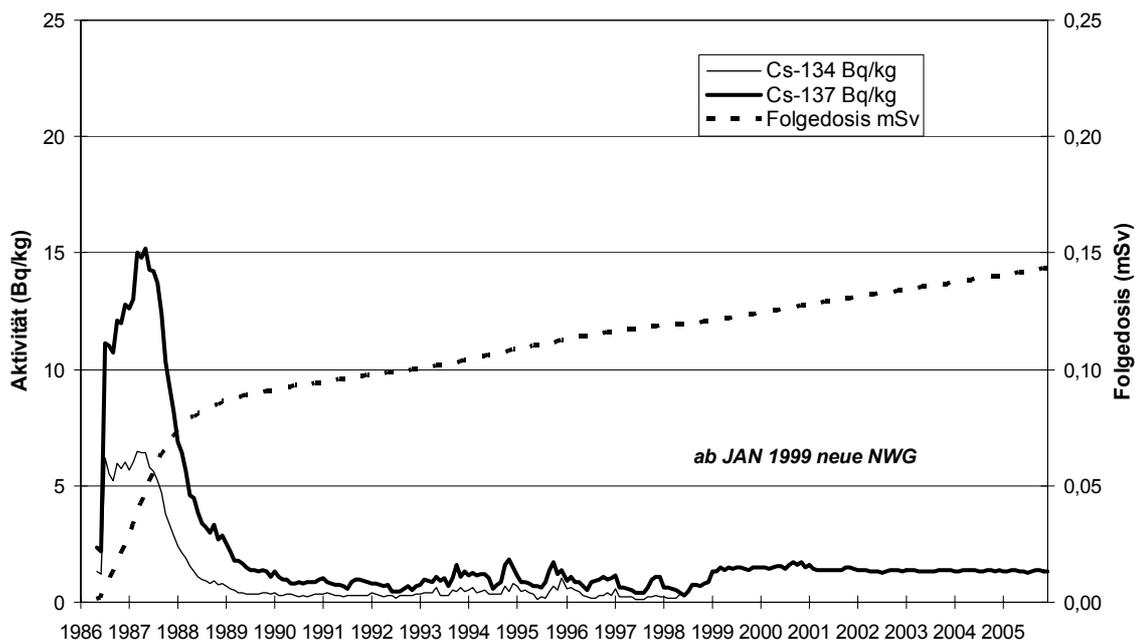


Abbildung 2.8-1 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munic, women)*

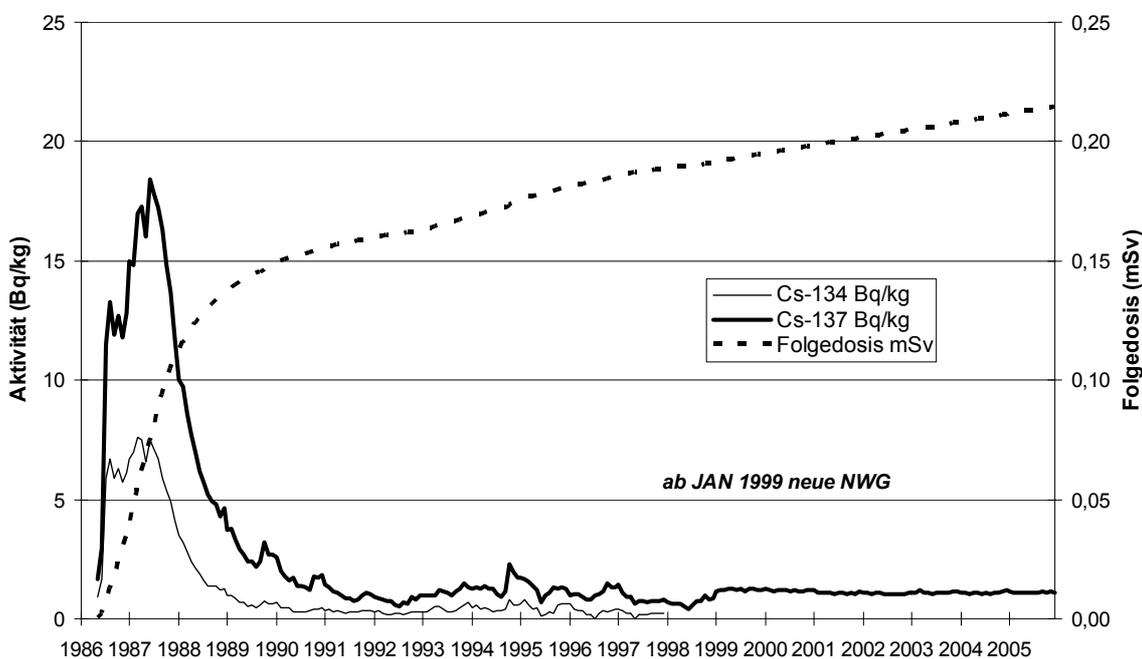


Abbildung 2.8-2 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munic, men)*

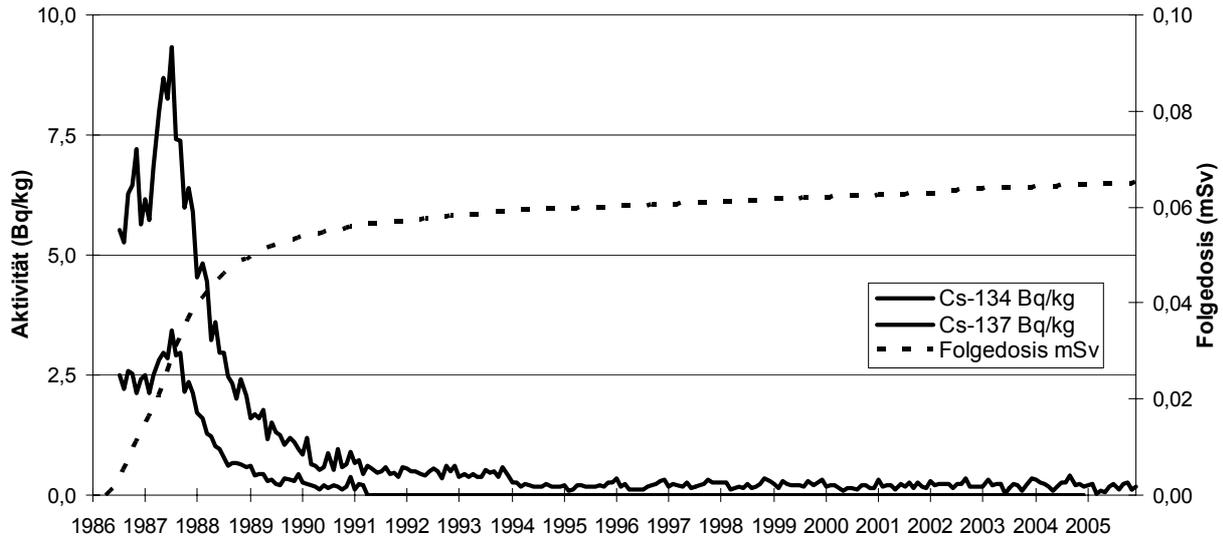


Abbildung 2.8-3 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, women)*

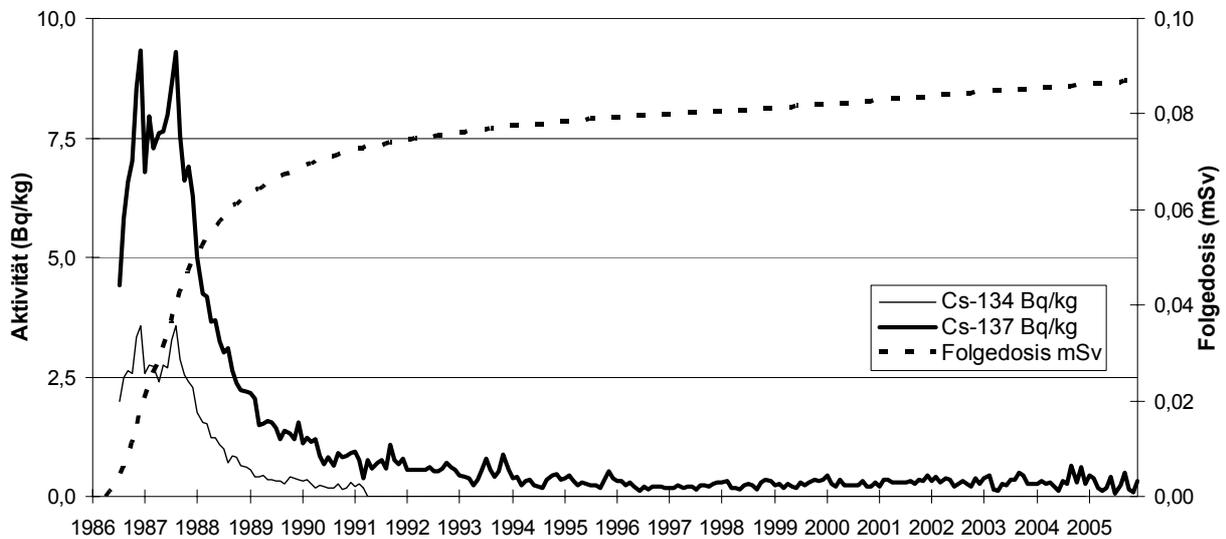


Abbildung 2.8-4 Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, men)*

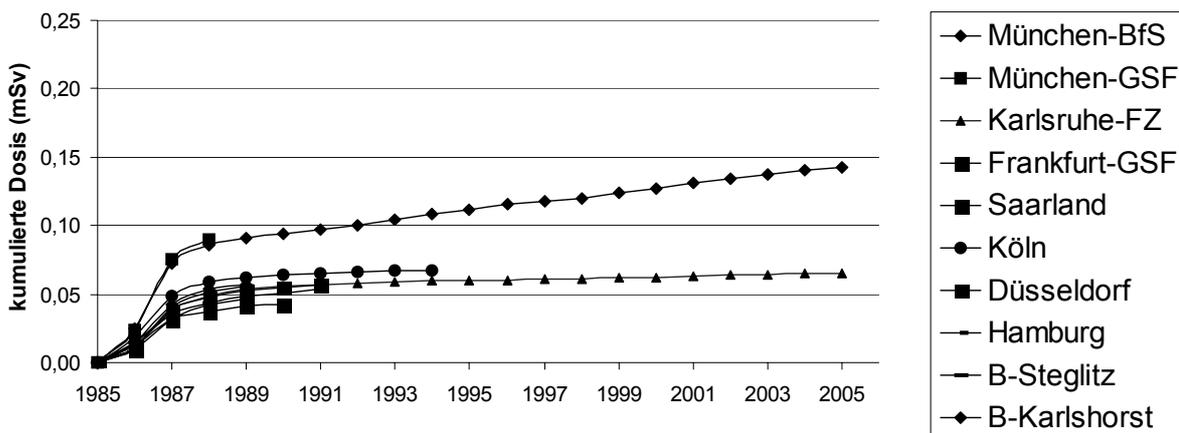


Abbildung 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: women)

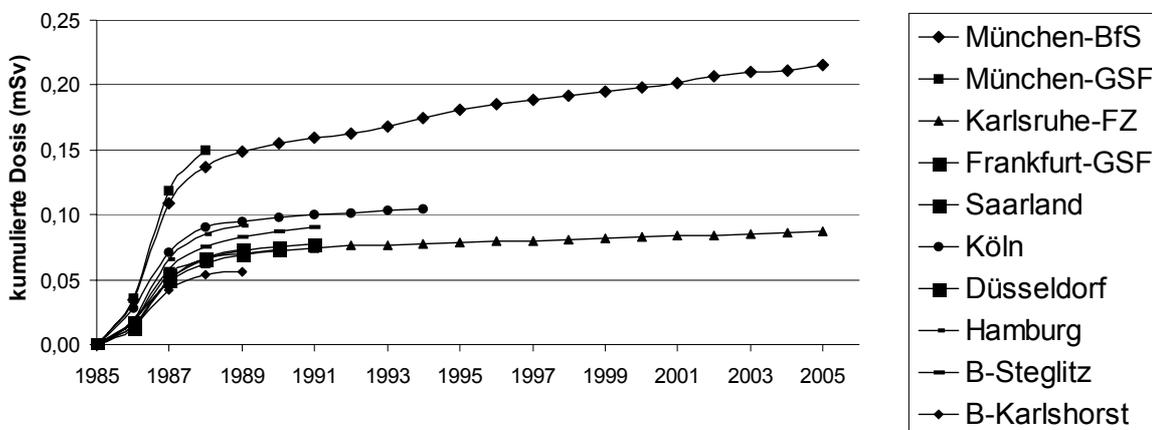


Abbildung 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

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 und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, kann aus Tabelle 1.1.1-1 entnommen werden. Da 77% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches „Medizin“ gesondert ausgewiesen.

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 0,003% im Jahr 2005 (8 Personen). Anmerkung: Nach § 117 Abs. 19 StrlSchV darf der Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen bis zum 31. Mai 2005 50 mSv im Kalenderjahr betragen.

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 2005 betrug 0,14 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, sie betrug im Jahr 2005 43 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 legen den Wert Null fest. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 53.000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,81 mSv.

Tabelle 1.1.1-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2005
 (Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
 (Monitoring with official personal doseimeters in the year 2005)
 (Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	43.156	30.895	3.439	2.705
Bayern	56.526	42.246	4.344	3.610
Berlin	15.640	11.611	1.062	840
Brandenburg	6.139	5.000	463	339
Bremen	3.229	2.514	237	186
Hamburg	10.342	5.684	596	464
Hessen	24.903	17.606	1.769	1.413
Mecklenburg-Vorpommern	5.283	3.642	322	255
Niedersachsen	27.988	21.667	2.295	1.870
Nordrhein-Westfalen	66.185	53.761	5.280	4.471
Rheinland-Pfalz	14.269	12.145	1.009	860
Saarland	4.462	4.045	407	357
Sachsen	12.119	9.711	869	639
Sachsen-Anhalt	7.471	6.340	509	379
Schleswig-Holstein	10.517	8.143	825	690
Thüringen	5.816	5.515	363	311
Sonstige	1.299	1.078	56	40
Gesamtzahl 2005*)	310.685	239.178	23.806	19.409
Anteil Medizin		77,0%		81,5%
Gesamtzahl 2004¹⁾	313.962	241.200	24.147	19.795
Anteil Medizin		76,8%		82,0%
Änderung gegenüber 2004	-1,0%	-0,8%	-1,4%	-2,0%

* Die Summen über die einzelnen Bundesländer sind größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

1) Stand Juni 2006

Tabelle 1.1.1-2 Anzahl der Personen mit Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2005
 (Number of annual personal doses above 20 mSv in the year 2005)

Bundesland	Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	4	3	1
Bayern			
Berlin	1		1
Brandenburg			
Bremen			
Hamburg			
Hessen	2	2	
Mecklenburg-Vorpommern			
Niedersachsen			
Nordrhein-Westfalen	1	1	
Rheinland-Pfalz			
Saarland			
Sachsen			
Sachsen-Anhalt			
Schleswig-Holstein			
Thüringen			
Gesamtzahl 2005	8	6	2
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2005	0,003%	0,003%	0,003%
Gesamtzahl 2004	12	8	4
Bezogen auf Überwachtetenzahl 2004	0,004%	0,003%	0,006%

Tabelle 1.1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2005
(Distribution of the annual personal doses in the year 2005)

Dosis H in mSv	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	257.435	82,86	204.817	85,63	52.976	73,63
0<H≤0,2	26.696	91,50	19.723	93,89	7.011	83,54
0,2<H≤0,4	8.366	94,19	5.704	96,27	2.679	87,27
0,4<H≤0,6	4.281	95,57	2.743	97,42	1.544	89,42
0,6<H≤0,8	2.611	96,41	1.577	98,08	1.037	90,87
0,8<H≤1,0	1.969	97,05	1.203	98,58	771	91,94
1<H≤2	4.373	98,46	2.235	99,51	2.144	94,93
2<H≤4	2.535	99,27	858	99,87	1.680	97,27
4<H≤6	970	99,59	187	99,95	784	98,36
6<H≤8	512	99,75	54	99,97	458	99,00
8<H≤10	323	99,85	29	99,99	295	99,41
10<H≤15	383	99,98	23	100,00	361	99,91
15<H≤20	66	99,95	4	100,00	62	100,00
H>20	8	100,00	6	100,00	2	100,00
Gesamt*	310.685		239.178		71.946	

* 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 doseimeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv
1995	0,28	95	0,11	27	0,69	69
1996	0,27	92	0,12	28	0,66	64
1997	0,24	83	0,10	23	0,61	59
1998	0,19	62	0,09	23	0,45	40
1999	0,17	53	0,08	19	0,45	34
2000	0,15	47	0,07	18	0,40	30
2001	0,14	44	0,07	16	0,36	27
2002	0,15	48	0,08	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	0,14	43	0,07	16	0,38	27

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1985 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 1985 - 2005. 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. Mehrfachzählungen treten jetzt nur noch bei Personen auf, die während eines Jahres in mehr als einem Bundesland tätig werden.

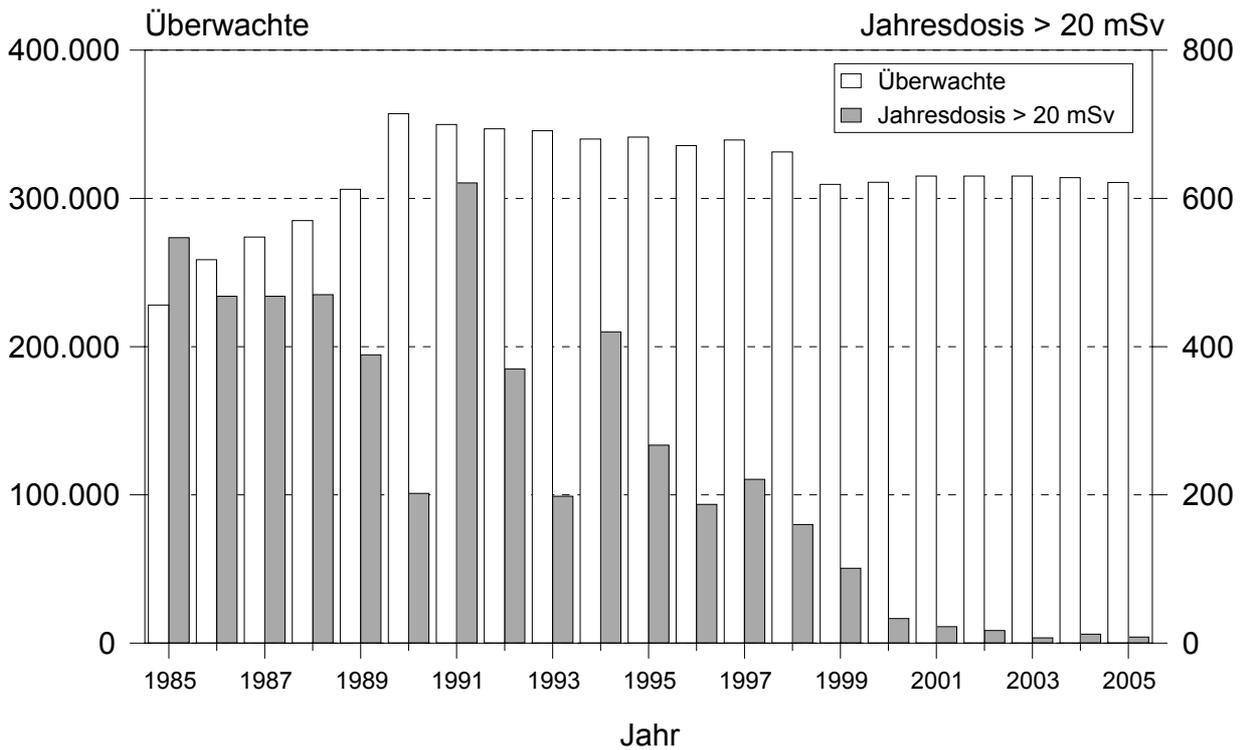


Abbildung 1.1.1-1: Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer, ab 1999 ohne Mehrfachzählungen der Messstellen – siehe Text)
(Number of monitored persons and the persons exceeding the annual dose of 20 mSv - as from 1990 including the new federal Länder)

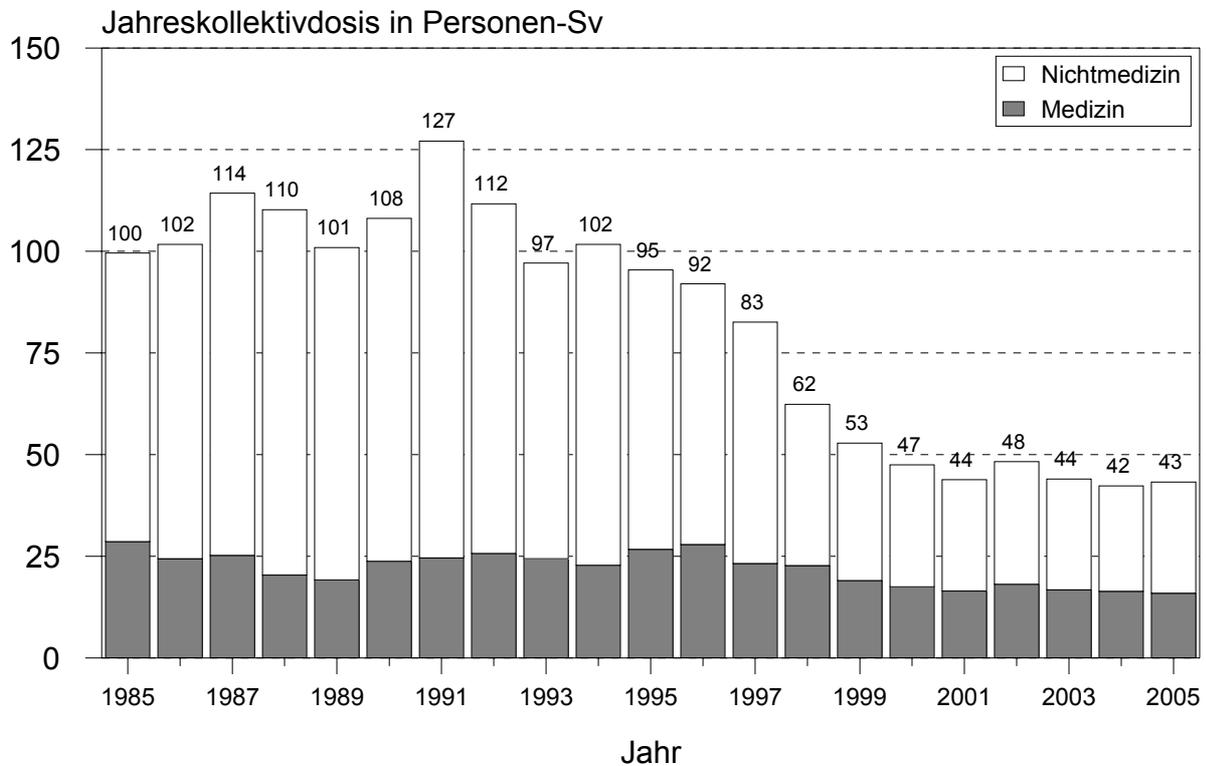


Abbildung 1.1.1-2: Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical occupational areas - as from 1990 including the new federal Länder)

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 Länderbehörden zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Forschungsreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.1.2-1 bis 1.1.2-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis.

**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
1995	20	31.525	25.489	38	32
1996	19	31.937	25.785	32	28
1997	19	29.780	23.771	29	25
1998	19	30.207	24.306	28	24
1999	19	28.790	22.066	25	21
2000	19	30.386	23.239	21	18
2001	19	28.105	21.861	20	17
2002	19	28.626	21.738	21	18
2003	19	29.115	22.362	19	17
2004	18	27.900	22.033	17	15
2005	18	27.953	22.107	15	13

**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
1995	8	2.192	1.175	0,6	0,3
1996	9	2.188	1.252	0,5	0,2
1997	10	2.247	1.284	0,7	0,4
1998	8	2.082	1.159	1,2	0,6
1999	10	2.366	1.347	1,1	0,6
2000	10	2.104	1.150	1,2	0,6
2001	10	2.234	1.270	0,9	0,5
2002	9	1.746	907	0,4	0,3
2003	10	1.986	1.043	0,3	0,3
2004	10	2.215	1.278	0,3	0,2
2005	10	2.270	1.304	0,3	0,2

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
1995	8	2.783	1.508	0,5	0,2
1996	6	1.873	853	0,4	0,1
1997	6	1.989	1.066	0,5	0,2
1998	6	1.991	1.173	0,8	0,5
1999	6	1.338	773	0,3	0,1
2000	6	2.524	1.582	1,0	0,5
2001	6	2.392	1.501	1,2	0,7
2002	7	2.968	1.932	1,2	0,8
2003	7	2.983	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

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 Uranerzfallsreihe 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 2005 wurden dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt für 404 Personen Dosiswerte auf Grund dieser Regelungen übermittelt, von denen ca. 71% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Die Kollektivdosis der 404 Beschäftigten betrug 0,7 Personen-Sv, die mittlere Jahresdosis 1,78 mSv. 37 Beschäftigte wiesen eine Jahresdosis von 0 mSv auf. Im Jahr 2005 gab es zwei Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv, jeweils in Betrieben der Wasserversorgung; die höchste effektive Jahresdosis betrug 35,5 mSv. Bei 27 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 2005 0,75 mSv, der höchste Jahreswert lag bei 4,75 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 die Dosiswerte und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. In Deutschland wurden im Jahr 2005 31.203 Personen überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis beträgt 1,96 mSv (Vorjahr 1,95 mSv). Der höchste Jahresdosiswert liegt bei 6,5 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 1.3-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2005 beträgt ca. 60 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 2005
(Distribution of the annual personal doses for air crews in the year 2005)

Dosis H in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H=0	135	0,43
0 < H ≤ 0,5	2.319	7,86
0,5 < H ≤ 1,0	3.202	18,13
1,0 < H ≤ 2,0	10.989	53,34
2,0 < H ≤ 3,0	10.008	85,42
3,0 < H ≤ 4,0	4.223	98,95
4,0 < H ≤ 5,0	265	99,80
5,0 < H ≤ 6,0	55	99,98
6,0 < H ≤ 10,0	7	100,00
H > 10,0	0	100,00
Gesamt	31.203	

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 1.586 Personen im Jahr 2005 überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,05 Personen-Sv. Im Jahr 2005 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv infolge einer Inkorporation.

Tabelle 1.4-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2005
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2005)

Dosis H durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen	Kumulativer Anteil in %
H=0	1.308	82,47
0 < H ≤ 0,2	230	96,97
0,2 < H ≤ 1,0	39	99,43
1,0 < H ≤ 6,0	8	99,94
6,0 < H ≤ 20,0	1	100,00
H > 20,0	0	100,00
Gesamt	1.586	

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

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

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Für die Auswertung wurden 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 2003 – 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 2003 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 140 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 90 Mio. Röntgenuntersuchungen). Während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2003 ist für die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland ein leicht abnehmender Trend zu verzeichnen, wobei der Wert für das Jahr 2003 bei etwa 1,7 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 50% 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).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Thorax und des Bauchraumes einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Urogenitaltrakts abgenommen.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2003 – 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 2003 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 2003 auf ca. 1,7 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 zeigt die Kurve für die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen über die Jahre 1996 bis 2003 abnehmenden Verlauf (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 2003 jedoch mehr als zwei Drittel (siehe Abbildung 1.1-3).

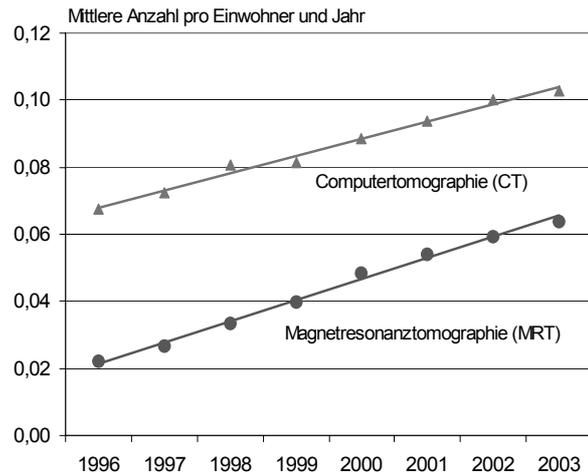
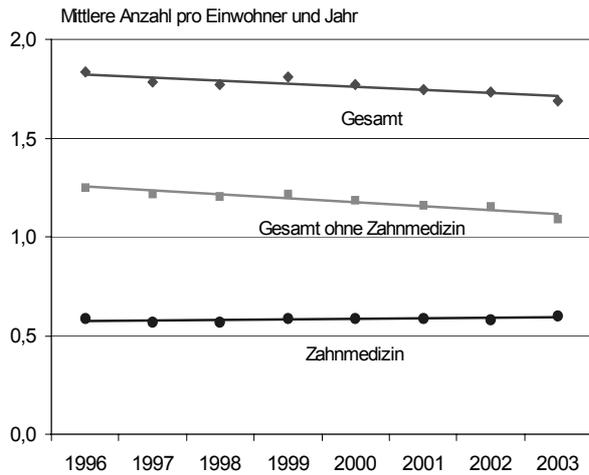


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgen- und CT- / MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray and of CT / MRT examinations in Germany)

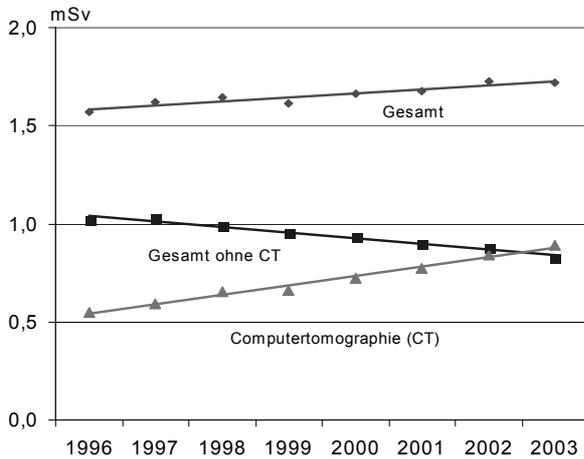


Abbildung 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose per capita (mSv) due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

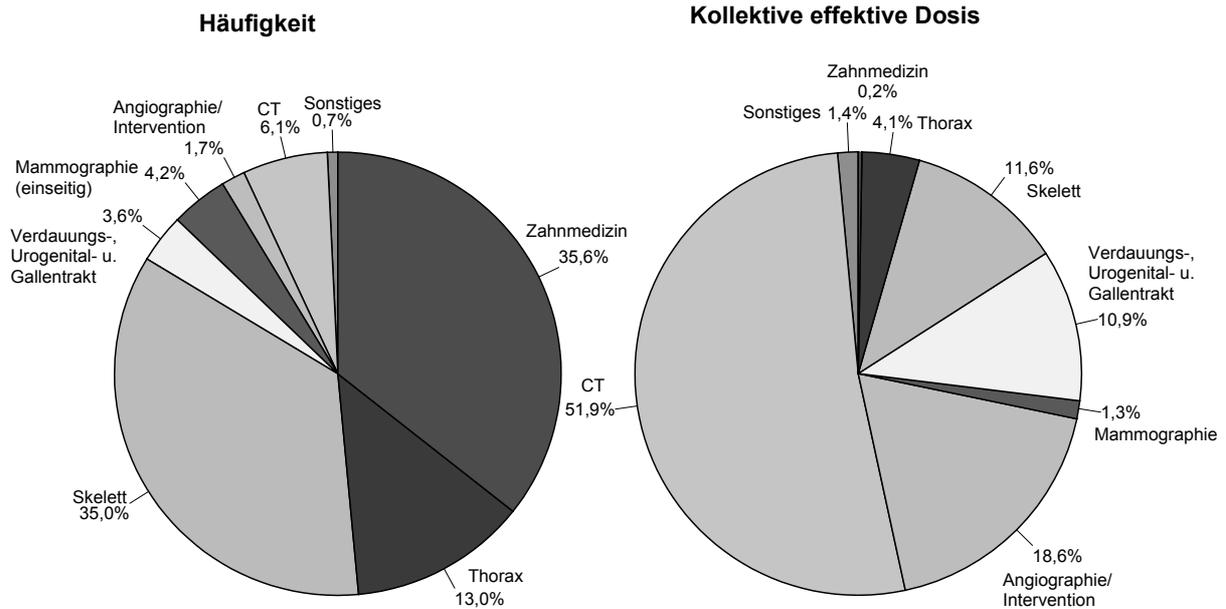


Abbildung 1.1-3 Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis für das Jahr 2003
(Contribution of various examination types to total frequency (left) and to collective effective dose (right) in 2003)

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (Nuclear medicine diagnostics)

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland ca. 3,6 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 43 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. Abbildung 1.2-1).

Es wurde eine kollektive effektive Dosis von ca. 9.700 Personen-Sv ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,12 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Myokard-, Skelett-, und Schilddrüsenzintigraphie (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 Tumorsintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenzintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,7 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,5 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,7 mSv pro Einwohner im Jahr 2003) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen Diagnostik 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 Myokardsintigraphie.

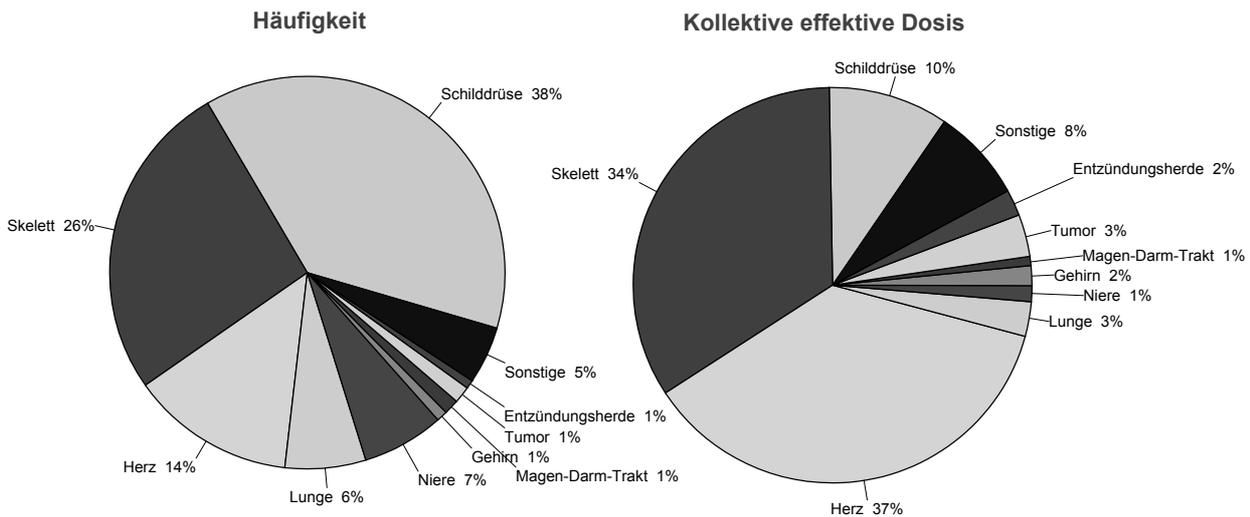


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 2003
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 2003)

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 Jahre 2003 etwa 1,8 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen, insbesondere röntgendiagnostischen Maßnahmen.

Im Strahlenschutz ist es allgemein üblich, bei Strahlenrisikoschätzungen davon auszugehen, dass auch kleine Strahlendosen mit einer geringen Erhöhung des Krebsrisikos verbunden sein können. Somit birgt jede strahlenmedizinische Untersuchung ein gewisses zusätzliches Risiko einer strahlenbedingten Krebserkrankung. 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 soll nun auch für 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 Jahre oder älter sind. Lediglich 5% der Röntgenuntersuchungen betreffen Kinder und Jugendliche unter 20 Jahren. Wird die Verteilung der kollektiven effektiven Dosis betrachtet, so wird deutlich, dass dosisintensivere Untersuchungsverfahren, wie die Computertomographie oder Untersuchungen des Herzens oder der Blutgefäße, vor allem im höheren Alter durchgeführt werden. In jungen Jahren überwiegen Röntgenuntersuchungen des Skelettsystems.

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 Länder 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.

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.

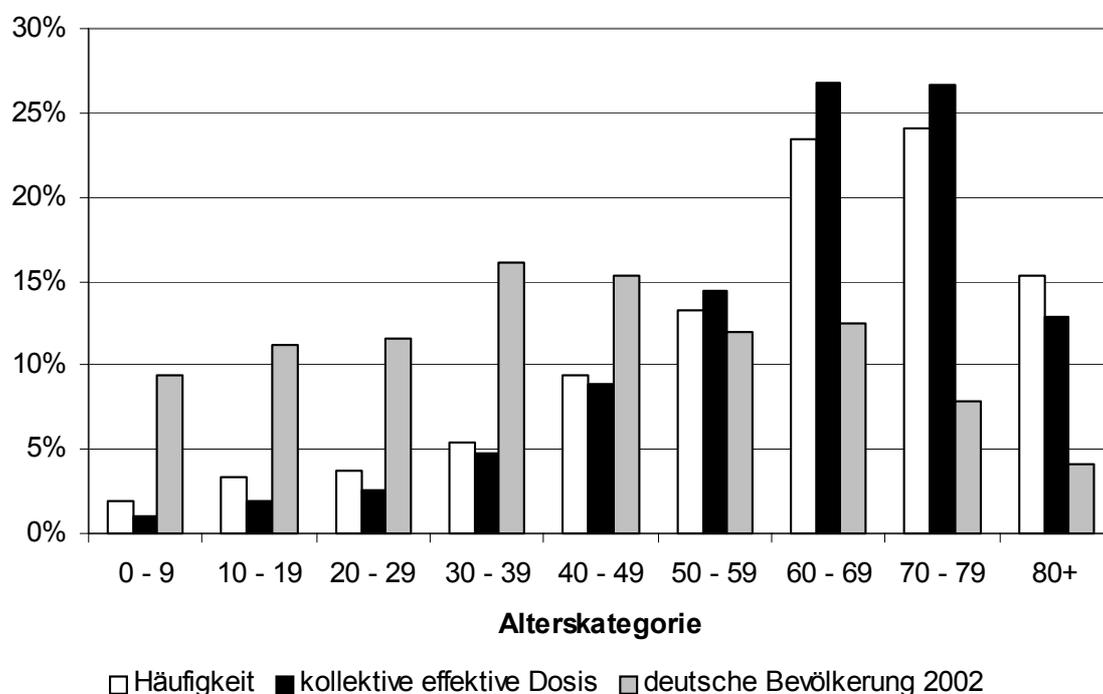


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit (weiße Balken) und kollektiver effektiver Dosis (schwarze Balken) von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002 (graue Balken).

(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])

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 2003 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 190% während des betrachteten Zeitraumes (CT: Zunahme um 52%).

Demgegenüber ist die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen moderat (etwa 21% 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 2003 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.

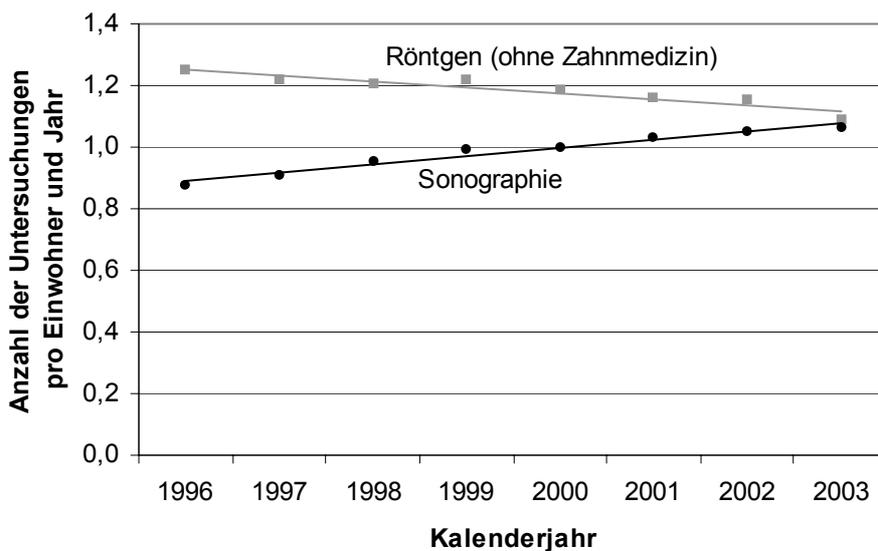


Abbildung 1.4-1 Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)
 (Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of x-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

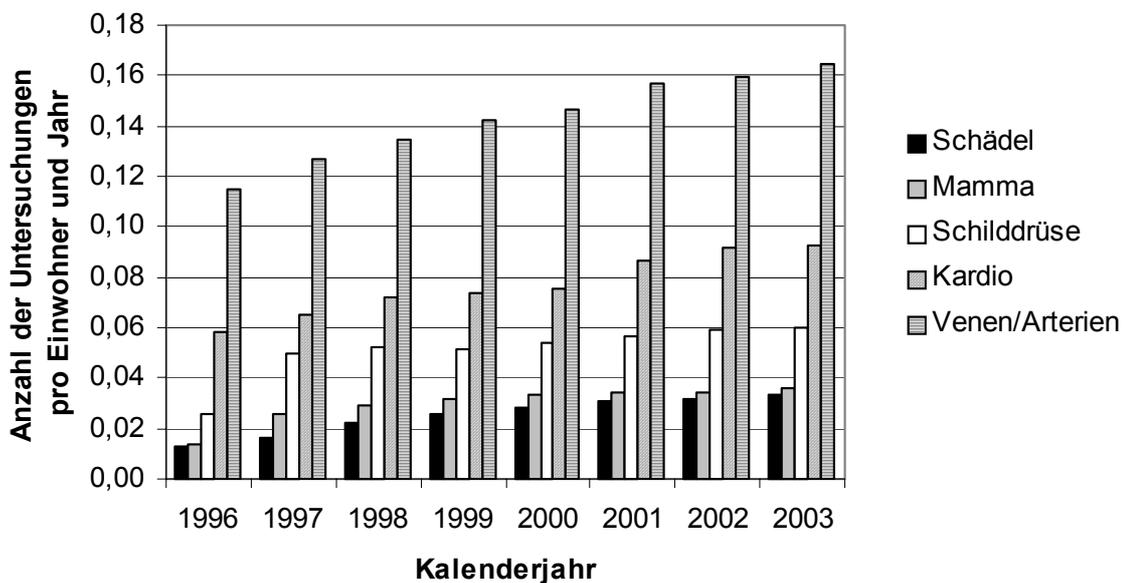


Abbildung 1.4-2 Häufigkeit verschiedener Sonographie-Untersuchungen
 (Frequencies of various ultrasound examinations)

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

Im Jahr 2005 wurden keine Erhebungen abgeschlossen.

3. Herzschrittmacher (*Pacemakers*)

Im Jahr 2005 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 Plutonium-238. Alle Herzschrittmacher mit Promethium-147 sind bereits explantiert. Die bisher bekannten übrigen Daten (Altersgruppe, Tragedauer und Explantationsursache) sind im Jahresbericht 1989 aufgeführt.

Tabelle 3-1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen, (Stand: 31.12.2005)
(*Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources at 31.Dec. 2005*)

Jahr	Pu-238		Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation		Implantation	Explantation
1971	3	0	1989	0	9
1972	72	2	1990	0	8
1973	122	7	1991	0	3
1974	47	11	1992	0	5
1975	31	22	1993	0	1
1976	9	12 a)	1994	0	3
1977	0	22	1995	0	1
1978	0	15	1996	0	3
1979	0	17	1997	0	1
1980	0	17	1998	0	3
1981	0	15	1999	0	0
1982	0	13	2000	0	2
1983	0	11	2001	0	2
1984	0	15	2002	0	0
1985	0	18	2003	0	4
1986	0	8	2004	0	1
1987	0	10	2005	0	0
1988	0	4	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 "Voranfrageverfahren" zur Genehmigungsbedürftigkeit nach StrlSchV bzw. RöV geplanter Forschungsvorhaben etabliert, das auf breite Resonanz gestoßen ist.

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen und über die bearbeiteten Voranfragen im Jahre 2005.

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 2005
(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 2005)

	Anzahl der erteilten Genehmigungen	Anzahl der bearbeiteten Voranfragen
RöV	117	22
StrlSchV	112	21
Gesamt	229	43

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter und vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Eschborn

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 wieder leicht zugenommen (Tabelle 1.1-1). Die hier angegebene Zahl enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (171 GBq).

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen ist wieder eine Zunahme auf beinahe das Niveau von 2003 zu verzeichnen. An bestrahltem Material sind 2005 nur 24,3 kg eingeführt worden.

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2005 nicht eingeführt.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq nahm im Jahr 2005 weiter um ein Drittel ab (Tabelle 1.1-2). Auf Grund der eingangs erläuterten Umstände sind diese Zahlen aber nur bedingt mit jenen für 2004 vergleichbar; etwa ein Drittel des bei den Radionukliden bis 1.850 GBq (Tabelle 1.3-1) festzustellenden Rückganges ist auf den endgültigen Wegfall der 10 neuen EU-Mitgliedstaaten zurückzuführen. Auch hier enthält diese Summe die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (508 GBq).

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2005 nicht ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt) und Ausgangsstoffen ist ein weiterer Rückgang um etwa ein Drittel festzustellen. Bestrahltes Material ist zwar auch in relevanten Mengen ausgeführt worden, jedoch bei einem Rückgang um fast 84%.

Ein direkter Vergleich der vorliegenden Statistik mit jener für 2004 ist bezüglich der sonstigen radioaktiven Stoffe nach §2 AtG nur bedingt sinnvoll; die insgesamt festzustellende Abnahme ist jedoch nur bei der Ausfuhr zum Teil auf den jetzt vollständigen Wegfall der 10 neuen EU-Mitgliedstaaten in der Ausfuhrstatistik zurückzuführen (Tabelle 1.3-1).

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)
1986	6.898.702	482.006	75.665.995	83.046.703	2.550.506
1987	2.819.826	9.415	22.601.222	25.430.463	3.164.497
1988	3.847.911	65.858	60.575.600	64.489.369	2.139.796
1989	2.399.272	103.372	90.816.100	93.318.744	1.508.501
1990	2.682.529	319.142	61.850.900	64.852.571	2.206.300
1991	3.040.547	72.469	102.929.300	106.042.316	1.461.661
1992	4.470.768	1.470.922	31.326.500	37.268.190	1.742.521
1993	3.227.143	2.546.470	23.330.800	29.104.413	2.306.737
1994	1.911.797	1.072.513	71.315.900	74.300.210	1.999.972
1995	4.686.926	73.629	38.600.400	43.360.955	2.049.273
1996	10.447.635	511.014	59.959.336	70.917.985	2.226.240
1997	1.541.873	51.048	79.215.145	80.808.066	2.490.191
1998	3.254.186	26.300	63.455.965	66.736.451	2.685.212
1999	2.149.973	237	49.894.030	52.044.519	2.540.221
2000	2.070.200	299.203	59.094.344	61.465.318	2.446.259
2001	1.621.780	39.392	25.840.589	27.547.253	3.211.796
2002	2.154.465	34	25.656.390	27.814.225	3.070.944
2003	9.871.929	1	45.034.300	54.906.251	4.565.497
2004	634.604	1.220	25.150.300	25.786.133	2.558.317
2005	488.683	0	27.969.374	28.458.227	4.219.415

1) seit 1998 inklusive radioaktive Gemische: z. B. kontaminierte Werkzeuge

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)
1986	2.889.014	0	4.405.200	7.294.214	5.665.746
1987	1.536.731	228.910	3.692.900	5.458.541	2.090.991
1988	3.001.859	11	3.372.000	6.373.870	2.457.445
1989	765.723	97	2.548.600	3.314.420	5.024.837
1990	1.511.312	17.808	2.499.700	4.028.820	2.800.495
1991	651.462	244	12.399.100	13.050.806	8.164.086
1992	2.015.066	27	5.994.200	8.009.293	2.990.557
1993	2.365.740	0	3.063.200	5.428.940	2.983.893
1994	1.447.018	98	2.137.812	3.584.928	2.078.477
1995	1.088.060	22.201	5.702.702	6.812.963	1.657.725
1996	960.351	1.335	3.009.100	3.970.786	2.146.830
1997	392.404	22	2.146.212	2.538.638	3.550.137
1998	550.637	25.044	2.333.673	2.909.354	3.133.196
1999	711.403	81	1.705.422	2.424.966	3.257.216
2000	828.677	94	3.001.795	3.838.040	2.719.502
2001	548.627	23	1.122.457	1.671.185	3.228.135
2002	484.827	0	2.057.005	2.541.842	3.387.520
2003	603.203	14	4.223.996	4.833.831	3.691.535
2004	553.012	7	1.323.180	1.876.208	1.971.109
2005	293.648	0	919.800	1.213.957	1.244.377

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 ist augenscheinlich, dass der Gesamtrückgang um 23% hier nicht durch den Wegfall der 10 neuen EU-Mitgliedstaaten verursacht wurde. Vielmehr verteilt sich die Abnahme über mehr als die Hälfte der Nuklide und mehrere Länder, wobei der bestimmende Posten die Einfuhr von Co-60 aus Kanada darstellt. Dies wird durch deutliche Anstiege z. B. bei Tritium (H-3), Selen-75 (Se-75), Jod-131 (I-131) (fehlte 2004) und Promethium-147 (PM-147) jedoch nicht kompensiert.

Tabelle 1.2-1 Aktivität der 2005 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2005 - without sources at levels of above 1850 GBq)

Versenderl.	H-3	C-14	Fe-55	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Gd-153	W-188	Ir-192	Am-241	Sonst.	Summe
Norwegen	2.538	0	0	0	1	0	26	0	0	0	0	0	0	8	16	10	2.599
Schweiz	70.269	1	7	4	14	1.500	4	6	0	463	23.000	9	0	564	4	132	95.977
USA	2.654	72	519	21	281	740	3.077	747	0	5.678	5	269	512	12.826	123	895	28.419
Kanada	0	0	0	208.047	24	0	6	4.331	0	0	0	0	0	0	0	41	212.449
Australien	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	479	481
Japan	0	0	0	0	2	0	10	0	0	2	0	4	0	5.403	0	2	5.423
Türkei	0	0	0	22	2	0	0	0	0	43	0	0	0	414	0	2	483
Russland	9	2.769	0	3.006	15	28.262	24.022	8.510	0	528	0	0	326	0	8.990	555	76.992
Belarus	0	0	0	0	2.775	0	0	0	0	0	0	444	0	0	0	8	3.227
Südafrika	0	0	0	0	0	0	0	0	36.472	0	0	0	0	0	6	172	36.650
Ägypten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.853	0	0	3.853
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.283	0	0	1.283
Taiwan	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	0	276
Malaysia	0	0	0	0	3	0	0	0	0	7	0	0	0	469	5	0	484
Israel	19.574	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.574
Sonstige	0	0	0	25	100	0	31	0	0	20	50	0	0	48	10	229	513
Summe	95.044	2.842	526	211.126	3.224	30.502	27.176	13.594	36.472	6.741	23.055	726	838	25.138	9.154	2.525	488.683

Einfuhr umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.2-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75 (fehlte 2004), Cäsium-137 (Cs-137) und Iridium-192 (Ir-192).

Die Einfuhr ist 2005 im Vergleich zum Vorjahr wieder um gut 11% angestiegen und zwar im Wesentlichen bei Co-60. Hier findet sich wie immer der größte Posten in dieser Rubrik mit 96,6% der Gesamtaktivität.

Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2005 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2005 with levels of above 1850 GBq)

Versenderland	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
	Aktivität in GBq				
USA	1.880	0	0	50.694	52.574
Kanada	23.622.900	0	128.000	0	23.750.900
Russland	1.588.900	29.760	723.240	0	2.341.900
Belarus	1.661.600	0	0	0	1.661.600
Schweiz	100.000	0	0	0	100.000
Brasilien	62.400	0	0	0	62.400
Summe GBq	27.037.680	29.760	851.240	50.694	27.969.374
Stückzahl	69	12	29	13	123

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2005 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein deutlicher Anstieg festzustellen, der sich weitgehend in Mehrmengen bei Natururan findet. Die Schwerpunkte liegen wie üblich bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235. Das aufgeführte Plutonium ist wieder in MOX-Brennelementen aus Belgien enthalten.

Tabelle 1.2-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2005
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2005)

Versenderland	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10% U-235	>20 - <85% U-235	Plutonium	Summe
	in kg						
Frankreich	0	151.629	0	163.055	0	0	314.684
Belgien	47.565	0	1.922	9.047	0	3.532	62.066
Niederlande	0	0	6.044	77.112	0	0	83.156
Großbritannien	0	594.025	0	49.116	7	0	643.148
Schweden	0	1.003	0	46.668	0	0	47.671
Spanien	0	692	0	17.733	0	0	18.425
USA	662	1.035.211	3.059	3.686	0	0	1.042.618
Kanada	0	1.576.483	0	0	0	0	1.576.483
Russland	1.320	276.737	0	149.733	0	0	427.790
China	1.098	0	0	0	0	0	1.098
Südafrika	1.804	0	0	0	0	0	1.804
Sonstige	448	0	0	0	0	0	448
Summe	52.897	3.635.780	11.025	516.150	7	3.532	4.219.391

An bestrahlten Kernbrennstoffen wurden nur 24,3 kg eingeführt.

1.3 Ausfuhrstatistik (Export statistics)

Offene und umschlossene Radionuklide bis 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr laut Tabelle 1.3-1 nahm von 553.012 GBq (2004) weiter ab auf 293.648 GBq (2005). Ein Drittel dieses Rückganges ist auf den endgültigen Wegfall der 10 neuen EU-Mitgliedstaaten zurückzuführen. Der mächtigste Einzelposten ist wieder Co-60 mit einem guten Drittel der Gesamtaktivität, während hier gleichzeitig der deutlichste Rückgang zu verzeichnen ist. Die Spalte für Molybdän-99 (Mo-99) ist weggefallen, was mit der bereits erwähnten Vergrößerung der EU zusammenhängt.

Tabelle 1.3-1 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1850 GBq im Jahr 2005
(Export of sealed and unsealed radionuclides up to 1850 GBq in the year 2005)

Verbraucherland	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
Schweiz	3.986	47	10.706	52	18	1.600	732	11	0	143	55	435	8	681	3	34	18.511
Norwegen	80	0	0	34	3	0	26	5	0	22	0	72	37	0	10	23	312
USA	26.575	2.591	0	146	1.497	30.060	3.136	510	31	108	0	631	4.744	4.273	4.901	716	79.919
Kanada	556	0	0	101.084	19	0	0	1	0	395	0	1	37	8	7	3	102.111
Australien	324	0	0	0	4	0	15	0	3.997	51	0	188	0	0	3	14	4.596
Japan	150	1	0	196	5	0	1.097	9	6	1	0	12	597	14.790	1.013	18	17.895
Südkorea	0	0	0	943	43	0	72	2	0	2	11.840	172	0	740	289	26	14.129
Türkei	0	0	0	75	13	0	74	1	0	70	0	119	69	32	2	23	478
Kroatien	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	695	0	0	0	2	15	716
Rumänien	2	0	0	3	3	0	0	0	0	0	613	63	0	0	26	0	710
Russland	0	0	0	206	4	0	0	0	0	101	0	1	55	0	111	1	479
Ukraine	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	115	0	0	111	0	228
Chile	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	241	18	0	0	0	261
Brasilien	0	0	0	10	1	0	11	3	0	1	0	169	0	0	41	1	237
Südafrika	4	0	0	4	6	0	22	4	0	15	1.500	155	0	0	28	11	1.749
Kuwait	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18.150	0	0	18.151
Saudi-Arabien	0	0	0	6	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	185	0	200
Marokko	0	0	0	21	2	0	0	0	0	0	0	12	4	149	0	1	189
Tunesien	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	41	0	384	0	2	429
Ägypten	0	0	0	3	6	0	23	0	0	0	0	2	25	0	222	0	281
Singapur	147	0	0	82	3	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	32	305
Thailand	1	0	0	21	2	0	1.128	0	0	0	0	540	0	0	12	0	1.704
China	0	0	0	80	50	0	167	5	0	0	0	846	66	0	23.318	6	24.538
Taiwan	0	0	0	7	1	0	25	3	0	0	0	14	17	0	44	0	111
Indonesien	0	0	0	69	0	0	33	0	0	0	0	11	0	0	11	0	124
Indien	0	0	0	50	13	0	105	5	0	0	0	267	29	0	2.458	3	2.930
Bangladesch	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	444	0	459
Iran	0	0	0	41	0	0	20	0	0	0	0	309	37	0	2	4	413
Israel	0	0	0	0	2	0	3	1	0	172	0	12	0	0	8	2	200
Sonstige	81	0	0	64	40	0	77	11	0	0	90	403	112	50	276	79	1.283
Summe	31.906	2.639	10.706	103.198	1.750	31.660	6.784	571	4.034	1.082	14.793	4.872	5.855	39.257	33.527	1.014	293.648

Umschlossene 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 Rückgangs bei Co-60 auf knapp 70% des Vorjahres reduziert; gleichzeitig kam Se-75 wieder hinzu.

Der Rückgang bei Co-60 liegt in der Tatsache begründet, dass 2005 keine in diese Rubrik fallenden Co-60-Quellen an den Hersteller nach Kanada zurückgeliefert wurden.

Tabelle 1.3-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2005
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2005)

Verbraucherland	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
	Aktivität in GBq				
Australien	0	0	81.400	0	81.400
USA	0	31.080	1.850	0	32.930
Kanada	0	0	90.000	0	90.000
Südkorea	0	0	1.850	0	1.850
Russland	0	0	81.400	0	81.400
Ägypten	0	0	1.850	21.025	22.875
V.Arab.Emirate	0	0	0	2.035	2.035
Kuwait	0	0	0	1.850	1.850
China	0	0	320.790	0	320.790
Indien	0	0	81.400	0	81.400
Bangladesch	0	0	0	3.700	3.700
Malaysia	0	0	0	17.020	17.020
Brasilien	177.000	0	5.550	0	182.550
Summe GBq	177.000	31.080	666.090	45.630	919.800
Stückzahl	1	12	21	17	51

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Ausfuhrmenge ist mit 1.226.615 kg (2005) gegenüber 1.861.112 kg (2004) hauptsächlich wegen der Abnahme bei abgereichertem Uran weiter zurückgegangen.

So liegt hier nur noch knapp der mengenmäßig größte Anteil, direkt gefolgt von angereichertem Uran mit 3-10%igem Anteil an U-235.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden sowie Thorium ist im Berichtszeitraum überhaupt nicht ausgeführt worden.

Plutonium ist auch 2005 nicht in abgetrennter Form, sondern ausschließlich im Rahmen der Restabwicklung des SNR-300-Projektes nach Frankreich verbracht worden und zwar enthalten in den unbestrahlten Brennelementen, die seinerzeit für den Erstkern dieser Anlage vorgesehen waren. Durch diese Maßnahme kann das Material doch noch einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden.

Tabelle 1.3-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2005
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2005)

Verbraucherland	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10% U-235	Plutonium	Summe
	in kg					
Frankreich	5.938	1.437	1.418	111.414	1.471	121.678
Belgien	0	0	302	76.912	0	77.214
Niederlande	0	0	0	9.032	0	9.032
Großbritannien	8	131	0	48.978	0	49.117
Spanien	0	0	0	45.668	0	45.668
Schweden	0	0	0	127.741	0	127.741
Schweiz	0	0	0	731	0	731
USA	214	58	0	126.688	0	126.960
Kanada	0	194	0	0	0	194
Russland	651.639	0	0	677	0	652.316
Brasilien	0	0	925	12.098	0	13.023
Sonstige	2.940	0	0	1	0	2.941
Summe	660.739	1.820	2.645	559.940	1.471	1.226.615

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.3-4 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt. Die insgesamt ausgeführte Menge von nur noch 17.762 kg stellt fast ausschließlich den Inhalt bestrahlter Brennelemente aus zivilen Leistungsreaktoren dar und ist gegenüber dem Jahr 2004 auf 16% gefallen. Es handelte sich um die üblichen Lieferungen zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich (Großbritannien ist im Berichtszeitraum nicht mehr beliefert worden). Diese Verbringungen dürfen gemäß § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG seit dem 01. Juli 2005 nicht mehr erfolgen, so dass ein Rezyklieren des Materials und damit die Rückgewinnung der darin enthaltenen Wertstoffe Uran und Plutonium zurzeit nicht möglich ist.

Das hochangereicherte Uran (>85 - <100%) war zum Zwecke der Produktion von Tc-99m-Generatoren nach Belgien verbracht worden.

Tabelle 1.3-4 **Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2005**
(*Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2005*)

Empfängerland	abger. Uran	bis 3% U-235	>85-<100% U-235	Plutonium	Summe
	in kg				
Frankreich	0	17.575	0	174	17.749
Belgien	0	0	1	0	1
Schweiz	8	4	0	0	12
Summe	8	17.579	1	174	17.762

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (Licenses and reports)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2005. Neu in dieser Tabelle ist seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte "Genehmigungen nach § 108 StrlSchV". 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 inzwischen auch nicht mehr aufgeführt. Dadurch ergibt sich zumindest bei der in Tabelle 1.3-1 dargestellten Ausfuhr ein signifikanter weiterer Rückgang gegenüber dem Jahr 2004.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 37 Einfuhr- und 88 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 52 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Einfuhrgenehmigungen nach § 19 Abs. 1 StrlSchV auf Grund des „Gesetzes zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen“ vom 12. August 2005 (HRQ-Gesetz) wurden im Berichtszeitraum noch nicht beantragt.

Die vorliegende Statistik enthält auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle; diese sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2005 gingen 3.174 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 5.837 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 u. a. aus den o. g. Gründen weiter zurückgegangen.

Tabelle 1.4-1 **Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2005**
(*Overview of the number of licenses and reports in the year 2005*)

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)
Einfuhr § 3 AtG	37	31	3.174	5.837	7*	7*
Ausfuhr § 3AtG	88	63				
Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)	52	48				

*) In 2005 erteilte Genehmigungen nach § 108 StrlSchV; die Laufzeiten betragen zwei Jahre

2. Beförderung radioaktiver Stoffe (*Transportation 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 ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Ein Schwerpunkt im Jahr 2005 war die Beendigung der Transporte von bestrahlten Brennelementen aus Leistungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich bzw. Großbritannien. Gemäß "Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Energie", das am 27.4.2002 in Kraft trat, waren seit dem 1. Juli 2005 diese Transporte zur Entsorgung der deutschen Atomkraftwerke nicht mehr zulässig.

Im ersten Halbjahr 2005 wurden die letzten zwei Transporte mit insgesamt acht Behältern für 52 bestrahlte Brennelemente vom KKS Stade nach La Hague / Frankreich zur Wiederaufarbeitung durchgeführt. Die in den diesbezüglichen BfS-Beförderungsgenehmigungen festgelegten Maßnahmen zur Kontaminationsvermeidung und -kontrolle sowie die Festlegungen zu Meldepflichten und zur Transportdokumentation haben sich bewährt. Bei allen Transporten wurden die Grenzwerte für die nichtfesthaftende Oberflächenkontamination am Transportbehälter und am Transportmittel eingehalten.

Im öffentlichen Interesse standen im Jahre 2005 sowohl der im November durchgeführte Rücktransport von 12 Behältern mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung La Hague / Frankreich in das Zwischenlager Gorleben, als auch die im Mai und Juni 2005 mit jeweils sechs Transportbehältern der Bauart CASTOR MTR 2 realisierten Straßentransporte mit bestrahlten Brennelementen vom VKTA Rossendorf, bei Dresden, in das Brennelement-Zwischenlager nach Ahaus. Der Abtransport der bestrahlten Brennelemente des Rossendorfer Forschungsreaktors war erforderlich, weil das VKTA Rossendorf über keine Genehmigung zur Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen nach § 6 Atomgesetz verfügt.

Aus der staatlichen Verwahrung in Hanau wurde das gesamte SNR-Material verpackt in 228 Einzel-SNR-BE-Behältern (ESBB), zur Cogema nach La Hague/ Frankreich transportiert. Nach dem ersten Transport am 24. November 2004 wurden bis zum 9. Mai 2005 weitere acht Transporte durch die Firma NCS realisiert.

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 für Kernbrennstoffe (§ 4 AtG) und für Großquellen (§ 16 StrlSchV). Im Jahr 2005 wurden insgesamt 119 Beförderungsgenehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt. Auf der Grundlage dieser Genehmigungen erfolgten 2005 insgesamt 375 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 6 Transporte mit Großquellen.

Das BfS ist darüber hinaus im Rahmen des Gefahrgutrechts zuständig für die Zulassung/Anerkennung von Transportbehältern und Erteilung von Beförderungsgenehmigungen. Gemäß dieser gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2005 vom BfS insgesamt 28 Zulassungen für Transportbehälter und 14 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie 6 Beförderungsgenehmigungen erteilt.

Tabelle 2.1-1 **Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2005 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)**
(*Overview of the number of shipments of nuclear fuels reported in the year 2005 – 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	70
Straße / bestrahltes Material	5
Straße / Reststoffe und Abfall	0
Insgesamt	75
Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte	
Luft / unbestrahltes Material	1
Luft / bestrahltes Material	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0
See / unbestrahltes Material	80
See / bestrahltes Material	0

Anzahl der Inlandtransporte	
See / Reststoffe und Abfall	4
Schiene / unbestrahltes Material	0
Schiene / bestrahltes Material	2
Schiene / Reststoffe und Abfall	1
Straße / unbestrahltes Material	184
Straße / bestrahltes Material	28
Straße / Reststoffe und Abfall	0
Insgesamt	300

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, Bonn

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

Die folgenden Angaben für das Jahr 2005 wurden vom EBA für den Jahresbericht 2005 erstellt.

Tabelle 2.2-1 spiegelt die gesamte Anzahl der im Jahr 2005 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren wider.

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

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 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2005, spezifiziert nach der Art der radioaktiven Stoffe, T im Vergleich zum Vorjahr auf. Die Zunahme der Anzahl der Wagenladungen ist trotz abnehmender Beförderungen von bestrahlten Brennelementen von deutschen KTA in die Wiederaufarbeitungsanlagen, verbunden mit der damit verringerten Anzahl an Beförderungen von entleerten Transportbehältern, auf eine erhöhte Anzahl der Beförderungen von sonstigen radioaktiven Stoffen zurückzuführen.

Tabelle 2.2-2 Wagenladungssendungen 2005
(*Truck-loads in 2005*)

Art der beförderten Stoffe	Anzahl der Wagen	
	2004	2005
Kernbrennstoffe		
Bestrahlte Brennelemente	30	8
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	12	12
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)	112	149
Uranerze, Uranerzkonzentrate	153	299
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l - Metallfässern	172	117
Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken		12
Leere Verpackungen, innen kontaminiert		3
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	30	10
Summe	509	610

Tabelle 2.2-3 zeigt die Gesamtgammaaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2005. Die Gesamtgammaaktivität im Wagenladungsverkehr ist durch die wiederum verringerten aktivitätsintensiven Beförderungen von bestrahlten Brennelementen wesentlich niedriger als im Jahr zuvor.

Tabelle 2.2-3 Beförderte Gesamtaktivität 2005
(*Total activity transported 2005*)

Art der beförderten Stoffe	Beförderte Gesamtaktivität
	(Werte zum Teil geschätzt) PBq
Kernbrennstoffe	
Bestrahlte Brennelemente	1.442,020
Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW)	4.054,708
Sonstige radioaktive Stoffe	
Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	0,108
Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels)	
Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆)	
Uranerze, Uranerzkonzentrate	0,181
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l-Metallfässern	0,505
Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken	0,742
Leere Verpackungen, innen kontaminiert	< 0,001
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	0,060
Summe	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*)

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

In Tabelle 3.1-1 ist die Zahl der in 2005 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 2005 im Wesentlichen zu 78,6% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 3,2% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, zu 2% auf Beförderung und zu 16,8% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen. Nur ca. 0,2% der Genehmigungen betrafen § 9 AtG und 0,06% den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern.

Gemäß § 7 „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen“ waren im Jahr 2005 16147 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen ist in Tabelle 3.1-2 aufgelistet und betrug insgesamt 10.604, davon waren

- 25% im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 12% im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 56% 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 Anwender ausschließlich umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2005 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Anwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie / gewerbliche Wirtschaft auch 2005 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 2005 gibt Tabelle 3.1-4.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2005 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 13808 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 25 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. 3 Americium-241-Quellen, 5 Strontium-90-Quellen, 2 Cäsium-137-Quellen, 3 Barium-133-Quellen, 3 Wismut-207-Quellen, 4 Eisen-55-Quellen, 1 Radium-226-Quelle und 3 Nickel-63-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

In den Tabellen 3.1-6 und 3.1-7 ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RöV im Jahr 2005 unterteilt auf die Bereiche "Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin" sowie "Technik / Nichtmedizin" für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1.240 und ist in Tabelle 3.1-7 gesondert aufgeführt. 40% der nach § 3 Abs.1 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2005 wurden im technischen Bereich 7.668 Röntgeneinrichtungen gemäß §4 Abs.1 angezeigt.

**Tabelle 3.1-1 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)**

Land	Am 31.12.2005 gültige Genehmigungen nach: ^{a)}					
	§ 7 StrlSchV (Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen)	§ 11 StrlSchV (Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Strahlen) ^{b)}	§ 15 StrlSchV (Beschäftigung in fremden Anlagen und Einrichtungen)	§ 16 StrlSchV (Beförderung sonstiger radioaktiver Stoffe)	§ 106 StrlSchV (Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern)	§ 9 AtG (Umgang mit Kernbrennstoffen)
Baden-Württemberg	3.288	Abs. 1: 37 Abs. 2: 87	1.120	145	2	14
Bayern	1.567	Abs. 2: 65	346	11	6	11
Berlin	1.013	Abs. 1: 49	243	21	2	2
Brandenburg	276	Abs. 2: 9	62	8	0	0
Bremen	Angaben fehlen					
Hamburg	299	Abs. 2: 40	79	3	1	0
Hessen	962	Abs. 2: 47	203	7	0	5
Mecklenburg-Vorpommern	216	Abs. 1: 2 Abs. 2: 6	86	1	0	0
Niedersachsen	2.295	Abs. 2: 54	319	114	0	3
Nordrhein-Westfalen	3.557	Abs. 1: 5 Abs. 2: 147	487	50	0	0
Rheinland-Pfalz	500	Abs. 2: 19	148	30	0	2
Saarland	147	Abs. 2: 8	19	5	0	0
Sachsen	576	Abs. 2: 28	177	13	1	7
Sachsen-Anhalt	445	Abs. 1: 0 Abs. 2: 17	64	15	0	0
Schleswig-Holstein	561	Abs. 2: 33	114	8	1	0
Thüringen	445	Abs. 2: 16	25	2	0	0
Summe:	16.147	Abs. 1: 93 Abs. 2: 576	3.492	433	13	44

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: 31.12.2005)
(Survey on the number of licensees according to § 7 StrlSchV)**

Land	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	416	189	1054	76
Bayern	256	31	746	137
Berlin	457	352	196	8
Brandenburg	28	22	204	13
Bremen	Angaben fehlen			
Hamburg	49	56	143	12
Hessen	207	94	393	39
Mecklenburg-Vorpommern	43	30	117	19
Niedersachsen	193	91	891	31
Nordrhein-Westfalen	495	116	1088	41
Rheinland-Pfalz	104	67	262	47
Saarland	28	2	48	4
Sachsen	95	158	265	41
Sachsen-Anhalt	52	46	284	30
Schleswig-Holstein	94	15	213	21
Thüringen	31	12	195	157
Summe:	2 548	1 281	6 099	676

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: 31.12.2005)
(Survey on the number of licensees according to § 7 StrlSchV - sealed radioactive sources only)

Land	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	113	63	644	55	42
Bayern	42	19	718	14	130
Berlin	124	19	123	11	1
Brandenburg	21	12	181	10	7
Bremen	Angaben fehlen				
Hamburg	1	18	116	3	9
Hessen	35	9	263	3	19
Mecklenburg-Vorp.	12	8	93	1	14
Niedersachsen	55	19	505	24	18
Nordrhein-Westf.	39	110	982	55	27
Rheinland-Pfalz	75	38	189	12	32
Saarland	3	1	35	5	3
Sachsen	32	60	274	14	15
Sachsen-Anhalt	12	10	236	21	21
Schleswig-Holstein	20	5	139	2	13
Thüringen	7	6	161	15	145
Summe:	591	397	4.659	245	496

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: 31.12.2005)
(Survey on the number of licensees according to § 11 StrlSchV)

Land	Medizin einschl. med. Forschung und Lehre	Forschung und Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbliche Wirtschaft	Sonstige (z. B. Behörden)
Baden-Württemberg	38	15	8	0
Bayern	40	5	10	0
Berlin	28	16	0	0
Brandenburg	6	1	0	0
Bremen	Angaben fehlen			
Hamburg	4	1	2	1
Hessen	19	4	2	0
Mecklenburg-Vorpommern	7	1	0	0
Niedersachsen	22	5	6	0
Nordrhein-Westfalen	80	9	3	0
Rheinland-Pfalz	14	2	0	0
Saarland	5	0	0	0
Sachsen	20	8	2	0
Sachsen-Anhalt	6	0	4	0
Schleswig-Holstein	33	0	0	0
Thüringen	6	1	1	0
Summe:	328	68	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 2005
(*SLurvey on the results of monitoring of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2005*)

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	2.587	172	764	755	16	2	26	322	115	415	3 Ba-133, 3 Bi-207	
Bayern	2.216	165	427	455	64	0	70	309	118	608	3 Ni-63	
Berlin	312	35	103	72	3	0	5	29	25	39	0	
Brandenburg	555	94	16	247	3	0	5	87	40	63	1 Ra-226	
Bremen	Angaben fehlen											
Hamburg	241	26	54	76	0	0	0	37	9	39	1	
Hessen	436	36	93	106	8	0	4	48	38	103	3 Fe-55	
Mecklenburg-Vorp.	328	46	75	99	0	0	1	67	7	33	2 Sr-90, 2 Cs-137, 2 Am-241	
Niedersachsen	1.796	226	252	508	18	2	117	161	89	423	1 Am-241	
Nordrhein-Westfalen	2.079	224	335	516	42	0	46	471	38	407	1 Fe-55 bei 57 Dichtheitsprüfungen	
Rheinland-Pfalz	328	8	48	73	18	0	7	66	2	106	0	
Saarland	45	12	2	14	0	0	0	16	0	1	0	
Sachsen	2.018	793	309	667	11	1	3	113	40	81	3 Sr-90+	
Sachsen-Anhalt	369	39	4	247	0	0	0	15	9	55	0	
Schleswig-Holstein	240	14	27	102	5	0	22	27	25	18	0	
Thüringen	258	45	18	148	1	0	0	18	4	24	0	
Summe:	13.808	1.935	2.527	4.085	189	5	306	1.786	559	2.415	25	

Tabelle 3.1-6 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin in 2005
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in human medicine, dentistry and animal health in 2005)
Am 31.12.2005 gültige Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen

Land	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 2 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) für die Behandlung von Menschen	Humanmedizin		Zahnmedizin		Tiermedizin	
		Untersuchung	Toleradiologie nach § 3 Abs 1 und 4 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 3 RöV	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 angezeigten RöE	Gesamtzahl der nach § 3 Abs. 1 genehmigten RöE	Gesamtzahl der nach § 4 Abs. 1 angezeigten RöE
Baden-Württemberg	55	908 (21)	4900	1271	12151	327	550
Bayern	52	795 (55)	5882	867	13456	325	849
Berlin	17	87	1627	50	3511	36	321
Brandenburg	4	61 (12)	851	6	2072	47	202
Bremen	Angaben fehlen						
Hamburg	9	59 (1)	948	79	2241	23	88
Hessen	22	149 (34)	2361	172	6093	125	461
Mecklenburg-Vorp.	1	33 (4)	706	5	1890	13	122
Niedersachsen	24	147 (14)	2091	150	4356	66	377
Nordrhein-Westfalen	133	1831 (43)	9209	1540	16163	245	974
Rheinland-Pfalz	15	125 (10)	1850	65	3572	51	294
Saarland	10	ca. 70	628	ca. 20	894	16	64
Sachsen	11	123 (18)	1710	74	4633	40	277
Sachsen-Anhalt	7	77 (7)	1090	8	2565	13	149
Schleswig-Holstein	17	118 (8)	1241	177	3034	86	252
Thüringen	9	20 (5)	962	3	2574	11	142

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2005
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted sources of interference generators in technological / non-medical areas in 2005)

Am 31.12.2005 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	46	819	1036	433	241
Bayern	315	500	651	626	304
Berlin	77	206	225	189	86
Brandenburg	82	44	82	67	11
Bremen	Angaben fehlen				
Hamburg	46	69	180	76	42
Hessen	81	552	338	297	116
Mecklenburg-Vorp.	25	16	49	19	8
Niedersachsen	105	63	132	124	22
Nordrhein-Westfalen	799	456	1199	800	196
Rheinland-Pfalz	75	136	118	160	52
Saarland	13	23	140	ca. 20	45
Sachsen	155	134	161	87	60
Sachsen-Anhalt	96	44	79	49	46
Schleswig-Holstein	37	15	79	102	2
Thüringen	49	14	93	57	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 das Jahr 2004 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle. Nicht enthalten ist in dieser Aufstellung der Bestand abgebrannter Brennelemente.

Tabelle 3.2-1 Übersicht über die Volumina zwischengelagerter radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2004, Angaben in m³
(Survey on the volume of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2004, indications in m³)

Abfallart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
	in m ³	
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Ende 2004	29.773	56
Zwischenprodukte Bestand Ende 2004	7.902	
Anfall 2004	2.019	
konditionierte Abfälle Bestand Ende 2004	82.645	1.743
Anfall 2004 (gemeldetes Aufkommen)	5.331	60

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern 29.773 m³ unbehandelte Abfälle; 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 7.902 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 2004 insgesamt 82.645 m³. Auch diese Bestände lagern sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2004 sind für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-2 und für wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.2-3 für die einzelnen Abfallverursacherguppen aufgeführt.

Tabelle 3.2-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursacherguppen am 31. Dezember 2004; 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 2004, indications in m³)

Gruppe	Unbehandelte Rohabfälle	Zwischenprodukte	Konditionierte Abfälle
	in m ³		
Forschungseinrichtungen	8.224	1.077	37.597
kerntechnische Industrie	2.394	1.484	6.764
Atomkraftwerke	5.961	460	15.739
stillgelegte Atomkraftwerke *)	9.547	3.702	6.567
Landessammelstellen	1.388	564	2.966
Sonstige	1.732	493	0
Wiederaufarbeitung	528	122	13.011
Summe	29.773	7.902	82.645

Der Mittelwert des jährlichen Anfalls über alle Verursacherguppen beträgt in den 21 Jahren, in denen eine Abfallerhebung durchgeführt wurde, ca. 4.500 m³.

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2004 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 56 m³ wärmeentwickelnde Rohabfälle und ca. 1.743 m³ wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle. Der Hauptanteil kommt bei den konditionierten Abfällen aus den stillgelegten Atomkraftwerken, insbesondere aus dem Hochtemperaturreaktor Hamm-Uentrop (THTR). Die aus dem THTR entladenen Kugelbrennelemente sollen direkt endgelagert werden. In den konditionierten Wiederaufarbeitungsabfällen sind 51 Behälter mit 1.428 Kokillen mit verglastem Spaltkonzentrat aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente bei der CO-GEMA enthalten. Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Spaltproduktkonzentrat aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) sowie um Core-Schrott aus einem Atomkraftwerk. 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 Verursacherguppen am 31. Dezember 2004; 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 2004 indications in m³)

Verursacherguppe	unbehandelte Rohabfälle	Konditionierte Abfälle
	in m ³	
Forschungseinrichtungen	-	90,2
kerntechnische Industrie	-	-
Atomkraftwerke	-	6,3
stillgelegte Atomkraftwerke	-	1.314,1
Landessammelstellen	-	19,4
Sonstige	-	55,6
Wiederaufarbeitung	56	257,0
Summe	56	1.742,6

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 bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2005. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle 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
03.01.05	Strahlenexposition der Hände eines Mitarbeiters bei Justierungsarbeiten an einer Probe in einem Röntgendiffraktometer	Ausfall von Sicherheitseinrichtungen	Keine	Zusätzliche Sachverständigenprüfung
05.01.05	Fund von vier Strahlern (Ir-192, 8,5 GBq) in einer Universität	Unzulässige Entsorgung	Keine, da Strahler vollkommen abgeklungen	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.01.05	Fehlbestrahlung eines Patienten mit einem Elektronenbeschleuniger in einem Klinikum	Verwechslung des Patienten	Irrtümlich applizierte Dosis: 3 Gy, erfahrungsgemäß keine Akut- oder Spättoxizität zu erwarten	Verbesserung der Patientenidentifizierung
17.01.05	Fund eines Messgerätes mit einem Strahler (Ra-226, 44 MBq) im Elektronikschrott bei einer Metallaufbereitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.01.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 3,7 µSv/h an Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.01.05	Verlust eines Strahlers (Ni-63, 100 MBq) bei Umbauarbeiten in einer Privatfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Recherchen im Entsorgungsunternehmen erfolglos
31.01.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem (Uran-natürlich) Zellstoff im Hausmüll in einer Forschungseinrichtung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Belehrung der Mitarbeiter und Reinigungskräfte, Vervollständigung der Beschilderung
10.02.05	Unerwartete Kontamination in einem Kontrollbereich	Austritt von Spüllösung beim Freispülen des Ablaufs einer heißen Zelle	Keine	Rückführung der Leckage-Flüssigkeit, Dekontamination unter Atemschutz, Inkorporationsmessungen
20.02.05	Unerlaubter Vertrieb eines Radium-Trinkbechers und Badekurapparates	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung beim Anbieter und Entsorgung
23.02.05	Störung beim Transport eines Strahlerzuges (Sr-90, 3 GBq) in einem Gerät für die kardiovaskuläre Brachytherapie	Unzureichende Auslegung des Gerätes für "überlange" Stenosen	Geringe zusätzliche Strahlenexposition für Patient und Personal (< 50 µSv)	Austausch des Gerätes

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.02.05	Fehlbestrahlung eines Patienten durch eine Afterloadinganlage (Ir-192, 334,6 GBq)	Fehler bei der manuellen Eingabe von Bestrahlungsparametern (Schrittlänge)	Keine (regelmäßige Nachsorge wurde durchgeführt)	Beseitigung des Mangels durch Herstellerfirma, um manuelle Eingabe zukünftig zu vermeiden
24.02.05	Zerstörung eines Strahlers (Co-60, 593 MBq) einer Füllstandsmessanlage in einem Stahlwerk	Übergießen der Messanlage mit flüssigem Stahl auf Grund eines Bedienfehlers	Inhomogene Verteilung der Aktivität in einem ca. 2 t schweren Metallblock, 7,8 mSv/h an Strahlerposition, keine Kontamination	Lagerung des kontaminierten Metallblocks in einem nicht genutzten Werkbereich, Abschirmung durch Gusskübel, Planung der Entsorgung durch Fachfirma
28.02.05	Verlust eines Schuistrahlenquellensatzes (Kr-85, 185 kBq; Cs-137, 185 kBq; Co-60, 185 kBq; Na-22, 37 kBq) in einer Schule und unzulässige Entsorgung über den Hausmüll	Diebstahl	Ggf. Expositionen auf einer Hausmülldeponie	Suche ergebnislos verlaufen
17.03.05	Kontamination einer Flächengewichtsmesseinrichtung durch einen undichten Strahler (Pm-147)	Undichtheit bei umschlossenen radioaktiven Stoffen	Keine	Austausch des Messkopfes mit Strahler
17.03.05	Unerlaubter Vertrieb von vier Beta-Lights (H-3) zum Angeln	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
23.03.05	Fund von 47 Kontrollstrahlern (44 Stck. Cs-137; 3 Stck. Pu-239) in einem Feuerwehrlager	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.05	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallrohres (Ra-226, 1 MBq) bei der Eingangskontrolle in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.03.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Co-60, 57 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.04.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Ra-226, 1,5 MBq) im Abfall	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.04.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 11 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.05	Einleitung von radioaktiv kontaminierten Abwässern (I-125, 132 kBq) in das öffentliche Abwassernetz	Unachtsamkeit	Keine	Verschiedene Maßnahmen um weitere Vorkommnisse auszuschließen (Kennzeichnung des Abwassersystems)
06/2005	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 30 kBq) bei Sanierungsarbeiten in einem Chemiepark	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verbesserung der Informationskette
07.06.05	Fund von kontaminiertem Zellstoff (Ra-226, 1,1 MBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Wahrscheinlich keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
10.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Cs-137) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
21.06.05	Störung beim Zurückfahren der Strahlerkette (Sr-90, 2,8 GBq) in einem Gerät für die kardiovaskuläre Brachytherapie	Behinderung durch einen deformierten Schlauch auf Grund einer zu fest geschlossenen Katheterschleuse	Gering	Ordnungsgemäße Rückführung der Strahler nach Zwischenlagerung in der Notfallbox, Konstruktionsänderung beim Hersteller angeregt
22.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,2 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
24.06.05	Verlust eines Elektroneneinfangdetektors mit Strahler (Ni-63, 555 MBq)	Menschliches Versagen	Keine	Suche ergebnislos verlaufen
24.06.05	Erhöhte Exposition eines LKW-Fahrers in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Missachtung von Warnhinweisen durch den Fahrer	Keine	Vorkommnis trotz eines Merkblattes in der Landessprache des Fahrers
27.06.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Abfällen (I-131) auf einer Hausmülldeponie	Unzulässige Entsorgung	Keine	Änderung der Arbeitsvorschriften
27.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 0,2 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.06.05	Brand in einem Laborraum, in dem zwei Gaschromatographen mit Detektoren (Ni-63) standen	Brand	Keine Kontaminationen festgestellt	Keine
30.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Mo-99m) auf einem Waldparkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine, da radioaktives Material abgeklungen	Keine
30.06.05	Fund eines Prüfgerätes mit einem Strahler (Cs-137, 366 kBq) auf öffentlicher Straße	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.07.05	Fund eines Strahlers (Cs-137, 100 MBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.05	Fund von drei metallischen Behältern mit radioaktivem Inhalt (bis 170 µSv/h an der Behälteroberfläche) auf einem öffentlichen Parkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.05	Fund eines Blitzableiters mit 15 Strahlern (Ra-226, 52 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.05	Fund eines Messgerätes mit einem Prüfstrahler (Ra-226, 11 MBq) in einer Elektronikschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung durch Aufsichtsbehörde
14.07.05	Verlust einer gasgefüllten Tritiumlichtquelle (H-3, 120 GBq) in einem Hubschrauber	Unbekannt	Keine	Ersatz der Tritiumlichtquellen durch nicht-radioaktive Leuchtstreifen bis 2007
16.07.05	Fund eines Strahlers (Ra-226, 750 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.07.05	Fund eines Radium-Trinkbechers bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.07.05	Fund eines Strahlers (Ra-226, 10 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.08.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131) im Abfall	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.08.05	Fund radioaktiver Stoffe (Cs-137; Kr-85; Pb-210) in einer Schule	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.08.05	Fund eines radioaktiv kontaminierten Kabels (Ra-226, 90 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.08.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Röhren (13 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.05	Fund eines Tresors mit einem Schulstrahlenquellensatz (Cs-137; Na-22; Kr-85; Co-60) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.05	Funktionsstörung der Sicherheitschaltung einer medizinischen Röntgenbestrahlungsanlage bei einer Sachverständigenprüfung in einem Klinikum	Ausfall einer Messkammer, die die Sicherheitseinrichtung steuert	Keine	Überprüfung und Reparatur durch Herstellerfirma; Sicherstellung, dass ein systematischer Fehler, der auch bei anderen Geräten auftreten kann, ausgeschlossen werden kann
09/2005	Verlust eines Strahlers (Am-241, 3,7 MBq) in einem Labor	Unzulässige Entsorgung	Keine	Zugang zum Labor durch Aufsichtsbehörde technisch und organisatorisch eingeschränkt
19.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 3,1 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
20.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 0,7 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Freigabe zur weiteren Verwendung
26.09.05	Exposition eines Kindes in einer Röntgenkontrollanlage auf einem Flughafen	Mangelnde Aufsicht	Geschätzte Personendosis: 20 µSv	Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
27.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,9 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
28.09.05	Fund einer radioaktiv kontaminierten Scheibe (Ra-226, 100 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.05	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 1 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.05	Einfuhr einer Schweizer Armeeuhr mit radioaktiv markierten Leuchtzifferblättern (Ra-226, 30 µSv/h)	Unkenntnis	Keine	Mitteilung an zuständiges Hauptzollamt
07.10.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 15 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.10.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
25.10.05	Herausfallen eines Strahlers (Cs-137, 417 MBq) aus einer selbst gebauten radiometrischen Messeinrichtung	Lösen einer angelöteten Endkappe	Dosis für einen Mitarbeiter: 14 µSv	Endkappe erneut durch Schweißen angebracht
27.10.05	Exposition eines Mitarbeiters bei Durchstrahlungsprüfung in einer Gießerei	Unaufmerksamkeit des Mitarbeiters	Exposition < 0,2 mSv	Ärztliche Untersuchung des Mitarbeiters, technische Maßnahmen um weitere Vorkommnisse auszuschließen
01.11.05	Austritt von ca. 6 m ³ schwach kontaminierten Wassers in eine Auffangwanne	Bruch eines Rohrwinkels, fehlerhafte Reaktion des Überwachungspersonals auf das gemeldete Warnsignal	Keine	Austausch des defekten Rohrwinkels, disziplinarische Maßnahmen und Unterweisung der Mitarbeiter in der Alarmzentrale
03.11.05	Exposition einer Mitarbeiterin bei Extraktionsarbeiten mit einer radioaktiv (C-14) markierten, phenolischen Lösung	Verspritzen der radioaktiven Flüssigkeit durch Überdruck im Vorratsgefäß	Gesamtaktivität im Gesicht: ca. 100 Bq	Dekontamination, ärztliche Untersuchung
04.11.05	Fund eines Strahlers (Cs-137, 43,4 TBq) in einem Transportbehälter bei einer Logistikfirma	Unzulässige Zwischenlagerung bei der Logistikfirma aufgrund einer Annahmeverweigerung des Adressaten	Gering; Verpackung entsprach Transportvorschriften	Behördliche Verfügung an die Logistikfirma zur Überführung des Strahlers an einen Betrieb mit entsprechender Umgangsgenehmigung
09.11.05	Verlust von radioaktivem gasförmigem Material (Kr-85, 1,85 GBq)	Verflüchtigung aufgrund von Undichtheit des Strahlers	Keine, da geschlossenes Abgassystem	Keine, da Quelle ersetzt wurde
15.11.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 6 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.11.05	Fund von 150 Stck. Ionisationsrauchmeldern (133 Stck. Am-241/Pu-238; 17 Stck. Am-241, zusammen ca. 600 MBq) im Elektronikschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.11.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 20 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
12/2005	Verlust von vier Ionisationsrauchmeldern (Ra-226, je 2,96 kBq) bei Abbrucharbeiten in einem Baumarkt	Unzulässige Entsorgung	Keine	Suche ergebnislos verlaufen
12/2005	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 37 kBq) auf einer Baustelle	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verbleib nicht zu ermitteln

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
05.12.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,3 µSv/h an der Container-Oberfläche) in einem Presscontainer bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.12.05	Fund einer Radium-Kompresse (Ra-226, 3,7 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.12.05	Austritt von ca. 150 l schwach kontaminierten Wassers in eine Auffangwanne bei einer Forschungseinrichtung	Bruch eines Behälters aufgrund einer zu geringen Nennweite der Druckentlastungsleitung	Keine	Entsorgung des Wassers über Pumpensumpf, Dekontamination, Vergrößerung der Nennweite der Druckentlastungsleitung
19.12.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,2 µSv/h an der Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.12.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Elektronikröhren (Ra-226, 10 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

1. **Optische Strahlung - Forschung und aktuelle Themen**
(Optical radiation - research and current topics)

1.1 **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 2005 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstation Westerland und Zingst), die Mitte (Messstation Dortmund, Langen und Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt sind. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in der Mitte Deutschlands UVI-Werte von 7 auftraten, d. h., dass Schutzmaßnahmen für die Haut ab dieser Zeit empfehlenswert waren.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt seit 1993 einen leichten Anstieg der UV-Strahlung erkennen. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

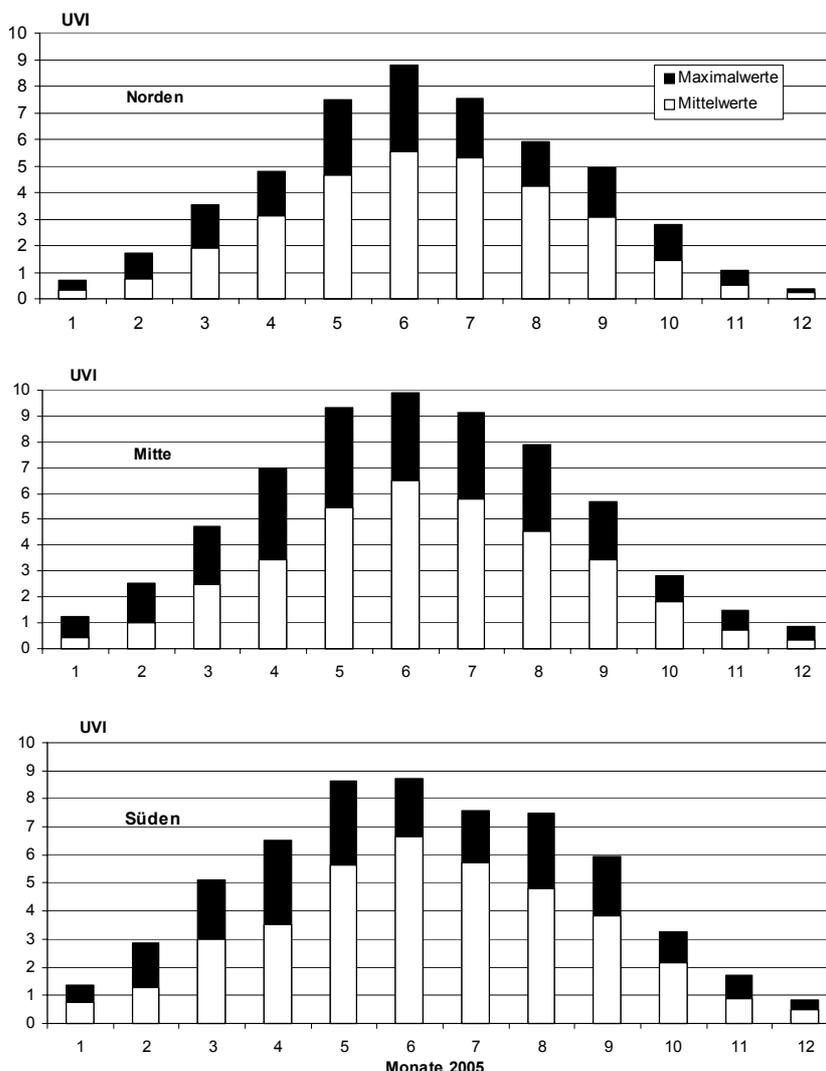


Abbildung 1.1-1 **Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2005**
(Maximum and mean UVI values per month in the year 2005)

1.2 Forschung bei optischer Strahlung (Research on optical radiation)

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Auch im Jahr 2005 wurden deshalb Forschungsvorhaben im Bereich UV durch das BfS betreut, die die unterschiedlichen Entstehungsmechanismen von Hautkrebs auf Grund erhöhter UV-Bestrahlung näher beleuchten.

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
- Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie solarer UV-Strahlung an Tagen mit durchbrochener Bewölkung

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. Es konnten in dem Vorhaben wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden für eine Verbesserung des UV-Schutzes und für eine bessere Aufklärung der Bevölkerung. Nach neueren Erkenntnissen bietet die Anwendung von Sonnenschutzmitteln allein keinen ausreichenden Schutz gegen Hautkrebs. Die Entwicklung eines geeigneten Screening-Tests für das individuelle Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, liefert einen wesentlichen Beitrag für verbesserte Vorsorgemaßnahmen. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden in mehreren Artikeln in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht.

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) hat 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 in der Anamnese. 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. Auch die Verwendung von Sonnenschutzmitteln bietet nach neueren Erkenntnissen keinen ausreichenden Schutz gegen Hautkrebs. Nach den Ergebnissen des Vorhabens führen bereits tägliche UV-Expositionen mit Dosen, 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. Einen Einfluss auf die Empfehlungen bezüglich der Nutzung von Solarien sollten darüber hinaus die Untersuchungen haben, die zeigen, dass eine UVA-Bestrahlung (wie sie in Solarien angeboten wird) die Kapazität der Zellen, durch solares UV induzierte Schäden zu reparieren, möglicherweise herabsetzt. Die oft empfohlene Vorbräunung im Solarium hat demnach keine Schutzwirkung, sondern im Gegenteil eher eine propagierende Wirkung auf die Hautkrebsentstehung.

Das Forschungsvorhaben „Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie solarer UV-Strahlung an Tagen mit durchbrochener Bewölkung“ (März 2005 – November 2005) hatte zum Ziel, insbesondere für Situationen mit durchbrochener Bewölkung Daten zu erheben und Erkenntnisse zu gewinnen, die es ermöglichen, aus den Messergebnissen des bundesweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA zu einer verbesserten Abschätzung der tatsächlichen UV-Belastung der Bevölkerung zu gelangen. Es konnte gezeigt werden, dass aus den Messungen bei einer konstanten Wellenlänge von $\lambda_E = 312 \text{ nm}$ die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_r mit hoher Genauigkeit (Fehler im Bereich weniger Prozent) errechnet werden konnte, so dass diese Methode sehr gut geeignet ist, E_r zeitlich hoch aufgelöst zu erfassen. Der Vergleich der auf diese Weise ermittelten Werte mit den zeitgleich im Rahmen des BfS/UBA-Messnetzes mit dem zweiten Spektralradiometer gemessenen E_r -Werte zeigt, dass es bei durchbrochener Bewölkung zu einer kurzfristigen, absoluten Erhöhung der erythemgewichteten UV-Strahlung um bis zu 20% (Gesamtstrahlung um über 50%) gegenüber unbewölkten Bedingungen kommen kann. Dies geschieht bei speziellen Wetterbedingungen, nämlich vorwiegend bei Schönwetterwolken mit etwa 5 bis 7 Achtel Bedeckungsgrad. Der Betrag bzw. die Dauer dieser kurzfristigen Erhöhung zu Beginn bzw. am Ende durchziehenden Cumuluswolken ist allerdings geringer als die Reduktion der Bestrahlungs-

stärke infolge der Abschattung durch die Wolken selber. Daher ist die am Erdboden empfangene Bestrahlungsdosis gegenüber derjenigen bei unbewölkten Bedingungen insgesamt doch reduziert, was entsprechende Modellrechnungen für die entsprechenden Messtage zeigen konnten. Die Reduktion variiert vor allem in Abhängigkeit von der Art der Wolken und dem Bedeckungsgrad. Im geringsten Fall beträgt sie lediglich etwa 10 %. Als Folge dessen verlängert sich entsprechend die Expositionszeit bis zum Erreichen einer MED. Eine Abhängigkeit der Reduktion von der Neigung der Empfängerfläche zeigte sich nicht, nur die bekannte Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der Empfängerneigung.

1.3 Internationaler Workshop „UV und Vitamin D“ (*International workshop on UV Exposure guidance*)

Im Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg, fand am 17. und 18. Oktober 2005 der Internationale Workshop „International Workshop on UV exposure guidance: A balanced approach between health risks and health benefits“ statt. Er wurde ausgerichtet durch die Organisationen ICNIRP, WHO und EUROSKIN. Ziel des Workshops war es, den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu UV- und Vitamin-D-Wirkungen zusammenzufassen und eine Empfehlung zur Sonnenexposition zu erarbeiten, die den gesundheitlichen Risiken und Nutzen von UV und Vitamin D gerecht wird. Die bisherigen Empfehlungen zu Sonnenexposition von Strahlenschutz- und Vitamin-D-Experten sind widersprüchlich. Die gesundheitsschädigenden Wirkungen von UV sind seit Jahren nachgewiesen. Gleichzeitig induziert UV-B-Strahlung in der Haut die Produktion von Pro-Vitamin D₃, das zu Vitamin D umgewandelt wird. Vitamin D reguliert den Kalziumspiegel im Blut und spielt dadurch eine essenzielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes. Neuere epidemiologische Studien liefern Hinweise, dass ein Mangel an Vitamin D mit einigen Krebsarten wie Darmkrebs, aber auch Brust- und Prostatakrebs, korreliert zu sein scheint. Es wurden die Fragen nach dem optimalen Vitamin-D-Spiegel und einen möglichen Ausgleich von Vitamin-D-Mangel z. B. durch eine Vitamin-D-Anreicherung in Nahrungsmitteln diskutiert. Der Besuch von Solarien als eine Methode zur Deckung des Vitamin-D-Bedarfs wurden von der überwiegenden Mehrheit der Workshop-Teilnehmer als ungeeignete Vitamin-D-Quelle bewertet. Große Übereinstimmung bestand darin, dass körperliche Aktivitäten im Freien als gesundheitsfördernd anzusehen sind, und entsprechende Sonnenschutzmaßnahmen bei UV-Indices höher als 3 propagiert werden sollen.

Die Vorträge und Ergebnisse des Workshops sowie die Diskussionen hierzu wurden nach Durchlaufen eines Gutachter-gestützten Prozesses in der Fachzeitschrift „Progress in Biophysics & Molecular Biology“, Vol. 92 (1) publiziert (<http://www.sciencedirect.com>).

1.4 Zertifizierung von Solarienbetrieben (*Certification of solaria*)

In den letzten Jahren ist eine zunehmende Nutzung künstlicher Strahlung zu kosmetischen Zwecken (z. B. Bräunung) zu beobachten. Infolge der damit verbundenen Zunahme der UV-Exposition der Bevölkerung wird eine Zunahme der UV-bedingten Gesundheitsschäden erwartet.

Im Januar 2002 wurde daher vom BfS ein "Runder Tisch Solarien" (RTS) gegründet mit Teilnehmern wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen sowie Vertretern von Solarienbetrieben und Solarienherstellern. Der RTS hatte das Ziel, auf Basis der SSK-Empfehlung vom 8.6.2001 einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarienbetrieben festzulegen und eine freiwillige Zertifizierung für die Betriebe anzubieten, die diesen Mindeststandard erfüllen.

Im Mai 2003 konnte Einigkeit über einen Kriterienkatalog und das Verfahren für die Zertifizierung der Solarien erzielt werden. Das BfS ist Akkreditierungsstelle für die Institutionen, die Solarienbetriebe nach den Kriterien des RTS zertifizieren wollen. Die Zertifizierung gilt für 3 Jahre. Als Qualitätssicherungsmaßnahme kann das BfS während der Zeitdauer der Zertifizierung durch stichprobenartige Prüfungen die Einhaltung der Kriterien überwachen.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung von Sonnenstudios sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

In 2004 wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz fünf Betriebe als Zertifizierungsstelle für Solarien akkreditiert. In Folge wurden bis Ende 2005 insgesamt 55 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Solarienbetriebe ist diese Anzahl unbefriedigend und zwingt zu einer Überprüfung des Instruments der Freiwilligkeit.

2. Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen (*Electric, magnetic and electromagnetic fields - research and current topics*)

2.1 Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (*Low-frequency electric and magnetic fields*)

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien und einiger Untersuchungen an Zelllinien wird eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder z. B. für kindliche Leukämie und Brustkrebs bei magnetischen Flussdichten weit unterhalb des Grenzwerts von 100 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. Und dies, obwohl für niedrige Intensitäten niederfrequenter Magnetfelder nach wie vor kein Wirkungsmechanismus nachgewiesen ist. Von der IARC werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft.

Liburdy *et al.* (1993;1997) [1, 2] berichteten über einen Einfluss niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung des Zirbeldrüsenhormons Melatonin und des Krebsmedikaments Tamoxifen auf Brustkrebszellen. Die wachstumshemmende Wirkung wurde abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Verifizierung des veränderten Wachstumsverhalten von verschiedenen Brustkrebszelltypen in vitro unter Magnetfeldeinfluss mit verschiedenen Onkostatika“, das im Rahmen des UFOPLANS von 1999 – 2004 durchgeführt wurde, bestätigte die Ergebnisse von Liburdy *et al* [2]. Die Ergebnisse beschreiben zunächst nur einen biologischen Effekt an einigen Brustkrebszelllinien. 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 Folgevorhaben 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 einer Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer Flussdichte von 1,2 μT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe sogenannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, werden die interessantesten und für die Krebsentstehung (Kanzerogenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene mit weiteren Methoden näher untersucht.

Eine Studie mit dem Titel „Machbarkeitsstudie – Verifizierung der Beschwerden 'Elektrosensibler' vor und nach einer Sanierung“ beschäftigte sich mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. Die Studie ist abgeschlossen, der Abschlussbericht ist auf der Homepage des Bundesumweltministeriums (<http://www.bmu.de/strahlenschutz/doc/5942.php>) veröffentlicht.

Es zeigte sich, dass die Beschwerden, die von den Betroffenen auf elektromagnetische Felder zurückgeführt werden, in der Bevölkerung weit verbreitet sind. Es ergaben sich aber keine Hinweise auf eine spezifische Häufung von Symptomen bei einer Gruppe von Personen, die möglicherweise die Existenz einer Gruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt hätten. Mit Hilfe der transkranialen Magnetstimulation wurden die objektive motorische Schwelle und die Fähigkeit von elektrosensiblen 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 zu 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 flossen in die Aufgabenstellung eines Vorhabens zum Thema „Elektrosensibilität“ ein, das im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms durchgeführt wird.

Literatur

- [1] Lidbury RP, Sloma RT, Sokolic R, Yaswen P: „ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60 hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+ breast cancer cell proliferation“. *J Pineals Res.* 14, 89 - 97, 1993
- [2] Lidbury RP, Harland JD: „Environmental Magnetic fields inhibit the antiproliferative action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line“. *Bioelectromagnetics* 18, 555 - 562, 1997
- [3] Girgert R, Schimming H, Körner W, Gründker C, Hanf V: Induction of tamoxifen resistance in breast cancer cells by ELF electromagnetic fields“. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 336, 1144 - 1149, 2005

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

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2005 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (<http://www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html>). Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört neben der Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition u. a. auch die Intensivierung und Koordinierung der Forschung. Das BfS initiiert und koordiniert im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von Mobilfunkfeldern nachzugehen. Weitere Forschungsvorhaben, die die technische Weiterentwicklung und eine als Vorsorgemaßnahme gebotene Minimierung der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunkfelder zum Inhalt haben, werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) vergeben.

Eine Gesamtaufstellung der Forschungsprojekte der Bundesregierung im Bereich Mobilfunk und die dazugehörigen Erläuterungen können in der Bundestagsdrucksache 16/1791 "Zweiter Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen" nachgelesen werden. Die folgende Tabelle 2.2-1 gibt einen Überblick über die Forschungsvorhaben des BMU zum Mobilfunk im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms (DMF).

Liste der Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms

Biologische Wirkungen (Biologie)
• 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)
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Genotoxizität)

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
- 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)
- 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

Das BfS hat die Durchführung einer repräsentativen Umfrage zur Wahrnehmung des Mobilfunks und zum Informationsverhalten in der Bevölkerung in Auftrag gegeben. Die Umfrage zur „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ wurde erstmals im Jahr 2001 durchgeführt. Die Befragung wird jährlich wiederholt, um mögliche Veränderungen in der Wahrnehmung des Mobilfunks bzw. in der berichteten Besorgnis oder Beeinträchtigung durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zu erfassen.

Bei der Befragung im Jahr 2005 wurde als Sondermodul ein Fragenkomplex mit aufgenommen, der die Begleitumstände der Sorgen bzw. Beeinträchtigungen wegen elektromagnetischer Felder genauer beleuchten sollte. Zudem wurde eine Frage zur Zuschreibung von Kompetenz verschiedener Institutionen im Zusammenhang mit dem Thema Mobilfunk und Gesundheit eingeführt.

Insgesamt zeichnen sich die Befragungsergebnisse durch eine hohe Konstanz gegenüber den Ergebnissen der beiden Befragungen 2004 und 2003 aus. Der starke Zuwachs in der Handynutzung, der in den beiden letzten Jahren zu verzeichnen war, hat sich nicht fortgesetzt. Veränderungen lassen sich nur in den mittleren und hohen Altersgruppen beobachten. Die subjektive Wahrnehmung der Nähe des Wohnortes zu Mobilfunksendeanlagen bleibt trotz objektiv steigender Dichte des Mobilfunknetzes konstant, ebenso wie die Sicherheit der Befragten, Mobilfunksendeanlagen auf den ersten Blick erkennen zu können. Die Anteile der Personen, die sich im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks besorgt (30%) oder gesundheitlich beeinträchtigt (10%) beschreiben (30% bzw. 9% im Jahr 2004) sind unverändert. Die meistgenannten gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder beziehen sich auf Kopfschmerzen und Schlafprobleme. Als befürchtete gesundheitliche Beeinträchtigungen werden in erster Linie Kopfschmerzen / Migräne sowie die Angst, an Krebs zu erkranken, genannt. Die Mobilfunksendeanlage trägt stärker als das Handy zu Besorgnis und Beeinträchtigung wegen elektromagnetischer Felder bei. Eine im Jahr 2004 angedeutete Verschiebung in Richtung Handy als der am stärksten zu Besorgnis bzw. Beeinträchtigung führenden Quelle elektromagnetischer Felder bestätigt sich im Jahr 2005 nicht. Der Unterschied wird mit zunehmender Stärke der Besorgnis bzw. Beeinträchtigung deutlicher. Erstmals wurden in der Befragung 2005 ein Fragenkomplex mit aufgenommen, der die Art und Qualität der Bedenken wegen elektromagnetischer Felder genauer beleuchtet. Der Bericht stellt die Ergebnisse zu Fragen bzgl. des Zeitpunktes des ersten Auftretens der gesundheitlichen Bedenken, die Häufigkeit der Bedenken, der Befürchtung konkreter oder unspezifischer Beschwerden und andere Ergebnisse dieses Fragenkomplexes in Abhängigkeit von der Stärke der Besorgnis bzw. der stärksten Sorgenquelle dar. Auch der Vergleich der Wahrnehmung gesundheitlicher Risiken durch mobilfunkrelevante Strahlungsquellen mit anderen möglichen gesundheitlichen Risikofaktoren zeigt gegenüber den Vorjahren eine deutliche Konstanz 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 Lebensmitteln, oder UV-Strahlung. Die Bekanntheit des SAR-Wertes hat gegenüber dem Jahr 2004 nicht zugenommen, allerdings ist gegenüber 2003 ein deutlicher Zuwachs der Bedeutung des SAR-Wertes bei getätigten Entscheidungen zur Wahl eines bestimmten Handys zu verzeichnen.

Weitere Ergebnisse der Befragung können in den Ergebnisberichten nachgelesen werden, die im Internet unter www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.html veröffentlicht sind.

Umweltzeichen "Blauer Engel"

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ 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.

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.

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

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.

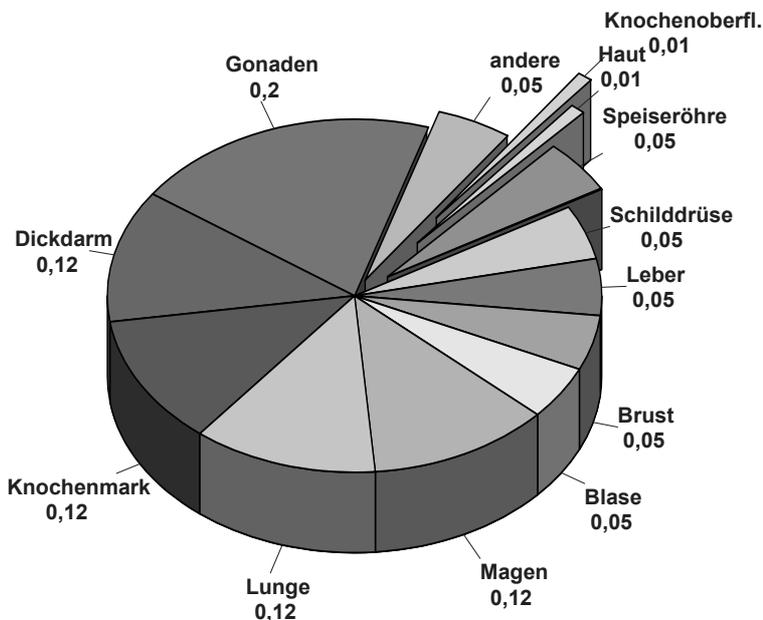


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(*Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance*)

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.

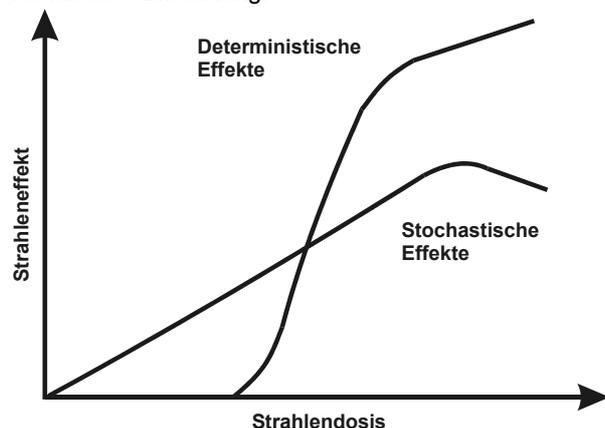


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte
(Chart of the dose-response-relationships in stochastic and deterministic effects)

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 überwiegenderem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration

um 100 Bq pro m³ Raumluft. Dies bedeutet, dass 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 Lebenszeitrisiko 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

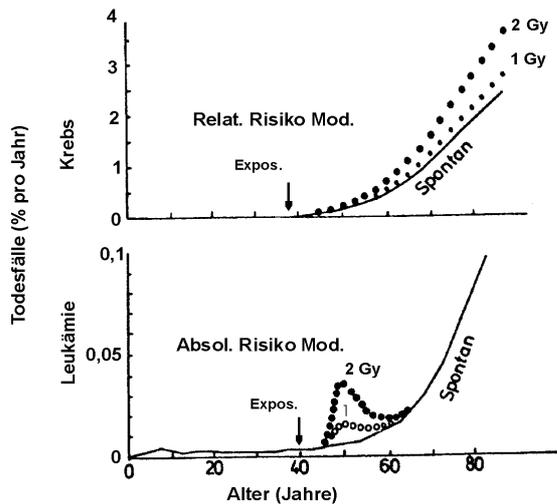


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs
und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

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 StrSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

- Für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten nach § 2 Abs. 1 Nr. 1 ein Millisievert im Kalenderjahr.
- Unbeschadet des Absatzes 1 beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
- Bei Anlagen oder Einrichtungen gilt außerhalb des Betriebsgeländes der Grenzwert für die effektive Dosis nach Absatz 1 für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes; liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

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

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

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

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

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002 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 = Systèmes 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: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = 376,7 V/A
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	S	W/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

1) dabei ist μ die Permeabilitätskonstante,
 μ_0 die Permeabilitätskonstante im Vakuum und
 μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums

3. Glossar (Glossary)

- Absorption** Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis
- Aerosol** Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
- Aktivität (Radioaktivität)** Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu
- AKR-Mäuse** Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
- Alphastrahler** Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
- Anthropogen** Durch den Menschen beeinflusst, verursacht

Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert
Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS)	Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten
Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus Elektronen 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
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 (Ampere)
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen (positions prescribed for doctors and dentists)
AMG	Arzneimittelgesetz (Medical Preparations Act)
AtG	Atomgesetz (Atomic Energy Act)
AVR	Atomversuchsreaktor (Nuclear test reactor)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (General Administrative Provisions)
B	Magnetische Flussdichte (Magnetic flux density)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (Federal Institute for Drugs and Medical Devices)
BFEL	Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (Federal Research Centre for Nutrition and Food)
BFAFi	Bundesforschungsanstalt für Fischerei (Federal Research Centre for Fisheries)
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (Federal Institute of Hydrology)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (Federal Office for Radiation Protection)
BGBl	Bundesgesetzblatt (Federal Law Gazette)

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>)
/d×p	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>)
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 erythemato gene 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 (**BAStrISchG**) 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 - **StriSchV**) 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 - **26. 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-StrahlLe**) 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
52	Tellur	Te-123m	120 d	R

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
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
		Xe-138m	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^-
		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
		Po-219	3,96 sec	α , γ
86	Radon	Rn-220	55,6 sec	α
		Rn-222	3,8 d	α
		Rn-226	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	$2,3^5$ 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