

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 2007

Impressum

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

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

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

Stand: Dezember 2008

Vorwort

Der vorliegende Jahresbericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2007 über die Entwicklung der Umweltradioaktivität sowie der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland. Im Bericht enthalten sind außerdem Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIS) und Forschungsprojekte in diesem Bereich.

Der Bericht ist in die Teile A und B gegliedert. Struktur und Themen sind in beiden Teilen gleich. Teil A jedoch enthält allgemeine Angaben und eine Einführung in die jeweilige Thematik (Stand 2005), während in Teil B (graues Register) zum gleichen Thema die jährlich erhobenen Daten im Vergleich mit dem Vorjahreswert wiedergegeben und bewertet sind.

Die Schwerpunktthemen sind:

Natürliche Strahlenexposition

Etwa die Hälfte der gesamten Strahlenbelastung der Bundesbürger stammt aus natürlichen Quellen, wie der kosmischen Strahlung (0,3 mSv), der natürlichen Strahlung aus Boden und Gestein (0,4 mSv) und der Aufnahme natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (0,3 mSv). Die durchschnittliche Strahlenbelastung durch Inhalation von Radon übertrifft mit 1,1 mSv dabei alle anderen Beiträge, in einigen eng begrenzten Gebieten Deutschlands mit einigen 10 mSv sogar sehr deutlich. Nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission können 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 medizinischen Diagnostik verursacht. Insbesondere der Beitrag der Röntgendiagnostik zur effektiven Dosis ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Wesentliche Ursache für die Zunahme ist die steigende CT-Untersuchungshäufigkeit. Von daher bleibt in diesem Bereich Handlungsbedarf weiterhin angezeigt. Die Röntgenverordnung enthält Regelungen, die darauf gerichtet sind, die medizinische Strahlenexposition in Deutschland insbesondere im Bereich der Diagnostik zu senken. Darüber hinaus ist es 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, die mit Personendosimetern überwacht werden, betrug im Jahr 2007 ca. 317.000, davon 82% ohne messbare Dosis. Die mittlere Jahresdosis mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten beläuft sich mit 0,79 mSv fast unverändert auf dem Niveau des Vorjahres.

Die Expositionsdaten für das Flugpersonal wurden 2004 erstmals erfasst. Die ermittelte Jahresdosis für diesen Personenkreis betrug im Jahr 2007 2,3 mSv (2006 2,2 mSv). Der Anstieg ist durch den Anstieg der Höhenstrahlung infolge des Sonnenzyklus bedingt.

Strahlenexposition durch den Unfall in Tschernobyl und Kernwaffenversuche

Die durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,015 mSv im Jahr 2007 zurück (jährliche Abnahme der Cs-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 2007 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 2007 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 gerecht zu werden, enthält der Bericht Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIS). Zu dem Bereich NIS 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-Immissionsschutzge-

setzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben. Die Einhaltung der Grenzwerte für gewerblich genutzte Hochfrequenzanlagen wird durch das sog. Standortbescheinigungsverfahren nach der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) sichergestellt. Die Bundesnetz-Agentur (BNetzA) überprüft die Funktionalität dieses Verfahrens durch regelmäßige Messreihen. Laut Aussage der BNetzA wurden keine Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt. Im Rahmen des „Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF)“ wird darüber hinaus insbesondere die Wirkung des Mobilfunks auf den Menschen umfassend untersucht. Das Programm läuft von 2002 bis voraussichtlich Sommer 2008 und wird jeweils mit 8,5 Mio. € vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern finanziert. In dem Programm wurden mehr als 50 Forschungsprojekte auf den Gebieten Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation gefördert.

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

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|-----------------------|----|
| ZUSAMMENFASSUNG | 13 |
| SUMMARY | 17 |
| RÉSUMÉ | 21 |

TEIL A

ALLGEMEINE ANGABEN (GENERAL INFORMATION)

| | | |
|-----------|---|----|
| I | NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY) | |
| | Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung <i>(Historical and legal basis of surveillance)</i> | 26 |
| 1. | Natürliche Umweltradioaktivität <i>(Natural environmental radioactivity)</i> | 28 |
| 2. | Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität <i>(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)</i> | 30 |
| 2.1 | Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie <i>(Residues of mining and industry)</i> | 30 |
| 2.2 | Radon in Gebäuden <i>(Radon in buildings)</i> | 32 |
| 2.3 | Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten <i>(Radioactive substances in building materials and industrial products)</i> | 33 |
| II | KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT) | |
| 1. | Quellen künstlicher Radioaktivität <i>(Sources of artificial radioactivity)</i> | 38 |
| 1.1 | Kernwaffenversuche <i>(Nuclear weapons tests)</i> | 38 |
| 1.2 | Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall <i>(Chernobyl - radiation exposure from the accident)</i> | 40 |
| 1.3 | Kerntechnischen Anlagen - Allgemeine Angaben <i>(Nuclear facilities - general data)</i> | 41 |
| 2. | Aktivitätsmessungen und Messnetze <i>(Activity measurements and monitoring networks)</i> | 42 |
| 2.1 | Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung <i>(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)</i> | 44 |
| 2.2 | Meerwasser und Binnengewässer <i>(Seawater and inland water)</i> | 45 |
| 2.3 | Böden <i>(Soils)</i> | 48 |
| 2.4 | Lebensmittel, Günd- und Trinkwasser <i>(Foodstuffs, groundwater, and drinking water)</i> | 48 |
| 2.5 | Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe <i>(Tobacco products, consumer goods, pharmaceutical products and their constituent materials)</i> | 50 |
| 2.6 | Abwasser und Klärschlamm <i>(Waste water and sludge)</i> | 50 |
| 2.7 | Abfälle <i>(waste)</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>(Aircraft 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 | 75 |
| | <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 THEIR 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 90 (Sources of artificial radioactivity) |
| 1.1 | Kernwaffenversuche 90 (Nuclear weapons tests) |
| 1.2 | Tschernobyl - Strahlenexposition durch den Reaktorunfall 91 (Chernobyl - radiation exposure from the accident) |
| 1.3 | Kerntechnische Anlagen 92 (Nuclear facilities) |
| 1.3.1 | Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen 95 (Radiation exposure from nuclear facilities) |
| 2. | Aktivitätsmessungen und Messnetze 100 (Activity measurements and monitoring networks) |
| 2.1 | Luft und Niederschlag, Gamma-Ortsdosisleistung / Spurenanalyse 100 (Air and precipitation, ambient gamma dose rate / trace analysis) |
| 2.1.1 | Radionuklide in der bodennahen Luft 100 (Radionuclides in ground-level air) |
| 2.1.2 | Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) 109 (Total deposition of radionuclides) |
| 2.1.3 | Gamma-Ortsdosisleistung 113 (Ambient gamma dose rate) |
| 2.1.4 | Luft und Niederschlag in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 115 (Air and precipitation from the surroundings of nuclear facilities) |
| 2.1.5 | Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft kerntechnischer Anlagen 118 (Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities) |
| 2.2 | Meerwasser und Binnengewässer 125 (Seawater and inland water) |
| 2.2.1 | Meerwasser, Schwebstoff, Sediment 125 (Seawater, suspended matter, sediment) |
| 2.2.2 | Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer 136 (Surface water, suspended matter, and sediment in inland water) |
| 2.2.3 | Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 149 (Surface water and sediment from inland water in the surroundings of nuclear facilities) |
| 2.2.4 | Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen 156 (Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities) |
| 2.3 | Böden 159 (Soil) |
| 2.3.1 | Boden, Pflanzen und Futtermittel 159 (Soil, plants, and animal feedstuffs) |
| 2.3.2 | Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 166 (Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities) |
| 2.4 | Lebensmittel, Grund- und Trinkwasser 173 (Foodstuff, groundwater, and drinking water) |
| 2.4.1 | Grundwasser und Trinkwasser 173 (Groundwater and drinking water) |
| 2.4.2 | Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 174 (Groundwater and drinking water from the surroundings of nuclear facilities) |
| 2.4.3 | Milch und Milchprodukte 176 (Milk and milk products) |
| 2.4.4 | Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 178 (Milk from the surroundings of nuclear facilities) |
| 2.4.5 | Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer 181 (Fish and seafood and fish from inland water) |

| | | |
|------------|--|-----|
| 2.4.6 | Fische und Wasserpflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Fish and aquatic plants from the surroundings of nuclear facilities)</i> | 188 |
| 2.4.7 | Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung <i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i> | 189 |
| 2.4.8 | Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen <i>(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)</i> | 203 |
| 2.5 | Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe <i>(Tobacco products, consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials)</i> | 212 |
| 2.6 | Abwasser und Klärschlamm <i>(Waste water and sewage sludge)</i> | 212 |
| 2.7 | Abfälle <i>(waste)</i> | 220 |
| 2.8 | Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i> | 222 |
| | | |
| III | BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN <i>(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)</i> | |
| 1. | Personendosisüberwachung <i>(Monitoring of personal dose)</i> | 230 |
| 1.1 | Dosimeterüberwachte Personen <i>(Monitoring with personal dosimeters)</i> | 230 |
| 1.2 | Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i> | 234 |
| 2. | Überwachung des fliegenden Personals <i>(Aircraft crew monitoring)</i> | 235 |
| 3. | Überwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhter Radonexposition <i>(Monitoring of radon enhanced workplaces)</i> | 236 |
| 4. | Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen <i>(Incorporation monitoring of occupationally exposed persons)</i> | 236 |
| | | |
| IV | STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i> | |
| 1. | Diagnostische Strahlenanwendungen <i>(Diagnostic applications of radiation)</i> | 238 |
| 1.1 | Röntgendiagnostik <i>(X-ray diagnostics)</i> | 238 |
| 1.2 | Nuklearmedizin, Diagnostik <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i> | 241 |
| 1.3 | Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch diagnostische Maßnahmen <i>(Evaluation of exposures resulting from radio-diagnostic procedures)</i> | 242 |
| 1.4 | Alternative Untersuchungsverfahren <i>(Alternative examination procedures)</i> | 244 |
| 2. | Therapeutische Strahlenanwendungen <i>(Therapeutic applications of radiation)</i> | 245 |
| 3. | Herzschrittmacher <i>(Pacemakers)</i> | 246 |
| 4. | Medizinische Forschung <i>(Medical research)</i> | 246 |
| | | |
| V | UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG <i>(THE HANDLING OF RADIOACTIVE MATERIALS AND SOURCES OF IONISING RADIATION)</i> | |
| 1. | Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i> | 248 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 1.1 | Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive material)</i> | 248 |
| 1.2 | Einfuhrstatistik <i>(Import statistics)</i> | 249 |
| 1.3 | Ausfuhrstatistik <i>(Export statistics)</i> | 251 |
| 1.4 | Genehmigungen und Anzeigen <i>(Licenses and notifications)</i> | 255 |
| 2. | Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transport of radioactive material)</i> | 256 |
| 2.1 | Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe <i>(Overview of transport licenses and the transportation of radioactive material)</i> | 257 |
| 2.2 | Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen <i>(Transport of radioactive material in the rail- and shipping traffic)</i> | 257 |
| 3. | Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, Röntgeneinrichtungen und Störstrahler <i>(Handling of radioactive substances, operation of devices for the production of ionising radiation, X-ray devices and interfering radiation sources)</i> | 260 |
| 3.1 | Anwender radioaktiver Stoffe <i>(Users of radioactive substances)</i> | 260 |
| 3.2 | Bestand radioaktiver Abfälle <i>(Stock of radioactive waste)</i> | 265 |
| 3.3 | Hochradioaktive Quellen (HRQ) <i>(High-activity sealed sources (HASS))</i> | 267 |
| 4. | Meldepflichtige besondere Vorkommnisse <i>(Unusual incidents subject to reporting)</i> | 267 |
| VI | NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG <i>(NON-IONISING RADIATION)</i> | |
| 1. | Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder - Forschung und aktuelle Themen <i>(Electric, magnetic and electromagnetic fields - research and current topics)</i> | 274 |
| 1.1 | Niederfrequente elektrische und magnetische Felder <i>(Low-frequency electric and magnetic fields)</i> | 274 |
| 1.2 | Hochfrequente elektromagnetische Felder <i>(High-frequency electromagnetic fields)</i> | 275 |
| 2. | Optische Strahlung <i>(Optical radiation)</i> | 282 |
| 2.1 | Solares UV-Monitoring <i>(Terrestrial UV-Monitoring)</i> | 282 |
| 2.2 | Forschung <i>(Research)</i> | 283 |
| 2.3 | Zertifizierung von Solarienbetrieben <i>(Certification of solaria)</i> | 284 |

ANHANG ***(ANNEX)***

| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms)</i> | 286 |
| 1.1 | Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i> | 286 |
| 1.2 | Die Messung der Strahlendosen <i>(Measurement of radiation dose)</i> | 287 |
| 1.3 | Äußere und innere Bestrahlung <i>(External and internal radiation exposure)</i> | 288 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 1.4 | Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i> | 289 |
| 1.5 | Induktion bösartiger Neubildungen <i>(Induction of malignant neoplasms)</i> | 290 |
| 1.6 | Risikoabschätzung <i>(Risk assessment)</i> | 291 |
| 1.7 | Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i> | 292 |
| 2. | Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i> | 293 |
| 3. | Glossar <i>(Glossary)</i> | 294 |
| 4. | Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i> | 299 |
| 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> | 303 |
| 6. | Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide <i>(List of radionuclides referred to in the text)</i> | 306 |

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

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

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2007 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis beträgt etwa 4 mSv und ist im Vergleich zum Vorjahr unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2007

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

* Daten von 2005, Auswertungen von 2007

Natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente verursacht durch natürliche radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Bodenstrahlung des natürlichen Radionuklids K-40 sowie der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des U-238 und des Th-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 natürlicher radioaktiver Stoffe mit dem Trinkwasser und der Nahrung. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein mittlerer nomineller Wert von 2,1 Millisievert pro Jahr, wofür insbesondere die Inhalation von Radon in Gebäuden maßgeblich ist. Die Unterschiede der Exposition durch natürliche Strahlenquellen im jährlichen Vergleich sind gering. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie

Bei den Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH im ehemaligen Uranerzbergbauegebiet in Sachsen und Thüringen fallen über Luft und Wasser Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe an, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden in die Umwelt abgeleitet werden. Eine bergbaubedingt erhöhte Radonkonzentration in der bodennahen Luft tritt nur in der unmittelbaren Nähe bergbaulicher Anlagen auf und nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Insgesamt ergibt sich aus den vorliegenden Messergebnissen, dass in den o. g. Uranbergbauegebieten 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 Bergbauegebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide in den Vorflutern. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe (Rn-222 und langlebige Alpha-Strahler) mit Fortluft und Abwasser der untertägigen Grubenfelder im Bereich der Wismut-Sanierungsbetriebe unterliegen je nach Sanierungs- und Witterungsverlauf bestimmten Schwankungen, weisen jedoch insgesamt eine abnehmende Tendenz auf.

Radon in Gebäuden

Der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Radon in Aufenthaltsräumen beträgt in Deutschland ca. 50 Bq/m^3 ; dies entspricht einer mittleren jährlichen effektiven Dosis von ca. $0,9 \text{ mSv}$. In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben beträchtliche regionale Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlicher radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und in geringem Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt radioaktiver Stoffe bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten. Im Berichtsjahr wurden Untersuchungen 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 genauer abschätzen zu können. Bereits bei Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m^3 .

Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird allgemein als gering angesehen. Bei der Untersuchung von im häuslichen Bereich verwendeten Naturwerksteinmaterialien wurde festgestellt, dass in den überwiegenden Fällen diese selbst bei großflächiger Anwendung keine erhöhten Strahlenexpositionen verursachen. Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, industriell gefertigte Baumaterialien zu untersuchen. Dabei wurde nicht nur die Konzentration der natürlichen Radionuklide U-238 bzw. Ra-226, Th-232 sowie K-40 gemessen, sondern auch die Abgabe von Rn-222 aus Baumaterialien berücksichtigt.

Kernwaffenversuche

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

Reaktorunfall von Tschernobyl

Im April 1986 kam es im Atomkraftwerk Tschernobyl zum bisher folgenschwersten Reaktorunfall. In den folgenden Tagen wurden große Mengen Radionuklide in die Atmosphäre freigesetzt und über ganz Europa verteilt. In Deutschland waren vor allem Gebiete in Süddeutschland vom radioaktiven Niederschlag betroffen. Die Bodenkontamination mit Cs-137 erreichte hier bis 100.000 Bq/m^2 .

Im Jahr 2007 nahm die Strahlenexposition infolge des Reaktorunfalls weiter geringfügig ab; die mittlere effektive Dosis betrug weniger als $0,013$ Millisievert. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90% durch die Bodenstrahlung von Cs-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes Radiocäsium für das Jahr 2007 beträgt geschätzt $0,001$ Millisievert. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition um eine Größenordnung höher sein. Insbesondere Wildschweinfleisch überschreitet hier weiterhin häufig den zulässigen Höchstwert der Cs-137-Kontamination von 600 Bq/kg .

Kernteknik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Atomkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und dem Forschungsbergwerk Asse 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 2006 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 2007 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

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

Berufliche Strahlenexposition

Personen, die in Bereichen mit erhöhter Strahlung arbeiten, unterliegen der Strahlenschutzüberwachung. Dies betraf in Deutschland im Jahr 2007 ca. 351.000 Personen.

Der Großteil dieser strahlenexponierten Personen wurde mit Dosimetern überwacht. Die mittlere effektive Dosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 317.000) lag 2007 bei 0,14 Millisievert. Bei ca. 82% der überwachten Personen wurde keine Dosis gemessen. Bei den Überwachten mit einer messbaren Dosis (ca. 57.000 Personen) betrug die mittlere Jahrespersonendosis 0,79 Millisievert (Vorjahr: 0,75 Millisievert).

Seit 1. August 2003 ist Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis nach deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Hiervon waren im Jahr 2007 ca. 34.000 Personen betroffen. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition und ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu. Die mittlere Jahrespersonendosis dieser Beschäftigten betrug 2,3 Millisievert (Vorjahr: 2,2 Millisievert).

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 1991 Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich vertreten durch die kassenärztliche Bundesvereinigung und durch den Verband der privaten Krankenversicherung.

Der Beitrag der medizinischen Strahlenexposition lag im Jahr 2005 bei etwa 1,9 Millisievert pro Einwohner. Die nuklearmedizinische Diagnostik trug etwa 0,1 Millisievert zu dieser Strahlenexposition bei. Der Beitrag der Röntgendiagnostik zur effektiven Dosis durch zivilisatorische Strahlenquellen ist über den Zeitraum 1996 bis 2005 nahezu kontinuierlich angestiegen. Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland hat hingegen über den betrachteten Zeitraum abgenommen, wobei im Jahr 2005 durchschnittlich etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr durchgeführt wurden. Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen auf die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt um etwa 65% im Zeitraum 1996 bis 2005 – zurückzuführen. Die CT trägt zur Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen lediglich etwa 7% bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug ab dem Jahr 2003 jedoch mehr als die Hälfte.

In der Nuklearmedizin sind Schilddrüsen- und Skelettszintigraphie die häufigsten Untersuchungen. 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.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung und Technik

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

Radioaktive Abfälle

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

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 2007 91.077 m³ (Vorjahr: 88.515 m³). Der Bestand an (vernachlässigbar wärmeentwickelnden) Zwischenprodukten und unbehandelten Abfällen belief sich auf 8.541 m³ und 18.506 m³ (Vorjahr: 9.503 m³ und 17.035 m³).

Wie auch im Vorjahr betrug der Bestand konditionierter wärmeentwickelnder Abfälle 544 m³. Ebenfalls wie im Vorjahr waren weitere 61 m³ wärmeentwickelnder Abfälle in unbehandelter Form und 1.252 m³ als Zwischenprodukte zwischengelagert.

Bis zum 31.12.2007 sind in Deutschland 12.490 Tonnen SM (Schwermetall = Uran + Plutonium) in Form bestrahlter Brennelemente angefallen (Vorjahr: 12.122 Tonnen). Davon wurden 6.662 Tonnen zur Wiederaufarbeitung im Ausland abgegeben.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Diese Vorkommnisse werden jährlich in diesem Bericht zusammengefasst. Im Jahr 2007 wurden u. a. bei Durchstrahlungsprüfungen mittels Gamma-radiographiegerät auf Grund fehlerhafter Handhabung zwei Mitarbeiter mit zusätzlichen 0,6 und 0,025 mSv exponiert.

Nichtionisierende Strahlung

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

Für niederfrequente elektrische und magnetische sowie für hochfrequente elektromagnetische Felder wurden basierend auf internationalen Empfehlungen Grenzwerte festgelegt. Diese Grenzwerte beruhen auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Publikationen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben.

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

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Bundesweite Messkampagnen der BNetzA und regionale Messkampagnen einiger Bundesländer zeigten auch 2007, dass die entsprechenden Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige, Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit dem heutigen Freizeitverhalten verbunden. Hier besteht Handlungsbedarf. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2007 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung der Bevölkerung, insbesondere von Kindern und Jugendlichen zu reduzieren.

Hierzu gehört das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen wird die tägliche UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfasst, bewertet und der daraus ermittelte UV-Index im Internet veröffentlicht. Die für das Berichtsjahr 2007 ermittelten Daten wiesen in den Monaten Mai, Juni und Juli in der Mitte Deutschlands Maximalwerte des UV-Index von über acht auf.

Das BfS hat des Weiteren 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 in 2003 ins Leben gerufene freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Bis Ende 2007 haben vier der fünf durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen 166 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Sonnenstudios ist diese Anzahl unbefriedigend. Eine gesetzliche Regelung ist nach Auffassung des BfS geboten.

SUMMARY

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

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

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

The Table below shows the mean radiation exposure of the general public in the Federal Republic of Germany in 2007, broken down into the various sources of radiation. The mean effective dose is about 4 mSv and remained unchanged, compared to the previous year.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2007

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

* according to data from 2005, evaluation from 2007

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 K-40 together with the radionuclides of the natural decay chains of U-238 and Th-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The nominal mean value, calculated on the basis of the dose factors set out in the EURATOM basic safety standards, is 2.1 millisievert per year, resulting in particular from the inhalation of radon in buildings. An annual comparison shows that there are only slight variations in exposure to natural radiation sources. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Mining and industry relics

In the process of remediation works carried out by Wismut GmbH in the former uranium ore mining area in Saxony and Thuringia, radionuclides of the uranium/radium decay chain arise in air and water which are discharged into the environment with permission of the competent authorities. A mining-related increase in the concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; the concentration decreases with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements show the occurrence of above-average radon concentrations in the regions of uranium mining aforementioned 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 in these drainage areas. The discharge of radioactive substances (Rn-222 and long-lived alpha emitters) through the exhaust air and effluents from subsurface mining facilities in areas belonging to the Wismut redevelopment project are subject to certain fluctuations, depending on the course of remediation measures and the weather, but show a decreasing tendency altogether.

Radon in buildings

In Germany, the annual mean value of the radon activity concentration in occupied spaces is about 50 Bq/m³, which corresponds to a mean annual effective dose of about 0.9 mSv. Measurements performed during recent years revealed considerable regional variations in natural radiation exposure, because the concentrations of natural radioactive substances in soil and air differ largely. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure due to the inhalation of radon and its decay products. In the year under report, studies were continued relating to the impact of mining activities and mining relics on the radon concentration in dwellings in the Western Erzgebirge and in a coal-mining area in North Rhine-Westphalia. During the last few years, national and international epidemiological studies were performed in order to obtain estimates of the health risk associated with increased exposures of the general public to radon decay products. A significant increase in lung cancer risk is already observed at radon concentrations above 100 Bq/m³ with a 10% increase per 100 Bq/m³.

Radioactive substances in building materials and industrial products

In general, the influence of radon discharge from mineral building materials is considered to be small. When investigating natural stone building materials used in dwellings it was established that in most cases these building materials do not cause enhanced radiation exposures, even when using them in large areas. In the period under report, one started investigating industrially fabricated building materials, measuring not only the concentration of the natural radionuclides U-238 or, respectively, Ra-226, Th-232, and K-40 but also the discharge of Rn-222 from building materials.

Nuclear weapons testing

Numerous atmospheric nuclear weapons tests were carried out from 1945 to 1980, but since 1981 only underground tests have been performed. One underground nuclear weapon test was conducted in North Korea in October 2006. The general level of environmental radioactivity due to former tests in the atmosphere has steadily decreased since the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty from 1964. At present its contribution to the total of human radiation exposure is less than 0.01 mSv per year.

Chernobyl reactor accident

In April 1984, a reactor accident occurred in the Chernobyl nuclear power plant which has had the most serious consequences so far. In the days following that accident, large amounts of radionuclides were released into the atmosphere and distributed all over Europe. In Germany, mostly areas in Southern Germany were affected by the radioactive fallout. Soil contamination with Cs-137 reached up to 100.000 Bq/m² here.

Radiation exposure resulting from the Chernobyl reactor accident decreased further, albeit marginally, in 2006; the mean effective dose was less than 0.013 millisievert. It amounts to less than one percent of the natural radiation exposure; about 90% of this radiation is caused by Cs-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with food is estimated to have been less than 0.001 millisievert in 2007. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be one order of magnitude higher. In particular the concentration of Cs-137 in wild boar meat still frequently exceeds the maximum value permissible of 600 Bq/kg.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power plants, from the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) and the Asse research mine contributes only insignificantly to the radiation exposure of the population. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the „General Administrative Guideline relating to § 47 of the Radiation Protection Ordinance“ are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 2006. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the German borders to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained again in 2007 below 0.01 millisievert.

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

Occupational radiation exposure

In Germany, all employees who could receive an annual individual dose above 1 millisievert during their occupation are subject to radiation protection monitoring.

The major part of these persons (approx. 317.000) is monitored through personal dosimeters. The average annual individual dose was about 0.14 millisievert in 2007. No effective dose was measured in about 82% of all persons controlled. An average annual individual dose of 0.79 millisievert (preceding year: 0.75 millisievert) was determined for all other cases with a measurable dose (approx. 57.000).

Since August 1, 2003, aircrews who are in an employment according to German Labour Law and who can receive an effective dose of at least 1 mSv per calendar year from cosmic radiation during the flight must be monitored. Aircraft operators determine the dose values of cosmic radiation exposure with computer programs and allocate the individual-related values to their staff. In 2007, this affected approx. 34.000 individuals. The average annual individual dose of these employees amounted to 2.3 millisievert (preceding year: 2.2 millisievert).

Medical applications

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

In 2004, medical applications contributed about 1.9 millisievert per inhabitant, of which about 0.1 millisievert was due to nuclear medical diagnostic procedures. There was an almost continuous rise in the contribution made by X-ray diagnostics to the effective dose from man-made radiation sources from 1996 to 2005. However, the frequency of X-ray examinations conducted during this period in Germany decreased, and about 1,6 X-ray examinations were carried out per inhabitant and year in 2005. The rise in effective dose is mostly due to the steady increase of computerised tomography (CT) amounting to about 65 per cent from 1996 to 2005. CT has a share of only 7 per cent in the total frequency of X-ray diagnostics but, from 2003, contributed more than half to the collective effective dose.

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

In radiotherapy, the use of newly developed exposure techniques and improved exposure planning enable the optimisation of the required therapeutic dose to be administered to the treated body region (tumour dose), while simultaneously limiting the level of radiation exposure to the remaining parts of the body.

The handling of radioactive substances in research and technology

The use of ionising radiation and radioactive substances for technological and research purposes has not changed in comparison to the preceding year. The radiation exposure to individuals and the population as a whole from mechanical devices is limited by the stipulations of the X-Ray Ordinance and the Radiation Protection Ordinance and this is kept as low as reasonably achievable. The mean contribution to population exposure from the handling of radioactive substances in research and technology 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, primary waste and decay waste, and the accumulation and amount of conditioned radioactive waste is determined.

On 31 December 2007, the amount of radioactive waste (with negligible heat generation) in a suitable state for long-term disposal was 91.077 m³ (preceding year: 88.515 m³). The amount of intermediate products (with negligible heat generation) and untreated waste was 8.541 m³ and 18.506 m³ (preceding year 9.503 m³ and 17.035 m³).

As in the preceding year, the amount of conditioned heat-generating waste in Germany was 544 m³. Likewise as in the preceding year, another 61 m³ heat-generating, untreated waste and 1.252 m³ intermediates were subject to interim storage. A total of 12.490 tons HM (heavy metal = uranium + plutonium) of spent fuel elements was produced up to 31 December 2007 (preceding year: 12.122 tons), of which 6.662 tons HM were delivered abroad for reprocessing.

Radiation accidents and exceptional events

Due to the stringent provisions of the radiation protection law, radiological emergencies involving persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. These events are summarised in this report on an annual basis. In 2007, among others, two employees were exposed to additional 0.6 and 0.025 mSv in the course of radiation tests by means of a gamma radiography device due to faulty handling.

Non-ionising radiation

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

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

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

Compliance with the limits for fixed high-frequency installations is controlled according to telecommunications regulations by the Federal Network Agency (Bundesnetzagentur – BNetzA). Nationwide measuring campaigns conducted by the BNetzA, and regional measurement campaigns undertaken in several states revealed in 2007, too, that the values registered in areas available to the public are far below the legal limit values.

UV-exposure of the public is continuously increasing due to the modern leisure behaviour in the sun and because of the use of so-called spa-areas offering tanning in solariums. At the same time there is an alarming increase in the incidence of skin cancer related to this leisure behaviour. There is need for action. The Federal Office for Radiation Protection (BfS) therefore continued in 2007 to campaign for the implementation of measures designed to reduce the UV exposure of the population, in particular of children and youth.

This includes the UV monitoring conducted by BfS and the Federal Environment Agency (UBA) since 1993. In cooperation with 5 associated institutions the daily solar UV radiation is continually registered and assessed, and the UV-index is published on the internet. The data established for the reported year 2007 showed a maximum UV index of over eight in the central part of Germany from May to July.

Furthermore, BfS has established general criteria for a minimum standard designed to protect solarium customers from excessive UV exposure and thus from severe health risks. These criteria are the basis for the voluntary certification procedure for solariums launched in 2003. Four of the five certification bodies accredited by BfS certified 166 solariums until the end of 2007. In view of the total number of solariums these figures are unsatisfying. In the opinion of BfS there is a need for a legal regulation.

RÉSUMÉ

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

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

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

Le tableau ci-dessous montre la moyenne d'exposition aux rayonnements de la population de la République Fédérale d'Allemagne en 2007 selon les différentes sources d'exposition. Comparée aux années précédentes, la dose effective moyenne reste inchangée; elle s'élève à environ 4 mSv.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2007

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

* selon les données de 2005, évaluation de 2007

Sources naturelles de rayonnements

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par des substances radioactives naturelles dans l'environnement. La contribution externe est due essentiellement à l'exposition dans l'air et dans le sol du radioisotope naturel potassium-40, ainsi qu'aux radionucléides ressortant des chaînes de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation du gaz rare naturel de radon et de ses produits de filiation, et partiellement par l'absorption de substances radioactives naturelles contenues dans l'eau potable et la nourriture. La part des sources naturelles de rayonnements contribuant à la dose effective annuelle varie entre 1 et 6 millisievert. La valeur moyenne nominale, calculée à partir des facteurs de dose définis dans les normes de base d'EURATOM, est de 2,1 millisievert par an, dont la source est principalement le radon à l'intérieur de maisons. L'exposition naturelle aux rayonnements ne varie que fai-

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

Vestiges miniers et industriels

Les travaux d'assainissement que la société Wismut GmbH est en train d'effectuer dans l'ancienne région d'extraction de minerai d'uranium en Saxe et Thuringe font naître des radionucléides de la chaîne de désintégration de l'uranium/du radium. Ces radionucléides dont les administrations compétentes ont autorisé l'évacuation dans l'environnement sont observés dans l'air et dans les eaux. Une concentration élevée du radon dans l'air respirable au-dessus du sol, provenant des mines, n'a été observée que dans l'environnement proche des installations minières, le taux diminuant rapidement avec la distance. Il résulte des mesures que les concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières de l'exploitation de l'uranium ci-dessus, alors que les concentrations élevées sont également observées dans des régions avec une géologie comparable, donc apparemment d'origine naturelle. L'évacuation de l'uranium, du radium et de leurs produits de désintégration provenant des mines dans les canaux émissaires des régions minières n'a aucune influence, ou seulement une influence négligeable sur le niveau naturel de ces radionucléides dans les canaux émissaires. Le taux de substances radioactives (le radon-222 et les émetteurs alpha à vie longue) évacués par l'air vicié et les eaux usées provenant des installations minières souterraines dans la région des projets d'assainissement de la Wismut varie selon les influences météorologiques et le progrès de l'assainissement, mais dans l'ensemble il présente une tendance décroissante.

Le radon dans les bâtiments

La valeur moyenne annuelle de la concentration d'activité du radon dans les chambres et les salles de séjour s'élève à 50 Bq/m^3 , ce qui est équivalent à une dose effective moyenne de $0,9 \text{ mSv}$ par an. Les mesures effectuées aux cours des dernières années ont mis en évidence des différences régionales considérables quant à l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et dans l'air. La construction de bâtiments sur un terrain à teneur élevée en uranium et en radium et, dans une moindre mesure, l'utilisation de matériaux de construction, à teneur élevée en substances radioactives naturelles, ont provoqué une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due à l'inhalation du radon et de ses produits de filiation. Durant l'année du rapport, on a poursuivi les investigations sur l'influence des activités minières et des vestiges miniers sur la concentration de radon dans les bâtiments situés dans l'ouest des monts Métallifères et dans une région houillère en Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Des études épidémiologiques nationales et internationales ont été effectuées ces dernières années afin d'estimer le risque pour la santé de la population résultant des expositions élevées aux produits de filiation du radon. Pour toute concentration de radon dépassant 100 Bq/m^3 on constate une augmentation significative du risque du cancer du poumon, qui s'élève à environ 10% par 100 Bq/m^3 .

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

Il est généralement estimé que le radon provenant des matériaux de construction minéraux n'a qu'une faible influence sur l'exposition de la population. L'examen de pierres naturelles qui sont utilisées pour la construction de bâtiments a révélé que ce matériel ne cause pas d'exposition élevée dans la plupart des cas, même s'il est utilisé pour des surfaces étendues. Au cours de l'année du rapport les experts ont commencé à examiner des matériaux de construction produits industriellement. Ils n'ont pas seulement mesuré la concentration des radionucléides naturels uranium-238 ou radium-226, thorium-232 et potassium-40 mais ils ont aussi tenu compte du radon-222 provenant des matériaux de construction.

Essais d'explosions nucléaires

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

Accident du réacteur de Tchernobyl

En avril 1986 le plus grave accident de réacteur constaté jusqu'à présent est survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl. Dans les journées suivantes, une grande quantité de radionucléides a été dégagée dans l'atmosphère et s'est répandue sur toute l'Europe. En Allemagne c'étaient surtout les régions du Sud qui ont souffert des retombées radioactives. La contamination en Cs-137 des sols y atteignait jusqu'à 100.000 Bq/m^2 . En 2007, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer faiblement; la dose effective moyenne était en dessous de $0,013 \text{ millisievert}$. Elle était ainsi largement inférieure à un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturelle, et résulte d'environ 90% de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2007, la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, est estimée à $0,001 \text{ millisievert}$. En Allemagne du Sud, cette exposition peut atteindre $0,01 \text{ millisievert}$. Dans cette région, c'est surtout la contamination en Cs-137 de la viande de sanglier qui surpasse souvent la valeur maximale autorisée de 600 Bq/kg .

Technique nucléaire

L'émission de matières radioactives, provenant des installations nucléaires, de l'ancien dépôt final de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM) et de la mine souterraine de recherche d'Asse n'a augmenté l'exposition aux rayonnements de la population que d'une façon insignifiante. Les valeurs maximales des émissions de l'exposition aux rayonnements pour les individus, déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 47 du Décret sur la Protection contre les rayonnements (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restées inférieures aux limites de dose fixées par le Décret sur la protection contre les rayonnements. De manière générale, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2006. Aussi en 2007, les installations nucléaires internes, ainsi que celles des pays voisins, contribuent pour une part inférieure à 0,01 millisievert par an à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne.

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

Exposition professionnelle aux rayonnements

En Allemagne, tous les employés qui pourraient obtenir une dose individuelle dépassant 1 millisievert par an au cours de leur activité professionnelle sont soumis à une surveillance visant à la protection radiologique. La plus grande part de ces personnes (environ 317.000) sont surveillées à l'aide de dosimètres individuels. La dose individuelle moyenne était d'environ 0,14 millisievert par an en 2007. Pour environ 82% des personnes surveillées, n'a aucune dose individuelle a été mesurée. Les personnes surveillées chez lesquelles une dose a pu être constatée (environ 57.000) ont présenté une dose individuelle moyenne de 0,79 millisievert (2006 : 0,75 millisievert). Depuis le 1er août 2003, le personnel navigant employé selon la législation du travail allemande et susceptible de recevoir une dose effective d'au moins 1 millisievert par année civile due aux rayonnements cosmiques est soumis à surveillance. Les opérateurs d'avions calculent les doses dues aux rayonnements cosmiques à l'aide de programmes informatiques afin d'attribuer la dose respective à chaque employé. En 2007, environ 34.000 personnes étaient affectées par cette réglementation. Leur dose individuelle moyenne s'élevait à 2,3 millisievert par an (2006 : 2,2 millisievert).

Application médicale

La plus grande part de la dose effective moyenne due à l'exposition artificielle aux rayonnements provient de l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants en médecin. De fait, l'Office fédéral de radioprotection (BfS) collecte et analyse des données sur l'exposition médicale aux rayonnements en Allemagne depuis 1991. Les sources de données les plus importantes sont les organismes payeurs, représentés surtout par les fédérations de caisses d'assurance maladie.

La part de l'exposition aux rayonnements des applications médicales s'élevait en 2005 à environ 1,9 millisievert par habitant. En médecine nucléaire, les diagnostics représentaient environ 0,1 millisievert de cette exposition. La part des diagnostics radiographiques dans la dose effective due aux sources d'exposition artificielle aux rayonnements a augmenté presque continuellement de 1996 à 2005. La fréquence des examens radiographiques en Allemagne a néanmoins baissé durant cette période; en moyenne, environ 1,6 examens radiographiques par habitant et par an ont été réalisés en 2005. On a constaté que l'augmentation de la dose résulte pour l'essentiel de la hausse constante des examens de scanographie (scanner), représentant une hausse totale d'environ 65% de 1996 à 2005. Bien que l'examen du scanner ne représente qu'environ 7% des examens radiographiques comparé à la fréquence totale, sa part dans la dose effective collective d'exposition constituait cependant plus de la moitié depuis 2003.

En médecine nucléaire, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. L'utilisation des anticorps monoclonaux marqués par radionucléides devient plus importante dans le cadre du diagnostic de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que dans la thérapie des tumeurs. De même, la tomographie à émission de positrons (PET) acquiert une plus grande importance dans les procédures d'examens en médecine nucléaire, car cette procédure a une grande signifiante diagnostique et en plus, de nouveaux radiotraceurs spécifiques sont disponibles. Les opérateurs de la tomographie à émission de positrons estiment donc que ces examens seront plus fréquents dans les années à venir.

En radiothérapie, grâce à l'application de nouvelles méthodes d'exposition, et à de meilleures techniques de prévision de l'exposition, on peut parvenir à optimiser l'administration de la dose thérapeutique nécessaire sur la partie du corps à traiter (dose de tumeur), tout en limitant l'exposition aux rayonnements des autres parties du corps.

Manipulation de substances radioactives dans la recherche et la technique

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

radiologique de la population fournie par l'application de substances radioactives dans la recherche et la technique est inférieure à 0,01 millisievert par an.

Déchets radioactifs

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

Au 31 décembre 2007, le stock de déchets radioactifs (dont le développement de chaleur est négligeable) propres au stockage définitif était de 91.077 m³ (2006: 88.515 m³). Le stock de produits intermédiaires et déchets non-traités (dont le développement de chaleur est négligeable) était de 8.541 m³ et de 18.506 m³ (1006: 9.503 m³ et 17.035 m³).

Comme en 2006, le stock de déchets radioactifs conditionnés développant de la chaleur s'élevait à 544 m³. Comme en 2006, aussi, d'autres 61 m³ de déchets développant de la chaleur étaient entreposés en état non-traité et 1.252 m³ étaient entreposés en tant que produits intermédiaires. 12.490 tonnes de métal lourd (métal lourd = uranium + plutonium) ont été produits en Allemagne jusqu'au 31 décembre 2007 en tant qu'éléments combustibles nucléaires irradiés, dont 6.662 tonnes de métal lourd étaient transmis au retraitement à l'étranger.

Accidents et incidents radiologiques

Grâce aux dispositions juridiques strictes en matière de radioprotection, rares sont les incidents soumis à déclaration impliquant des personnes en contact avec des rayonnements ionisants et matières radioactives. Le présent rapport rassemble ces incidents chaque année. Au cours de l'année 2007, deux employés étaient soumis à une exposition supplémentaire de 0,6 et 0,025 mSv pendant des contrôles gammagraphiques à cause d'un maniement incorrect du dispositif.

Rayonnements non ionisants

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

Pour les champs électriques et magnétiques de basse fréquence et pour les champs électromagnétiques de haute fréquence, des valeurs limites ont été fixées sur la base de recommandations internationales. Elles sont fondées sur les risques pour la santé prouvés au cours de recherches scientifiques et tiennent compte de toutes les publications scientifiques disponibles. Les valeurs limites actuelles applicables aux installations fixes à basse et à haute fréquence sont définies dans le 26^e règlement sur la mise en place de la loi fédérale sur le contrôle des immissions (Décret sur les champs électromagnétiques – BImSchV).

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

L'agence fédérale des réseaux (Bundesnetzagentur – BNetzA) surveille le respect des valeurs limites pour les installations fixes à haute fréquence en se référant aux règlements législatifs pour la télécommunication. Les campagnes de mesures réalisées par l'agence fédérale des réseaux à l'échelle nationale ainsi que les campagnes régionales de certains Länder ont montré en 2007 que les valeurs mesurées dans les domaines accessibles au public restent nettement inférieures aux limites.

Par ailleurs, on constate un accroissement continu de l'exposition aux rayonnements UV de la population due au comportement du public pendant son temps libre passé au soleil, ainsi que dans l'utilisation des zones de relaxation avec solariums. Ce comportement actuel a engendré une croissance inquiétante du cancer de la peau. Il est important d'agir. C'est la raison pour laquelle l'office fédéral de radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz – BfS) s'est engagé aussi en 2007 à mettre en place des mesures visant à réduire l'exposition aux rayonnements UV pour la population, surtout des enfants et des adolescents.

Ces mesures comprennent la surveillance du rayonnement UV établie en Allemagne depuis 1993 par le BfS et l'agence allemande de l'environnement (Umweltbundesamt – UBA). En coopération avec cinq institutions associées, le rayonnement UV du soleil est enregistré et évalué quotidiennement, puis l'index UV en résultant est publié sur internet. Les données enregistrées durant l'année de référence 2007 montrent des valeurs maximales pour l'index UV supérieures à huit au cours des mois de mai, juin et juillet dans les régions du centre de l'Allemagne.

En plus, l'office fédéral de radioprotection (BfS) a défini des critères visant à mettre en place un standard minimum afin de protéger les clients de solariums d'une exposition trop élevée aux rayonnements UV, les mettant ainsi à l'abri d'un trop grand risque pour la santé. Ces critères constituent la base d'un procédé de certification volontaire pour les solariums qui a été introduit en 2003. Sur les cinq instances de certification autorisées par le BfS, quatre ont certifié 166 solariums jusqu'à la fin 2007. En considérant le nombre total de solariums le taux de certification reste tout à fait insuffisant. Une réglementation législative nous paraît indispensable.

**TEIL A
ALLGEMEINE ANGABEN**

(GENERAL INFORMATION)

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

Überwachung der Umwelt

Die Freisetzung von Radioaktivität durch die oberirdischen Atomwaffenversuche ab 1945 lieferte einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung mit der Folge, dass schon in den 50er Jahren von der Bundesrepublik Deutschland Messsysteme zur Umweltüberwachung aufgebaut wurden:

- 1955 wurde der Deutsche Wetterdienst (DWD) gesetzlich verpflichtet, die Atmosphäre auf „radioaktive Beimengungen“ und deren Ausbreitung zu überwachen.
- Mit Artikel 35 des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) vom 25. März 1957 wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, die notwendigen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser und Boden sowie zur Überwachung der Einhaltung der Strahlenschutz-Grundnormen zu schaffen. Artikel 36 des Euratom-Vertrages verpflichtet zur regelmäßigen Berichterstattung über die aktuelle Umweltradioaktivität.
- 1960 wurden in Vereinbarungen zwischen dem zuständigen Bundesressort (Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft) und den Ländern die Grundzüge der Überwachungsmaßnahmen festgelegt, die im Wesentlichen noch heute gültig sind. Die Verpflichtungen aus Artikel 35 und 36 des Euratom-Vertrages werden mittels der amtlichen Radioaktivitätsmessstellen des Bundes und der Länder erfüllt.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 war Anlass, die Zuständigkeiten für die Umweltüberwachung neu zu regeln und das rechtliche Instrumentarium zur Schadensbegrenzung zu ergänzen. Ziel des daraufhin verabschiedeten Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom 19. Dezember 1986 ist es, zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und im Falle von Ereignissen mit radiologischen Auswirkungen die radioaktive Kontamination in der Umwelt und die Strahlenexposition des Menschen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten.

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

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

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

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden hierin umfangreichere Radioaktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung als zusätzliche Aufgabe die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder umgesetzt. Die Messaufgaben sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von 1993 festgesetzt.

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

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

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

| | |
|---|---|
| Deutscher Wetterdienst , Zentralamt Offenbach am Main | Messung von Luft und Niederschlag, Ausbreitungsprognose, Spurenanalyse |
| Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig | Spurenanalyse, Bereitstellung von Aktivitätsnormalen |
| Bundesanstalt für Gewässerkunde , Koblenz | Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment |
| Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie , Hamburg | Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment |
| Johann Heinrich von Thünen-Institut , Institut für Fischereiökologie, Hamburg | Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton |
| Max-Rubner-Institut , Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Kiel | Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft |
| Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt | Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe 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, Zusammenfassung 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 Bergbaugebiete 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 Seelingstädt (Thüringen) sowie Crossen (Sachsen) gehören.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Hinterlassenschaften aus der Industrie

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

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

1. Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

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

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

Literatur

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

2.2 Radon in Gebäuden
(Radon in buildings)

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

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

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

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

Regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Gebäuden werden vor allem durch das Radonangebot des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

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

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

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

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



Literatur

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

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

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

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

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

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

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [1] die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) darf in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Diese Richtlinie wird mit dem Bauproduktengesetz [2] umgesetzt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [3] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt. Die natürliche Radioaktivität in Baumaterialien wird in dieser Norm berücksichtigt soweit sie in notifizierten Regelungen der Mitgliedstaaten begrenzt ist.

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

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

(Fortsetzung Tabelle)

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

(Fortsetzung Tabelle)

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

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)
- [2] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106 EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. I S. 149)
- [3] Europäische Kommission, Mandat M/366 EN concerning the execution of the standardisation work for the development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive, Brüssel, 16. März 2005

II KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

(ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN THE ENVIRONMENT)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max-Rubner-Institut

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

**1.1 Kernwaffenversuche
(Nuclear weapons tests)**



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

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

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

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

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

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

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

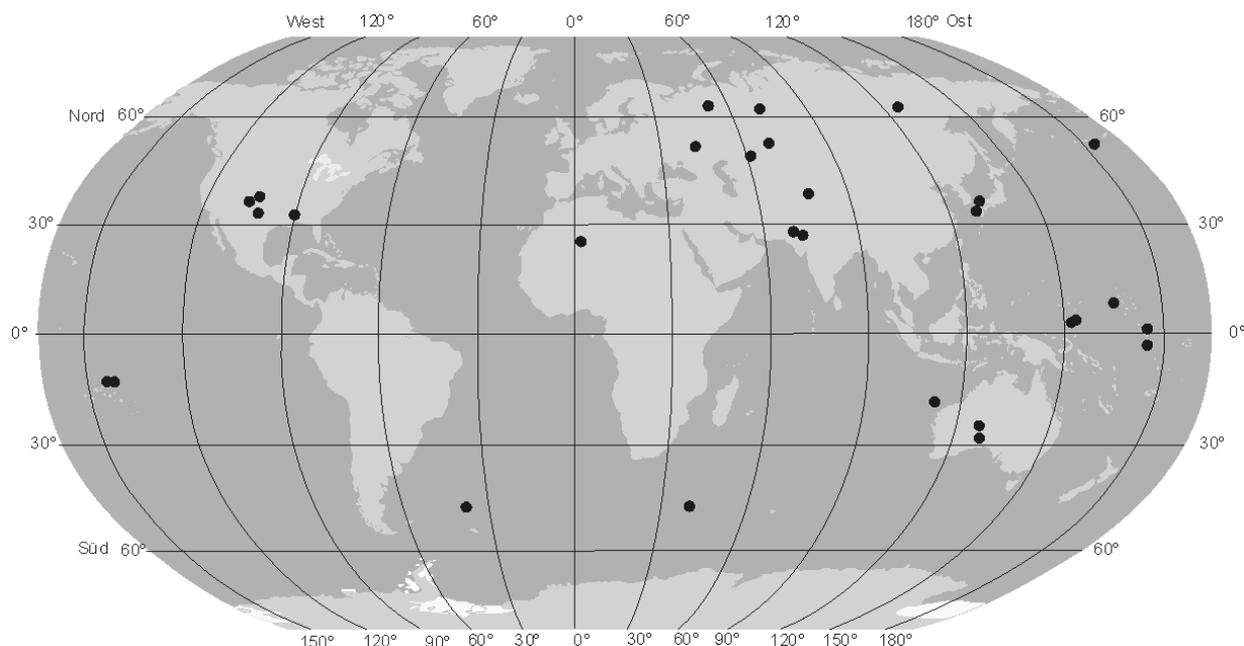


Abbildung 1.1-1 Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (nach UNSCEAR)
(Locations of nuclear explosions to date - data of UNSCEAR)

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

Derzeit trägt mit 30 Jahren Halbwertszeit nur noch Cäsium-137 (Cs-137) nennenswert zur Strahlenbelastung bei. Dieser Beitrag ist hauptsächlich auf die Bodenstrahlung zurückzuführen. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist dagegen mit $< 0,001$ mSv/a gering. Die Strahlenexposition durch Bodenstrahlung beträgt zurzeit (2006) bei einer mittleren Bodenkontamination von 3400 Bq/m^2 im Freien noch etwa $15 \mu\text{Sv}$, in Gebäuden etwa $2 \mu\text{Sv}$. Dies ergibt bei einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden im Freien und einem Abschirmfaktor von 0,15 in Gebäuden eine durchschnittliche Strahlenexposition von ca. $5 \mu\text{Sv}$ (zum Vergleich: 1986 ca. $70 \mu\text{Sv}$, siehe Tabelle 1.2-1). In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, z. B. in hoch kontaminierten Gebieten im Bayerischen Wald, kann die Jahresdosis bei einer Bodenbelegung von 70.000 Bq/m^2 [1] nach wie vor $90 \mu\text{Sv}$ erreichen. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil A - I - 1) beträgt im Vergleich dazu im Mittel $400 \mu\text{Sv}$ pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

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

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

- a) Im Münchener Raum um etwa den Faktor 4, im Berchtesgadener Raum und anderen hoch belasteten Gebieten um etwa den Faktor 10 höher; dies gilt in etwa auch für die folgenden Jahre
- b) In Bayern um etwa den Faktor 4, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
- c) In Bayern um etwa den Faktor 3, in Südbayern um etwa den Faktor 6 höher
- d) Die regionalen Unterschiede sind nicht mehr so stark ausgeprägt wie in den Vorjahren
- e) Die mittlere effektive Dosis wird ab 1991 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des deponierten Cs-137 verursacht

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland zurzeit eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis von weniger als 15 μSv . Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90% durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren nur langsam zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2.100 μSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering.

Literatur

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

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

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



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

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

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Atomkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren).

Die Messprogramme gliedern sich in die Teile „Überwachungs- und Bilanzierungsmessungen des Betreibers“ und „Kontrolle der Bilanzierungsmessungen des Betreibers durch einen unabhängigen Sachverständigen“. Dabei hat der Betreiber einer kerntechnischen Anlage sämtliche Ableitungen von Radionukliden zu erfassen und zu bilanzieren, um eine Grundlage für die Beurteilung der Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage zu schaffen. Die von den Betreibern vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich eingeschalteter Sachverständiger (Landesmessstellen, Bundesamt für Strahlenschutz) entsprechend der Richtlinie zur „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Atomkraftwerken“ überprüft. Betreiber und Sachverständige sind gehalten, zur internen Kontrolle der Messqualität an vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführten Ringvergleichen teilzunehmen.

Die Überwachung der Emissionen wird ergänzt durch die Überwachung der Immissionen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Auch bei der Umgebungsüberwachung ist ein Messprogramm vom Betreiber der Anlage und ein ergänzendes und kontrollierendes Programm von unabhängigen Messstellen durchzuführen. Diese Überwachungsprogramme sind für die jeweilige kerntechnische Anlage unter Berücksichtigung örtlicher und anlagenspezifischer Gegebenheiten zu erstellen. Für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse in der Umgebung von Atomkraftwerken sind die für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bedeutsamen meteorologischen Einflussgrößen gemäß der KTA-Regel 1508 (Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre) zu messen und zu registrieren. Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung dienen der Beweissicherung, der Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte im bestimmungsgemäßen Betrieb sowie zur Beurteilung von Störfallauswirkungen.

Über diese Überwachungsprogramme hinaus verfügt die atomrechtliche Aufsichtsbehörde mit der Kernreaktor-Fernüberwachung über ein System zur laufenden Kontrolle sicherheitsrelevanter Betriebs-, Emissions- und Immissionsdaten, um sich von der Einhaltung der den Strahlenschutz betreffenden rechtlichen Verpflichtungen der Betreiber zu überzeugen.

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen und dem Endlager Morsleben sind in Teil B - II -1.3.1 zusammengefasst.

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

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

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

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

Überwachung der Umweltradioaktivität

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

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

Die Länder ermitteln in ihren ca. 50 Messlabors die Radioaktivität

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nachweisgrenzen bei radiometrischen Verfahren

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

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

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

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

Literatur

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

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

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

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

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

Das Radioaktivitätsmessnetz des DWD umfasst 40 Messorte. Dort werden nuklidspezifisch messende Gamma-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der aerosolpartikelgebundenen Radionuklide und Messgeräte zur Erfassung der schwebstoffgebundenen künstlichen Alpha- und der künstlichen Beta-Aktivität sowie Probeentnahmesysteme 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 Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt 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) (¹⁴CO₂-Anteil) und Tritium (H-3). Auf Grund der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Radionuklide zur Strahlendosis ist die Kenntnis der Nuklidzusammensetzung innerhalb der einzelnen Gruppen erforderlich. Hierzu werden Einzelnuclidbestimmungen für die Edelgase und die an Schwebstoff gebundenen Radionuklide durchgeführt. Letztere beinhalten neben den gammaspektrometrisch erfassbaren Radionukliden auch die Betastrahler Strontium-89 (Sr-89) und Sr-90 sowie die Alphastrahler Plutonium-238 (Pu-238), -239 und -240, Americium-241 (Am-241) und Curium-242 (Cm-242) und -244.

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

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



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

Meerwasser

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

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



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

- Globaler Fallout aus den atmosphärischen Kernwaffentests der 50er und 60er Jahre,
- Ableitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen in Sellafield (UK) und La Hague (F),
- Fallout aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 und
- Ableitungen aus kerntechnischen Einrichtungen wie Atomkraftwerken und Forschungsreaktoren.

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen für Kernbrennstoffe La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See die Aktivitätskonzentration künstlicher Radionuklide in der Nordsee. Diese Kontaminationen werden von Meeresströmungen in andere Meeresgebiete verfrachtet und konnten dort auch über Entfernungen von mehreren tausend Kilometern nachgewiesen werden. Entsprechend der langen Transportzeiten sind nur langlebige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als ein Jahr von Interesse. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee bestimmt.

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

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

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch den Tschernobyl-Unfall eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Boden-

schicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen und den Ein- und Ausstromereignissen durch die Beltsee. Der zeitliche Verlauf schwankt weniger stark im Bereich der Arkonasee, wo der Ein- und Austrom weniger deutlich zum Ausdruck kommt. Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen. Inzwischen nimmt 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.

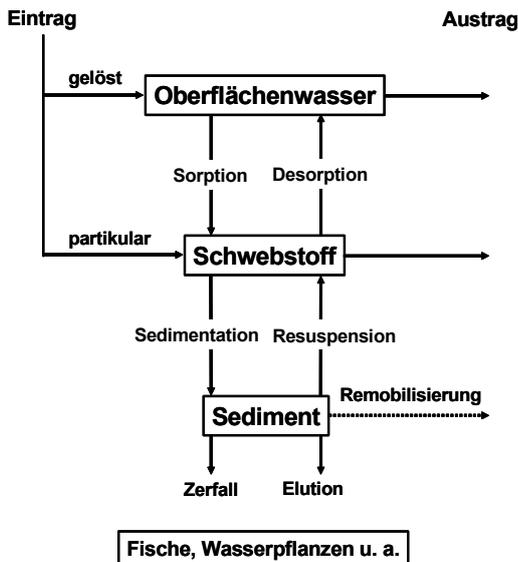


Abbildung 2.2-1
Vereinfachtes Modell zum Austausch und Transportverhalten
von radioaktiven (und anderen) Stoffen in Fließgewässern
(Simplified model to the change and transport behavior of radioactive (and other) substances in rivers)

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 Radionuklidkonzentri- onen 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- besondere 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 Probenahmeor- ten Rein- und Rohwasserproben analysiert.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden ist in Grund- und Trinkwasser wesentlich niedriger als in pflanzlichen Nahrungsmitteln und im Boden. Die Radionuklidkonzentrationen der beiden Gammastrahlung emittierenden Nuklide Co-60 und Cs-137 liegen bei Grund- und Trinkwasser sehr häufig unterhalb der durch das gammasspektrometrische Messverfahren bedingten Nachweisgrenze von ca. 0,003 Bq/l. Andererseits können die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide K-40, Sr-90 und H-3 mit hohem radioanalytischen Aufwand bestimmt werden. 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 des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) 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 T₁, danach eine längere effektive Halbwertszeit T₂ 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, pharmaceutical products 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 Trinkwässer 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 Abfälle (waste)

Bei vielen häuslichen, kommunalen und gewerblichen Tätigkeiten, industriellen und sonstigen technischen Prozessen einschließlich Verbrennungsvorgängen fallen Reststoffe oder 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. 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 Abfälle untersucht, die von radioökologischer Bedeutung sein können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Flugaschen / Filterstäube aus Klärschlamm- und Müllverbrennungsanlagen sowie die in diesen Anlagen bei der Rauchgasreinigung anfallenden Schlämme zu berücksichtigen. In den bei der Verbrennung von Klärschlamm anfallenden Flugaschen findet eine sehr starke weitere Aufkonzentrierung fast aller im Klärschlamm enthaltenen Radionuklide statt. Dies zeigten die Messergebnisse an Filterstäuben in Berliner Klärschlammverbrennungsanlagen nach dem Atomkraftwerksunfall in Tschernobyl, vgl. hierzu Kap. 2.6 und die dort zitierte Literatur.

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

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



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

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

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



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

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

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

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

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

1. Personendosisüberwachung (Monitoring of body dose)

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



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

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

2. Überwachung des fliegenden Personals (Aircraft 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 Uranzerfallsreihe 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 - III - 4 dieses Berichts enthalten.



IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat die Europäische Union in der Richtlinie 97/43/EURATOM die Mitgliedsstaaten verpflichtet, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Strahlenschutzverordnung und die Röntgenverordnung, die im Jahre 2002 zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wurde, übertragen diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den Status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.



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

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Monitor 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 fahren, 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 es erlaubt 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 |
| Angiographie 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 speziell entwickelten radioaktiven Substanzen, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers mit hoher räumlicher Auflösung bildlich darzustellen. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das (gegebenenfalls in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT)) die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Erhebung der medizinischen Strahlenexposition

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

Voraussetzung 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 neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 und der überarbeiteten Regelungen der Röntgenverordnung im Jahr 2002 wurde die rechtliche Basis für verschiedene Maßnahmen geschaffen, die das Ziel haben, die medizinische Strahlenexposition zu reduzieren und den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern.

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

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

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

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

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch die mögliche Korrektur von Fehlbelichtungen oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels „Last Image Hold“. 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 einzeitig oder in wenigen hochdosierten Fraktionen, wie auch die IMRT (intensitätsmodulierte Radiotherapie), die es ermöglicht, die Strahlendosis innerhalb eines Bestrahlungsfeldes zu verändern (modulieren). Für die Patienten bedeutet das, dass sich die Heilungschance erhöht, während unerwünschte Nebenwirkungen der Bestrahlung am gesunden Gewebe seltener sind. Dabei ist eine ständige Qualitätskontrolle in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen, so genannte ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megaelektronvoltbereich 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 I-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Weitere wichtige Anwendungen der nuklearmedizinischen Therapie sind

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

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um die Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Die Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) gibt Leitlinien heraus, die neben Empfehlungen zur klinischen Qualitätskontrolle in der Diagnostik auch Empfehlungen für die nuklearmedizinische Therapie beinhalten.

Gegebenenfalls sind aktuelle Daten in Teil B - IV - 2.2 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 - IV - 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 Strahlenschutzverordnung 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 Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 Röntgenverordnung neu geregelt (§ 28 a-g RöV).

Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) schützen Probanden, bei denen im Rahmen der medizinischen Forschung radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) angewendet werden, in besonderer Weise durch die Genehmigungspflicht.

Die Genehmigungspflicht besteht

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

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

Da sich im Rahmen der Antragstellung bzw. des Genehmigungsverfahrens Fragen bezüglich der Genehmigungsbedürftigkeit der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung im Rahmen geplanter Studien ergaben, wurde vom BfS ein „Voranfrageverfahren“ zur Genehmigungsbedürftigkeit nach StrlSchV bzw. RöV geplanter Forschungsvorhaben etabliert, das auf breite Resonanz gestoßen ist.



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

4.1 **Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung nach § 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 nach § 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.

Eine Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der Forschung ist dann gegeben, wenn ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der medizinischen Krankenversorgung (rechtfertigende Indikation) durchgeführt und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungsbedürftig.

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

Rechtsgrundlagen

Nach § 3 Atomgesetz (AtG) bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung bzw. die Anwendbarkeit des Anzeigeverfahrens bei der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe sind in den §§ 19-22 der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714) (StrlSchV) festgelegt. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für die Genehmigung der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen ist nach §23 Abs. 1 AtG das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig. Großquellen im Sinne des Atomgesetzes sind radioaktive Stoffe, deren Aktivität je Beförderungs- oder Versandstück den Aktivitätswert von 1000 Terabecquerel übersteigt.

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

Verfahren

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

Kernbrennstoffe

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Ausfuhr von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die Einfuhr ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist. In diesen Fällen besteht lediglich eine Anzeigepflicht (vgl. § 20 Abs.3 StrlSchV).

Sonstige radioaktive Stoffe, radioaktive Abfälle

Der Regelungsbereich des § 19 StrlSchV beschränkt sich auf die Einfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe in den Geltungsbereich dieser Verordnung aus einem Nicht-EU-Staat und die Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe aus dem Geltungsbereich dieser Verordnung in einen Nicht-EU-Staat.

Die Einfuhr ist nach § 20 Abs. 1 StrlSchV nur anzeigepflichtig - nicht genehmigungspflichtig -, sofern der Empfänger in der Bundesrepublik Deutschland eine Umgangsgenehmigung für sonstige radioaktive Stoffe entsprechend § 7 StrlSchV besitzt. Die Ausfuhr ist bis zum 10^8 -fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 20 Abs. 2 StrlSchV), oberhalb dieser Grenze ist sie genehmigungspflichtig.

Die dargestellten Genehmigungs- und Anzeigevorbehalte gelten gemäß § 21 StrlSchV nicht für Stoffe, die in der Anlage I (genehmigungsfreie Tätigkeit) Teil B Nr. 1 bis 6 genannt sind.

Hochradioaktive Strahlenquellen

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

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird der zuständigen Zolldienststelle vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben übereinstimmend sind. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA übersandt wird. Mit der Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung sonstiger radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung und die Anzeigen wurden dem BAFA direkt zugeleitet. Mit dem Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 sind nur noch Anzeigen nach §20 Abs. 3 dieser Verordnung für Verbringungen der dort genannten Kernbrennstoffe aus anderen EU-Mitgliedstaaten erforderlich. Diese sollen dem BAFA innerhalb einer Woche nach erfolgter Verbringung direkt übersendet werden.

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Außenwirtschaftsrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein- und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Abweichungen werden vermerkt. Bei groben Verstößen werden die Sendungen zurückgewiesen. Das BAFA erhält eine Durchschrift mit dem entsprechenden Zollvermerk.

Auch hier ist seit 1. Januar 1993 die zollamtliche Abfertigung im Bereich des Binnenmarktes entfallen. Die Genehmigungen werden daher mit der Auflage versehen, dem BAFA den Vollzug der Verbringung innerhalb bestimmter Fristen mitzuteilen.

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

Das BAFA überprüft bei Kernbrennstoffen sowohl Anzeigen als auch Genehmigungen im Nachhinein auf Übereinstimmung mit den Bestandsänderungsberichten, die gemäß EURATOM-Verordnung Nr. 3227/76 monatlich von den Betreibern für die Europäische Union (EU) zu erstellen und dem BAFA in Kopie zuzuleiten sind. Darüber hinaus gehen vom BAFA monatlich Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben zu allen radioaktiven Stoffen an die zuständigen Gewerbeaufsichtsämter bzw. an die sonst von den Bundesländern bestimmten atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:

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

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit; betroffen sind Waren der Kategorien 0 und 1 des Abschnittes C der Ausfuhrliste. Die Anträge werden an das BAFA gerichtet und dort unter Beachtung aller relevanten Vorschriften und der internationalen Verträge bzw. Abkommen in einem abgestuften Verfahren unmittelbar oder nach Abstimmung mit den Ressorts entschieden.

Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (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

Einleitung

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

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

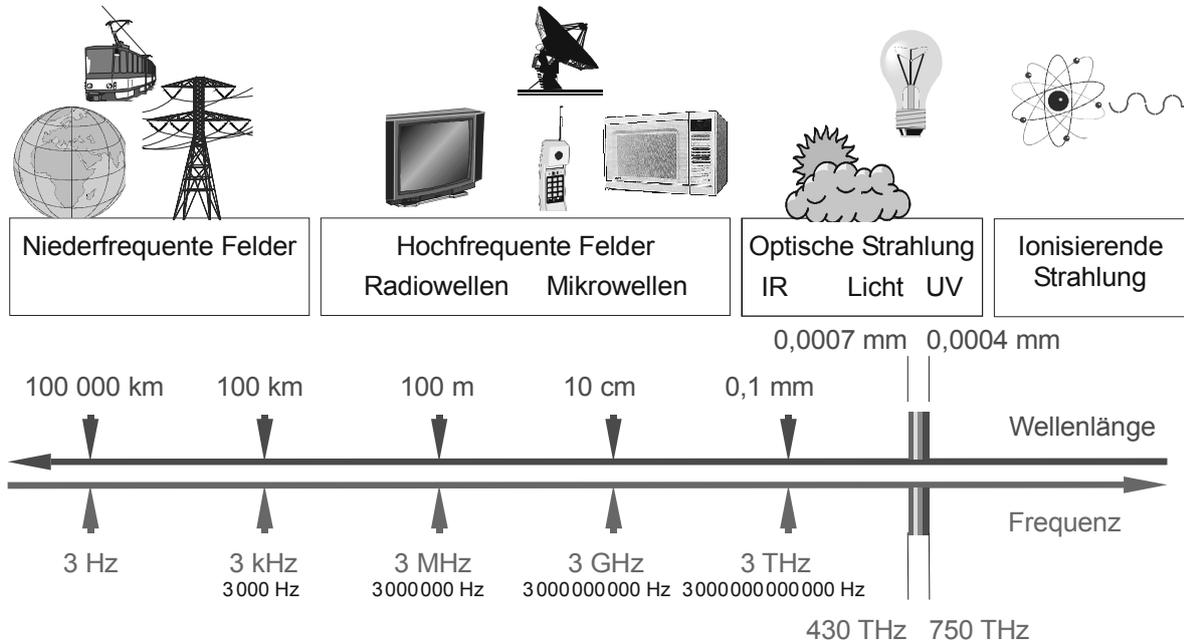


Abbildung 1-1 Das elektromagnetische Spektrum
(The electromagnetic spectrum)

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

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

1.1 Statische Felder
(Static fields)

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

1.2 Niederfrequente Felder (Low frequency fields)

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

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

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

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

Tabelle 1.2-1

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Individuelle Personenmessung, arithmetischer Mittelwert über sekundliche Messungen

1.3 Hochfrequente Felder (High frequency fields)

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

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

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

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

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

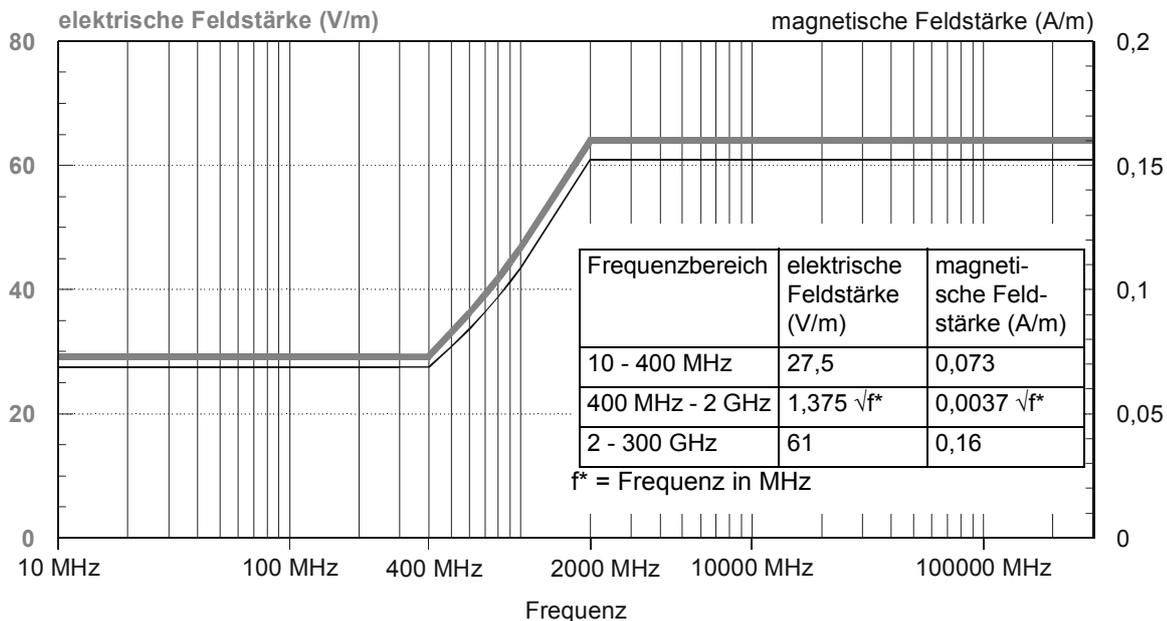


Abbildung 1.3-1 Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen
(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high frequency installations)

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

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

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

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

1.4 Optische Strahlung (Optical radiation)

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

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

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

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

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

Solares UV-Monitoring

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

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

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d. h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV-IR) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (<http://www.bfs.de/uv/uv2/uvi/messnetz.html>). Von April bis September werden darüber hinaus für das nördliche, mittlere und südliche Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht (<http://www.bfs.de/uv/uv2/uvi/prognose.html>). Komplette Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner für Langzeitanalysen gespeichert.

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

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

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

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

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

Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemotogene Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m^2 für den Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

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

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

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

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

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV

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

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

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

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

1.5 Grenzwerte (Limit values)

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

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

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

Für den Schutz der Bevölkerung bei Exposition durch UV-Strahlung gibt es keine Grenzwerte. Es sind jedoch Werte der erythemwirksamen Schwellenbestrahlung, bei deren Überschreitung mit einem Sonnenbrand zu rechnen ist bekannt. Diese liegt bei Hauttyp II bei einem Wert von 250 J/m² (schädigende UV-Strahlendosis pro m² Haut).

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



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

I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

**1. Natürliche Umweltradioaktivität
(Natural environmental radioactivity)**

Die natürliche Strahlenexposition in Deutschland zeigt große regionale Unterschiede. Diese sind bedingt durch die unterschiedlichen Gehalte des Erdbodens an Uran, Thorium und K-40 (terrestrische Strahlung), durch die unterschiedliche Meereshöhe (kosmische Strahlung), durch die unterschiedlichen Konzentrationen des radioaktiven Edelgases Radon in der Atemluft und die regional unterschiedliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung und dem Trinkwasser. Dies führt, wie in Teil A - I erläutert, insgesamt zu einer jährlichen Exposition von etwa 2 bis 3 mSv. Gegenüber den regionalen Schwankungen sind die Unterschiede der Exposition von Jahr zu Jahr gering. Im Berichtsjahr wurden keine Untersuchungen 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 Immissionssituation in den betroffenen Regionen gegeben, der auf ausgewählten Daten aus der Umweltüberwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht.

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

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

In Tabelle 2.1.1-1 sind die Fortluftmengen und die Ableitungen radioaktiver Stoffe aller Wismut-Sanierungsbetriebe in den Jahren von 1998 bis 2007 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, dass die Ableitungen mit der Fortluft insgesamt seit Jahren deutlich unter den - in Klammern angegebenen - genehmigten Werten liegen und kontinuierlich abnehmen.

In Tabelle 2.1.1-2 ist diese Gesamtentwicklung für die Jahre 2006 und 2007 auf die einzelnen Standorte der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieben in den Jahren 2006 und 2007 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Ergebnis der fortschreitenden Verwahrung von untertägigen Grubenfeldern haben sich die Ableitungen mit Abwetter bzw. Abluft insgesamt im Vergleich zum Vorjahr weiter verringert und konnten an den Thüringer Standorten Ronneburg und Seelingstädt völlig eingestellt werden. Die gesamten Ableitungen sowohl von Rn-222 als auch der langlebigen α -Strahler werden fast ausschließlich von den Standorten Schlema/Alberoda und Königstein verursacht.

**Tabelle 2.1.1-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre im Zeitraum 1998 bis 2007 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air during the period from 1998 to 2007 – Values measured by the Wismut GmbH)**

| Zeitraum | Fortluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ | Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe | | | |
|----------|---|---------------------------------------|-----------|---|---------|
| | | Rn-222 in TBq/a * | | Langlebige α Strahler in MBq/a * | |
| 1998 | 22,1 | 664,7 | (1.201,1) | 31,3 | (137,1) |
| 1999 | 20,8 | 491,3 | (926,2) | 30,3 | (107,4) |
| 2000 | 18,3 | 380,4 | (798,2) | 10,0 | (99,9) |
| 2001 | 14,2 | 316,4 | (557,4) | 5,3 | (101,1) |
| 2002 | 11,8 | 260,5 | (447,4) | 13,9 | (101,1) |
| 2003 | 8,6 | 168,4 | (298,4) | 13,2 | (83,1) |
| 2004 | 8,3 | 147,3 | (268,1) | 14,0 | (82,9) |
| 2005 | 7,9 | 105,3 | (298,1) | 14,7 | (79,9) |
| 2006 | 6,2 | 80,3 | (268,0) | 6,53 | (78,3) |
| 2007 | 5,0 | 65,2 | (269,0) | 5,4 | (78,4) |

* Genehmigungswerte in Klammern

¹ Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint

Tabelle 2.1.1-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft in die Atmosphäre in 2006 und 2007 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air in 2006 and 2007 - 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 * | |
| | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 |
| Schlema/Alberoda | 2 | 2 | 1,280 | 1,44 | 66 (100) | 59 (101) | 2,5 (5,7) | 2,4 (5,84) |
| Pöhl | 1 | 1*** | 0,416 | 0,174 | 0,17 (0,4) | 0,06 (0,4) | -** (0,5) | -** (0,5) |
| Dresden-Gittersee | 1 | 1 | 0,11 | 0,13 | 0,08 (1,6) | 0,10 (1,6) | 0,03 (1,6) | -** (1,6) |
| Königstein | 4 | 3 | 4,4 | 3,3 | 14 (166) | 6 (166) | 4 (70,5) | 3 (70,5) |

* Genehmigungswerte in Klammern

** Emissionen mit Konzentrationen unter der Nachweisgrenze wurden nicht bilanziert

*** Ableitungen am 22.05.2007 eingestellt

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer (Vorfluter), die in Tabelle 2.1.1-3 zusammengestellt sind, liegen ebenfalls seit Jahren deutlich unter den Genehmigungswerten. Die Abwassermenge ist jedoch auf Grund der sehr hohen Niederschlagsmengen im Jahr 2007 angestiegen. Dies hat auch zur verstärkten Freisetzung von Radionukliden, v. a. von Uran, aus dem mit Wasser im Kontakt befindlichen Grubengestein und Haldenmaterial geführt.

Im Vergleich zum Vorjahr stieg 2007 die Menge des abgeleiteten Ra-226 leicht und die Menge des abgeleiteten Uran sowie die Abwassermenge in Thüringen deutlich an, siehe Tabelle 2.1.1-4. Die gegenüber dem Jahr 2006 erhöhten Ableitungen in Zwickauer Mulde, Elbe und Weiße Elster sind auf die zu behandelnden Wassermengen beim Flutungsverlauf im Raum Schlema/Alberoda (Zwickauer Mulde), auf das Betriebsregime bei der Flutung der Grube Königstein (Elbe) und auf den ganzjährigen Betrieb der Wasserbehandlungsanlage Ronneburg (Weiße Elster) in Verbindung mit den überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Jahr 2007 zurückzuführen.

Die Genehmigungswerte wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhl: $20 \text{ m}^3/\text{h}$, Königstein: $650 \text{ m}^3/\text{h}$, Ronneburg: $560 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $700 \text{ m}^3/\text{h}$, Seelingstädt: $300 \text{ m}^3/\text{h}$) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhl: $0,2 \text{ mg Uran/l}$, $0,3 \text{ Bq Ra-226/l}$, WBA Ronneburg: $0,3 \text{ mg Uran/l}$ bzw. $0,2 \text{ Bq Ra-226/l}$) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein $0,3 \text{ mg Uran/l}$, $0,4 \text{ Bq Ra-226/l}$, Seelingstädt: $0,3 \text{ mg Uran/l}$ bzw. $0,2 \text{ Bq Ra-226/l}$) errechnet.

Tabelle 2.1.1-3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer im Zeitraum 1998 bis 2007 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters during the period from 1998 to 2007 – Values measured by the Wismut GmbH)

| Zeitraum | Abwassermenge in $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ | Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe | | | |
|----------|--|---------------------------------------|--------|------------------|--------|
| | | Uran in t/a* | | Ra-226 in GBq/a* | |
| 1998 | 14,7 | 3,8 | (12,8) | 4,8 | (14,8) |
| 1999 | 14,7 | 3,8 | (9,4) | 2,7 | (13,6) |
| 2000 | 16,1 | 4,1 | (11,3) | 3,6 | (15,4) |
| 2001 | 14,3 | 2,8 | (13,1) | 0,7 | (16,7) |
| 2002 | 18,4 | 4,5 | (8,4) | 0,8 | (7,0) |
| 2003 | 14,6 | 3,1 | (8,2) | 0,3 | (6,8) |
| 2004 | 13,9 | 2,8 | (8,2) | 0,2 | (6,7) |
| 2005 | 14,8 | 2,2 | (8,0) | 0,3 | (6,7) |
| 2006 | 16,3 | 2,4 | (9,0) | 0,3 | (7,9) |
| 2007 | 19,2 | 3,1 | (9,0) | 0,4 | (8,2) |

* Genehmigungswerte in Klammern

Tabelle 2.1.1-4 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2006/2007 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the years 2006/2007 - Values measured by the Wismut GmbH)

| VORFLUTER Betriebsteile der Sanierungsbetriebe | Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a* | | Ableitung radioaktiver Stoffe | | | |
|--|--|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | | | Uran in t/a * | | Ra-226 in GBq/a * | |
| | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 |
| ZWICKAUER MULDE | 9,537 (-) | 8,466 (-) | 2,142 (6,197) | 2,637 (5,939) | 0,1224 (4,529) | 0,186 (4,311) |
| Schlema/Alberoda | 8,517 (-) | 7,208 (-) | 1,992 (6,022) | 2,471 (5,904) | 0,121 (4,266) | 0,185 (4,258) |
| Crossen | 0,89 (-) | 1,134 (-) | 0,147 (-) | 0,164 (-) | 0,009 (-) | 0,0004 (-) |
| Pöhla | 0,13 (-) | 0,124 (-) | 0,003 (0,175) | 0,002 (0,035) | 0,0005 (0,263) | 0,0006 (0,053) |
| ELBE | 4,139 (5,869) | 4,131 (5,869) | 0,046 (1,708) | 0,078 (1,708) | 0,138 (2,278) | 0,145 (2,278) |
| Dresden-Gittersee | - (-) | - (-) | - (-) | - (-) | - (-) | - (-) |
| Königstein | 4,139 (5,869) | 4,131 (5,869) | 0,046 (1,708) | 0,078 (1,708) | 0,138 (2,278) | 0,145 (2,278) |
| PLEIßE | 0,084 (0,1) | 0,157 (0,15) | 0,011 (0,03) | 0,012 (0,015) | 0,003 (0,038) | 0,004 (0,030) |
| Ronneburg | 0,084 (0,1) | 0,157 (0,150) | 0,011 (0,03) | 0,012 (0,015) | 0,003 (0,038) | 0,004 (0,030) |
| WEIßE ELSTER | 2,514 (4,595) | 6,461 (7,963) | 0,206 (1,128) | 0,401 (1,321) | 0,012 (1,023) | 0,046 (1,593) |
| Ronneburg (WBA) | 0,491 (2,295) | 4,333 (5,333) | 0,016 (0,438) | 0,227 (0,533) | 0,001 (0,523) | 0,043 (1,067) |
| Seelingstädt | 2,023 (2,3) | 2,128 (2,628) | 0,19 (0,69) | 0,174 (0,788) | 0,011 (0,46) | 0,003 (0,526) |

* Genehmigungswerte in Klammern

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 Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft und die Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern betrachtet, die durch die Sanierungstätigkeiten der Wismut GmbH beeinflusst werden können.

Rn-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft

Zur Überwachung der Luft werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau)“ Messstellen zur Ermittlung der Rn-222-Konzentration der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen über die dafür vorgesehenen technischen Einrichtungen wie z. B. Lüfter; sie dienen auch zur Erfassung der aus diffusen Freisetzungen, beispielsweise aus Haldenoberflächen, resultierenden Umweltkontamination sowie zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind alle genannten Prozesse von Bedeutung. Die freigesetzte Rn-222-Menge aus den in industriellen Absetzanlagen und Halden deponierten Materialien kann dabei in der Größenordnung der jährlichen Ableitungsmengen nach Tabelle 2.1.1-2 liegen.

In Tabelle 2.1.2-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen im Zeitraum Winter 2006 / 2007 bis Sommer 2007 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 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2006/07 und Sommer 2007; Messwerte der Wismut GmbH)
(*Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2006/07 and summer 2007; 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 2006/2007 | | | | | |
| Schlema/Alberoda | 69 | 23 | 43 | 3 | 96 |
| Pöhl | 8 | 7 | 0 | 1 | 84 |
| Seelingstädt | 24 | 15 | 9 | 0 | 63 |
| Crossen | 35 | 20 | 15 | 0 | 46 |
| Königstein | 12 | 11 | 1 | 0 | 41 |
| Gittersee | 9 | 8 | 1 | 0 | 40 |
| Ronneburg | 35 | 35 | 0 | 0 | 28 |
| Sommer 2007 | | | | | |
| Schlema/Alberoda | 70 | 11 | 41 | 18 | 190 |
| Pöhl | 8 | 7 | 1 | 0 | 32 |
| Seelingstädt | 24 | 19 | 5 | 0 | 61 |
| Crossen | 36 | 2 | 33 | 1 | 83 |
| Königstein | 11 | 9 | 2 | 0 | 43 |
| Gittersee | 9 | 7 | 2 | 0 | 52 |
| Ronneburg | 35 | 35 | 0 | 0 | 30 |

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 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2007 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 - 2007 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 – 2007 | Minimum | Maximum | Mittelwert 1991 – 2007 |
| Schlema/Alberoda | 21 | 40 | 29 | 27 | 48 | 35 |
| Pöhl | 14 | 35 | 20 | 18 | 29 | 24 |
| Seelingstädt | 11 | 39 | 23 | 19 | 37 | 26 |
| Crossen | 16 | 35 | 25 | 17 | 37 | 25 |
| Königstein | 11 | 31 | 20 | 17 | 36 | 26 |
| Gittersee | 18 | 33 | 26 | 24 | 43 | 33 |
| Ronneburg | 14 | 40 | 24 | 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 Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse stimmen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten überein.

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

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Konzentrationswerten von 10 bis 15 Bq/m³ liegen, aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Messtechnisch nachweisbare, bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten vor allem in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden

oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Die Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung aus solchen Hinterlassenschaften ist weiterhin eines der Ziele der Wismut-Sanierung.

Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern

Die Überwachung der Urankonzentrationen und Ra-226-Aktivitätskonzentrationen wird in allen Oberflächengewässern durchgeführt, in die radioaktive Ableitungen erfolgen. Zur Ermittlung des bergbaulichen Einflusses werden die Immisionsmessungen der Wismut GmbH 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 Bergbauggebiete in 2006 und 2007 (Messwerte der Wismut GmbH)
(*Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the years 2006 and 2007 - Values measured by the Wismut GmbH*)

| Betrieb | Probenahmestelle | Messpunkt | Uran in mg/l | | Ra-226 in mBq/l | |
|-----------------------------------|---|-----------|--------------|---------|-----------------|------|
| | | | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 |
| Sächsische Bergbauggebiete | | | | | | |
| Königstein | Quellgebiet Eselsbach | k-0018 | 0,015 | 0,015 | 83 | 14 |
| | Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach | k-0024 | 0,044 | 0,058 | 17 | 13 |
| | Elbe Rathen | k-0028 | 0,001 | 0,001 | 18 | 13 |
| Gittersee | Kaitzbach vor Halde | g-0076 | 0,015 | 0,013 | 20 | 17 |
| | Kaitzbach nach Einleitung | g-0077 | 0,080 | 0,065 | 18 | 14 |
| Aue | Zwickauer Mulde in Aue | m-131 | 0,002 | 0,002 | 13 | 14 |
| | Zwickauer Mulde bei Hartenstein | m-111 | 0,010 | 0,008 | 14 | 13 |
| Pöhla | Luchsbach vor Schachtanlage | m-115 | 0,001 | < 0,001 | 10 | 10 |
| | Luchsbach nach WBA-Auslauf | m-165 | 0,027 | 0,022 | 18 | 12 |
| Crossen | Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben | M-201 | 0,008 | 0,006 | 14 | 16 |
| | Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig | M-205 | 0,010 | 0,008 | 13 | 14 |
| | Helmsdorfer Bach | M-204 | 0,17 | 0,110 | 16 | 13 |
| | Zinnborn | M-232 | 0,375 | 0,420 | 96 | 98 |
| Thüringer Bergbauggebiete | | | | | | |
| Seelingstädt | Weißer Elster aus dem Oberlauf | E-312 | 0,002 | 0,001 | < 10 | < 10 |
| | Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach | E-314 | 0,005 | 0,004 | < 10 | < 10 |
| | Gerchenbach | E-369 | 0,11 | 0,100 | < 10 | < 10 |
| | Fuchsbach unterhalb IAA (Industrielle Absetz-Anlagen) | E-383 | 0,052 | 0,039 | < 10 | < 10 |
| | Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach | E-321 | 0,007 | 0,005 | < 10 | < 10 |
| Ronneburg | Gessenbach | e-416 | 0,032 | 0,024 | 25 | 21 |
| | Sprotte | s-609 | 0,004 | 0,004 | < 10 | < 10 |
| | Wipse | e-437 | 0,023 | 0,036 | 10 | 15 |
| | Weißer Elster | e-419 | 0,004 | 0,004 | < 10 | < 10 |

Die im Jahr 2007 ermittelten Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weißer Elster weisen im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Veränderungen auf.

Im Oberlauf von Wismut-Ableitungen wurden an den Messpunkten m-131, m-115 und E-312 Urankonzentrationen bis zu einer Höhe von 2 µg/l und Aktivitätskonzentrationen bis zu einer Höhe von 14 mBq/l für Ra-226 ermittelt. Diese Werte liegen im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Die in bergbaulich unbeeinflussten Oberflächengewässern in Deutschland festgestellten Aktivitätskonzentrationen überschreiten den Wert von 3 µg/l für U-238 und von 30 mBq/l für Ra-226 nicht und beinhalten mit den ebenfalls im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gelegenen Messpunkten g-0076 und M-201 auch den Einfluss lokaler geologischer Besonderheiten oder des Altbergbaus.

In kleineren Bächen, die eine geringe Wasserführung aufweisen, wird das o. a. geogene Niveau im Unterlauf von Wismut-Einleitungen bei Ra-226 etwa bis zum Faktor 3 überschritten und reicht von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 98 mBq/l, während es bei Uran um etwa zwei Größenordnungen erhöht ist und Werte zwischen 4 und 420 µg/l aufweist (vgl. Messpunkte k-0018, k-0024, g-0077, m-165, M-204, M-232, E-369, E-383, e-416, s-609 und e-437).

In den großen Vorflutern wurden an den Messpunkten k-0028, m-111, E-314, E-321, M-205 und e-419 im Unterlauf von Wismut- Ableitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber dem o. a. geogenen Niveau bis etwa zum Dreifachen erhöht sind (1 - 8 µg/l). Mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze bis zu 14 mBq/l liegen die Ra-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen im Bereich des o. a. geogenen Niveaus.

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

2.2 Radon in Gebäuden (Radon in buildings)

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden in den vergangenen Jahren Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen liegt in Deutschland bei 50 Bq/m³. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in den Räumen von ca. 19 Stunden pro Tag einer mittleren jährlichen effektiven Dosis in Höhe von ca. 0,9 mSv. In Einzelfällen wurden Höchstwerte von bis zu 10.000 Bq/m³ festgestellt. Bereits bei Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ zeigt sich eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um etwa 10% pro 100 Bq/m³. Welche Radonkonzentrationen in einzelnen Gebäuden anzutreffen sind, hängt vom geologischen Untergrund am Gebäudestandort und der Radondichtheit der Gebäudehülle ab, da in den überwiegenden Fällen das in der Bodenluft vorkommende und durch erdberührende Wände und der Bodenplatte in das Haus eindringende geogene Radon die Ursache für eine erhöhte Radoninnenraumkonzentration ist.

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

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft einen Bereich von ca. 5 kBq/m³ bis 1.000 kBq/m³ überstreichen. Lokal hängt die Höhe vom jeweiligen geologischen Untergrund ab. In ca. 30% der Fläche Deutschlands und davon überwiegend in Gebieten der Norddeutschen Tiefebene liegt die Bodenluftkonzentration im Bereich unterhalb von 20 kBq/m³. Werte über 100 kBq/m³ sind nur in einigen eng begrenzten Gebieten zu erwarten. Diese sind in der Regel durch das Vorkommen von Graniten oder granitähnlichen Gesteinen nahe der Erdoberfläche gekennzeichnet.

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

Bei Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft von mehr als 20 kBq/m³ und in Abhängigkeit von der Bauweise und dem Bauzustand sind erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden häufiger zu erwarten. Überdurchschnittlich häufig werden erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern älteren Baujahres gefunden, insbesondere dann, wenn die Häuser keine Fundamentplatte oder Undichtigkeiten der Gebäudehülle im erdberührten Bereich aufweisen. Infolge der Geologie des Bauuntergrundes können in einzelnen Gebäuden Jahresmittelwerte von einigen Tausend Becquerel pro Kubikmeter auftreten. In den betreffenden Regionen sind Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Innenraumluft zu empfehlen, um die tatsächliche Strahlenexposition betroffener Personen durch Radon bewerten und gegebenenfalls angemessene Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Bei der Planung neuer Gebäude sind Maßnahmen zur Begrenzung des Radoneintritts aus dem Boden in das Gebäude in Betracht zu ziehen, deren Umfang sich an den Standortbedingungen orientieren sollte. Insbesondere bei Radonkonzentrationen in der Bodenluft von über 100 kBq/m³ ist auch bei neu errichteten Gebäuden ohne Radonenschutzmaßnahmen häufig mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ zu rechnen. Tabelle 2.2-1 zeigt die auf der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft beruhende Abschätzung (Stand 2007) der Anzahl von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Radonaktivitätskonzentrationen in Aufenthaltsräumen oberhalb von 100 Bq/m³.

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

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird im Vergleich zum geogenen Radon allgemein als gering angesehen. Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauproduktrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wird die Radonabgabe von in Deutschland aktuell üblichen Produkten in einem laufenden Projekt untersucht.

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

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist in einer Publikation aus dem Jahr 2001 erneut darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt und für den Menschen krebserregend ist. Ferner wird festgestellt, dass die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen krebserregenden Stoffen. Die Länder werden aufgefordert, Regelungen zu treffen, um das Risiko zu begrenzen. Im Jahre 2005 startete die WHO ein internationales Ra-

donprojekt, um die Gesundheitsaspekte einer Radonexposition zu analysieren und Empfehlungen für Messungen und Sanierungen sowie Leitfäden zur administrativen Regelung in den Mitgliedsstaaten zu formulieren. Der Abschluss des Projektes mit Veröffentlichung der Ergebnisse ist für Ende 2008 vorgesehen.

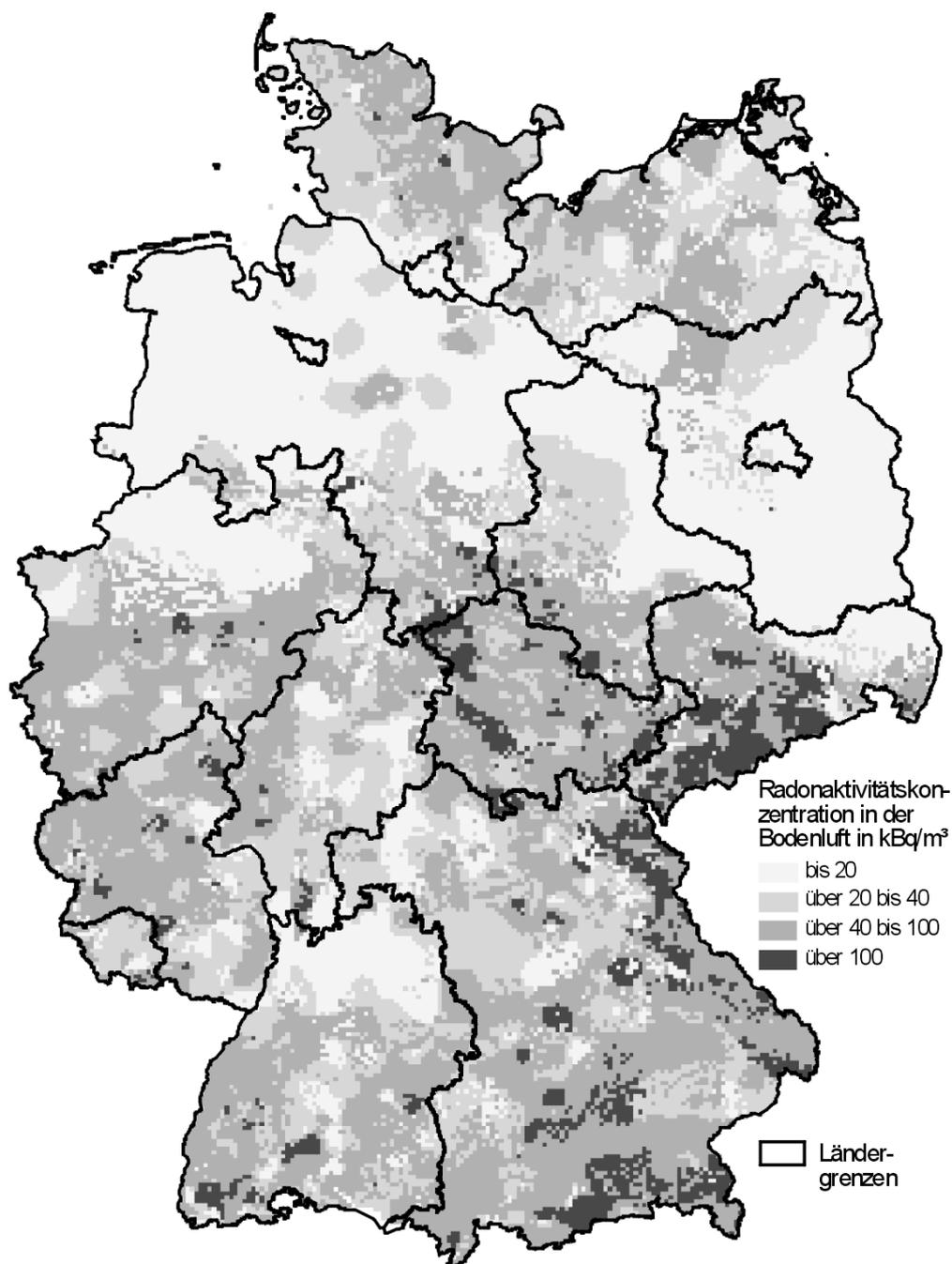


Abbildung 2.2-1 Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (nach Daten von 2001)
(Overview of Radon concentration in soil air at 1 m depth - data from 2001)

| Radonkonzentration in Bq/m ³ | Relative Häufigkeit in % | tausend Häuser |
|---|--------------------------|----------------|
| > 100 | 10 – 12 | 1.300 – 1.600 |
| > 200 | 1,6 – 3,1 | 220 – 420 |
| > 400 | 0,3 – 0,9 | 40 – 140 |
| > 1.000 | 0,03 – 0,2 | 4 – 25 |

Tabelle 2.2-1
Geschätzte Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser mit Radonkonzentrationen über verschiedenen Schwellenwerten in Aufenthaltsräumen
(Estimated number of one- and two-family houses with radon concentration above various threshold values in living rooms)

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

Untersuchungen und Ergebnisse

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer mittleren Äquivalentdosisleistung in Wohngebäuden von rund 0,6 mSv/a, was einer jährlichen effektiven Dosis von 0,3 mSv entspricht.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Ra-226 entstehende Rn-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen mineralischen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sowie in den Naturwerksteinen wurden allerdings Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für im Sinne des Strahlenschutzes relevante Radonkonzentration in Wohnungen sind (siehe Kapitel 2.2).

Im Zuge einer Diskussion um eine mögliche Einbeziehung der Radionuklidkonzentration und der Radonabgabe eines Baustoffes als Zulassungskriterium in der Bauproduktrichtlinie und um die vorhandene Datenbasis zu aktualisieren, wird in einem laufenden Projekt die Nuklidkonzentration von in Deutschland aktuell üblichen Innenraumprodukten untersucht.

Wegen der zunehmenden Anwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich steht die von diesen Materialien ausgehende Strahlenexposition im speziellen Interesse der Bevölkerung. Deshalb wurden mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e.V. in den letzten Jahren eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. In der Abbildung 2.3-1 sind die in Naturwerksteinen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Ra-226, Th-232 und K-40 zusammengestellt. 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.

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 Magmageseine infolge natürlicher Radionuklide vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten. Zum Vergleich und zur Ergänzung wird an dieser Stelle auf die an der Universität Thessaloniki durchgeführten Untersuchungen hingewiesen [1], in der ähnliche Ergebnisse gefunden wurden.

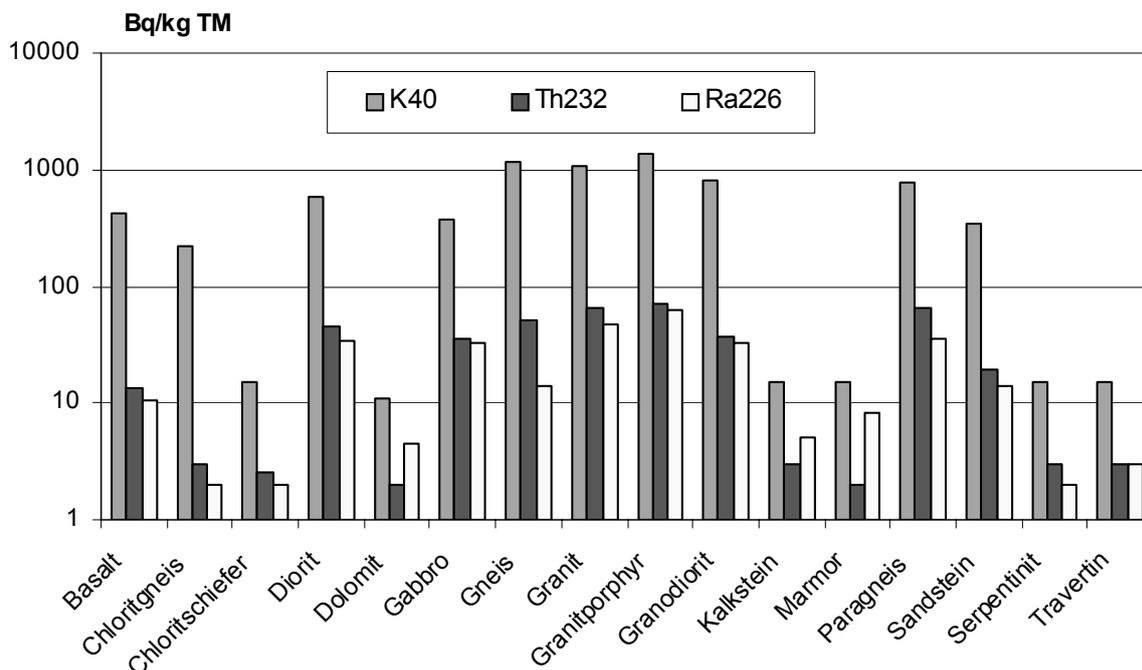


Abbildung 2.3-1 Medianwerte der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide aus Naturwerkstein in Bq/kg (TM)
(Medians of specific activity of natural radionuclides in natural stone in Bq/kg TM)

Literatur:

- [1] 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, vom Deutschen Wetterdienst, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, vom Johann Heinrich von Thünen-Institut und vom Max-Rubner-Institut

1. Quellen künstlicher Radioaktivität (Sources of artificial radioactivity)

1.1 Kernwaffenversuche (Nuclear weapons tests)

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

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1980 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Sie betrug 2007 weniger als 0,01 mSv.

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

Die einzige Radionuklidstation in Mitteleuropa befindet sich an der deutschen Station Schauinsland des BfS (Radionuklidstation 33, RN 33) oberhalb von Freiburg. Dort sind automatische Messsysteme mit hoher Empfindlichkeit für den Nachweis von aerosolpartikelgebundener Radioaktivität sowie auch für den Nachweis der radioaktiven Xenonisotope Xe-135, Xe-133m, Xe-133 und Xe-131m in Betrieb. Der Probenentnahmezeitraum dieser kontinuierlichen Überwachungssysteme beträgt jeweils 24 Stunden. Die Daten beider Messsysteme der Radionuklidstation werden per Satellitenverbindung alle 2 Stunden an das internationale Datenzentrum der Vertragsorganisation in Wien übermittelt.

Das Ende 2004 von der CTBTO zertifizierte Messsystem für den Nachweis der aerosolpartikelgebundenen Radioaktivität (RASA) ist offizieller Bestandteil des IMS. Somit stehen die Daten allen Signatarstaaten zur Verfügung. Im Jahr 2007 befand sich das System im Routinebetrieb. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide in den Tagesproben nachgewiesen. Es stammt überwiegend aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl, gelangt durch Resuspension in die Atmosphäre und wird dann auf dem Filtermaterial abgeschieden. Die nachgewiesenen Aktivitätskonzentrationen liegen, wie auch in den Wochenproben (s. Kap. 2.1) im Bereich weniger Microbequerel pro Kubikmeter.

Das Edelgasmesssystem SPALAX befindet sich noch im Testbetrieb. Derzeit werden von der CTBTO die technischen Bedingungen festgelegt, denen die Edelgasmesssysteme des IMS genügen müssen. Um diese sogenannten Zertifizierungsbedingungen zu definieren, wurden Anfang 2007 auf der Station Schauinsland - als einer von vier IMS Stationen - umfangreiche Tests durch die CTBTO durchgeführt. Die Tests haben ergeben, dass das SPALAX System den vorgeschlagenen Zertifizierungsbedingungen im Wesentlichen genügt. An der Weiterentwicklung des Systems wird derzeit von den Herstellern gearbeitet. Wie schon in den Vorjahren wurde neben einem permanenten Untergrund der Xe-133-Aktivitätskonzentration von ca. 1 mBq/m^3 auch einige kurzzeitige Erhöhungen nachgewiesen. In einigen wenigen Proben wurden ausserdem geringe Konzentrationen der Isotope Xe-131m, Xe-133m und Xe-135 nachgewiesen. 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 von der Station Schauinsland erhobenen Daten.

Zehn Jahre nach der Unterzeichnung des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen durch die Vereinten Nationen sorgte die Bekanntgabe der Durchführung eines unterirdischen Kernwaffentests durch die Demokratische Volksrepublik Korea (Nordkorea) am 9. Oktober 2006 weltweit für große Besorgnis. Dieses Ereignis in Nordkorea war die erste Bewährungsprobe für das Internationale Messnetz der CTBTO. Die seismologischen Stationen identifizierten zweifelsfrei eine Explosion und ermöglichten die genaue Lokalisierung des Explosionsortes. Allerdings ergaben die Daten eine geringe Explosionsstärke, so dass Zweifel bestanden, ob es sich tatsächlich um eine nukleare Explosion gehandelt hatte. Diese Frage kann nur mit Radioaktivitätsmessungen beantwortet werden. Die bereits installierten Messstationen des IMS für partikelgebundene Radioaktivität kommen dabei jedoch nicht in Frage, da bei unterirdischen Explosionen primär die radioaktiven Edelgase in die Atmosphäre gelangen. Die entsprechenden Edelgasmesssysteme waren allerdings zum Zeitpunkt der Explosion in der Region aber noch nicht installiert. Eine Station im Norden Kanadas war jedoch in der Lage, eine geringe Menge Xe-133 zu detektieren, die mit dem Ereignis auf Grund konsistenter meteorologischer Ausbreitungsrechnungen in Zusammenhang gebracht werden kann. Nach der Ankündigung des Tests wurden zusätzlich Messungen von einem schwedisch-südkoreanischen Team auf der koreanischen Halbinsel mit einem mobilen System durchgeführt und von einem Team aus den USA wurden Luftproben, die bei Flügen über dem japanischen Meer genommen wurden, gemessen. Die Messungen geben klare Hinweise auf den nuklearen Charakter der Explosion, die gemessenen Isotopenverhältnisse legen die Vermutung nahe, dass es sich dabei um einen auf Spaltung von ^{239}Pu basierenden Sprengsatz gehandelt hat. Dieses Ereignis zeigt, dass das geplante und zurzeit im Aufbau befindliche Messnetz der CTBTO für Radioxenon in der Lage sein wird, solche Ereignisse in Zukunft nachzuweisen und mit hoher Priorität weiter ausgebaut werden muss.

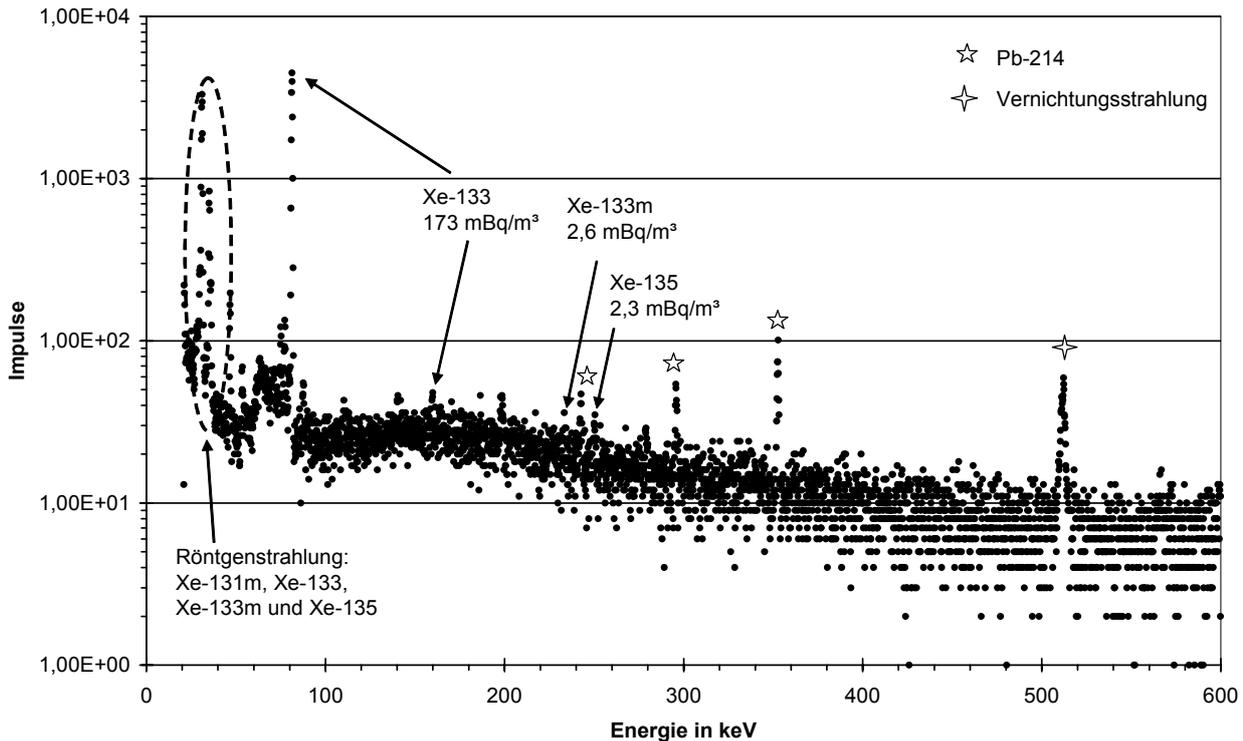


Abbildung 1.1-1 Gammaspektrum einer Tagesprobe des Edelgasmesssystems SPALAX an der Messtation Schauinsland mit mehreren Xenonisotopen
(Gamma-ray-spectrum of a daily sample containing several Xenon isotopes analysed with the noble gas measuring system SPALAX at Schauinsland measuring station)

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

Im Jahr 2007 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 Aktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung der Konzentration radioaktiver Nuklide in Lebensmitteln sichergestellt.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,26 Bq Cs-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv pro Jahr durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (K-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cs-137-Aktivitäten von bis zu 40, in Einzelfällen bis zu mehreren 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 Cs-137 und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Bericht für das Jahr 2004 wurden Werte für die Kontamination von Reh- und Wildschweinfleisch aus dem Bayerischen Wald angegeben, einer der am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

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

In Bayern liegt der Mittelwert von 21 Messungen an Wildschweinen bei 700 Bq/kg, die Werte reichen bis 8.600 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 26 Messungen bei 41 Bq/kg mit einem Höchstwert von 620 Bq/kg (vgl. „Tabelle 2.4.7-8 Wild, Inland und Einfuhr“ auf Seite 199).

Auch in Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Grenzwert von 600 Bq/kg. Der Mittelwert liegt bei 245 Bq/kg (257 Messungen), der Maximalwert bei 8.450 Bq/kg. 2007 wurde in Baden-Württemberg auch bei Rehfleisch in einem Fall mit 930 Bq/kg der Höchstwert überschritten. In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 50 Bq/kg und ein Maximalwert von 250 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen.

Cs-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große, geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

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

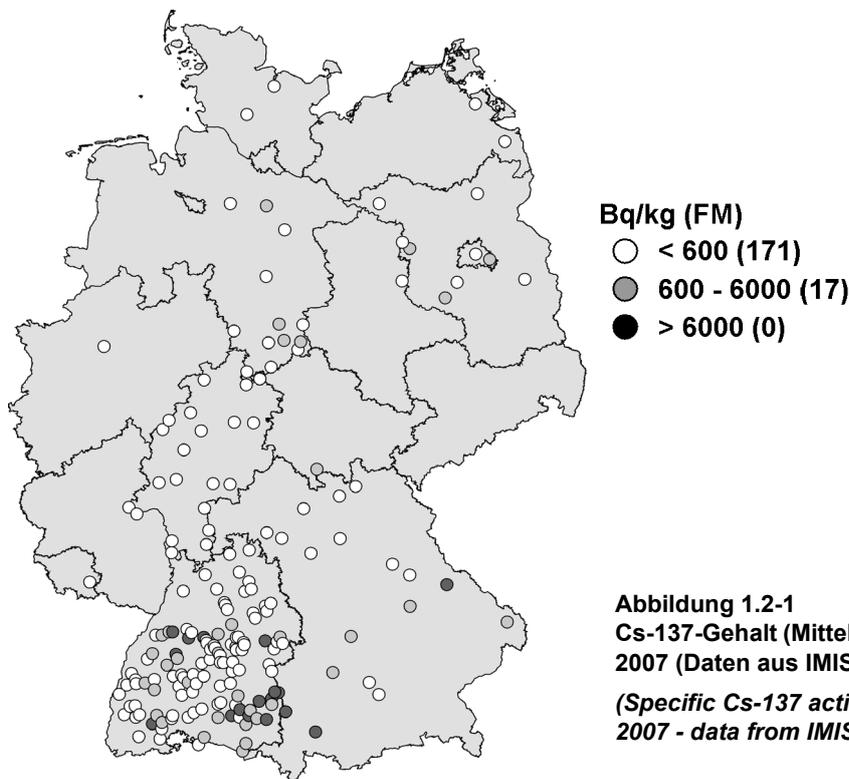


Abbildung 1.2-1
Cs-137-Gehalt (Mittelwerte) von Wildschweinen im Jahr 2007 (Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)
(Specific Cs-137 activity (means) in wild boar - year 2007 - data from IMIS, number of values in brackets)

1.3 Kerntechnische Anlagen (Nuclear facilities)

Allgemeine Angaben

In der Bundesrepublik Deutschland existierten im Jahr 2007 folgende kerntechnische Anlagen:

- 17 in Betrieb befindliche Atomkraftwerke (Tabelle 1.3-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 21.457 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 141 TWh und einem Anteil von 22% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 27% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2007. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop, Mülheim-Kärlich, Stade und Obrigheim haben den Betrieb beendet.
- 4 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.3-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 35 MW.
- 2 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Hanauer Betriebe RD Hanau GmbH (vormals NUKEM GmbH) und SIEMENS AG wurden abgerissen und bereits im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen, die Berichterstattung wurde eingestellt.
- 17 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord (ZLN) Rubenow (Nasslager), Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A), AVR-Behälterlager im Forschungszentrum Jülich, Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G), Standort-Zwischenlager in den Kernkraftwerken Biblis, Brokdorf, Brunsbüttel, Grafenrheinfeld, Grohnde, Gundremmingen, Isar, Krümmel, Lingen, Neckarwestheim, Philippsburg, Unterweser und Obrigheim (Nasslager).
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) nimmt seit dem 25.09.1998 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung mehr an (Tabelle 1.3-3).
- Daten zum Forschungsbergwerk Asse sind in Tabelle 1.3-4 (Angaben der Betreiber) dargestellt.

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Atomkraftwerke, der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching, sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und des Forschungsbergwerks Asse für das Jahr 2007 sind in den Kapiteln 2.1.5 und 2.2.4 getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2007 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 2007 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.3-5 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. 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 Anlage | Bezeichnung | Typ ^a | elektr. Bruttoleistung (MW) | Bruttostromerzeugung 2007* (MWa) | Beginn / Ende des nuklearen Betriebes | Vorfluter |
|-----------------------------------|-------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| Kahl | VAK | SWR | 16 | 0 | 1960/1985 | Main |
| Karlsruhe | MZFR | D ₂ O-DWR | 58 | 0 | 1965/1984 | Rhein |
| Rheinsberg | KKR | WWER | 70 | 0 | 1966/1990 | Stechlinsee |
| Gundremmingen A | KRB-A | SWR | 252 | 0 | 1966/1977 | Donau |
| Jülich | AVR | HTR | 15 | 0 | 1966/1988 | Rur/Maas |
| Lingen | KWL | SWR | 268 | 0 | 1968/1977 | Ems |
| Obrigheim | KWO | DWR | 357 | 0 | 1968/2005 | Neckar |
| Karlsruhe | KNK II | NaR | 20 | 0 | 1971/1991 | Rhein |
| Würgassen | KWW | SWR | 670 | 0 | 1971/1994 | Weser |
| Stade | KKS | DWR | 672 | 0 | 1972/2003 | Elbe |
| Greifswald 1 - 5 | KGR 1-5 | WWER | je 440 | 0 | 1973/1990 | Ostsee |
| Biblis A | KWB A | DWR | 1.225 | 0 | 1974 | Rhein |
| Biblis B | KWB B | DWR | 1.300 | 107 | 1976 | Rhein |
| Neckarwestheim 1 | GKN 1 | DWR | 840 | 592 | 1976 | Neckar |
| Brunsbüttel | KKB | SWR | 806 | 297 | 1976 | Elbe |
| Isar 1 | KKI 1 | SWR | 912 | 804 | 1977 | Isar |
| Unterweser | KKU | DWR | 1.410 | 1.088 | 1978 | Weser |
| Philippsburg 1 | KKP 1 | SWR | 926 | 831 | 1979 | Rhein |
| Grafenrheinfeld | KKG | DWR | 1.345 | 1.244 | 1981 | Main |
| Krömmel | KKK | SWR | 1.402 | 649 | 1983 | Elbe |
| Hamm-Uentrop | THTR-300 | HTR | 307 | 0 | 1983/1988 | Lippe |
| Gundremmingen B | KRB-II-B | SWR | 1.344 | 1.262 | 1984 | Donau |
| Grohnde | KWG | DWR | 1.430 | 1.308 | 1984 | Weser |
| Gundremmingen C | KRB-II-C | SWR | 1.344 | 1.182 | 1984 | Donau |
| Philippsburg 2 | KKP 2 | DWR | 1.458 | 1.344 | 1984 | Rhein |
| Mülheim-Kärlich | KMK | DWR | 1.302 | 0 | 1986/1988 | Rhein |
| Brokdorf | KBR | DWR | 1.440 | 1.371 | 1986 | Elbe |
| Isar 2 | KKI 2 | DWR | 1.475 | 1.371 | 1988 | Isar |
| Emsland | KKE | DWR | 1.400 | 1.324 | 1988 | Ems |
| Neckarwestheim 2 | GKN 2 | DWR | 1.400 | 1.269 | 1988 | Neckar |

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

* Daten aus Atomwirtschaft, atw 3/2008

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

| Standort | Betreiber | Bezeichnung des Reaktors | therm. Leistung * (MW) | Beginn / Ende des nuklearen Betriebes |
|--------------|--|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Garching | Technische Universität München, Forschungs-neutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz | FRM I | 4 | 1957/2000 |
| | | FRM II | 20 | 2004 |
| Rosendorf | Forschungszentrum Dresden-Rosendorf, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rosendorf (VKTA) | RFR | 10 | 1957/1991 |
| Geesthacht | GKSS-Forschungszentrum | FRG 1 | 5 | 1958 |
| | | FRG 2 | 15 | 1963/1993 |
| Karlsruhe | Forschungszentrum Karlsruhe | FR 2 | 44 | 1961/1981 |
| Jülich | Forschungszentrum Jülich | FRJ 1 | 10 | 1962/1985 |
| | | FRJ 2 | 23 | 1962/2006 |
| Mainz | Johannes Gutenberg-Universität | FRMZ | 0,1 | 1965 |
| Braunschweig | Physikalisch-Technische Bundesanstalt | FMRB | 1 | 1967/1995 |
| Neuherberg | Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (bisher GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) | FRN | 1 | 1972/1982 |
| Hannover | Medizinische Hochschule | FRH | 0,25 | 1973/1996 |
| Berlin | Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI) | 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 waste in the Federal Republic of Germany)

| Standort | Betreiber | Bezeichnung | Beginn des Betriebes | Inventar (Stand 31.12.2007) | Inventar (Stand 31.12.2006) |
|-----------|------------------------------|-------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Morsleben | Bundesamt für Strahlenschutz | ERAM | 1971 | 36.915 m ³ / 3,8 E14 Bq | 36.887 m ³ / 3,8 E14 Bq |

Die Volumendifferenz zum Vorjahr ergibt sich aus der Einlagerung radioaktiver Betriebsabfälle, die im ERAM angefallen sind. Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,14 E14 Bq (Vorjahr: 1,18 E14 Bq)

Tabelle 1.3-4 Forschungsbergwerk Asse
(Asse research mine)

| Standort | Betreiber | Bezeichnung | Beginn des Betriebes | Inventar (Stand 31.12.2007) | Inventar (Stand 31.12.2006) |
|-----------|--|-------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Remlingen | Helmholtz Zentrum München (bis 2007 GSF) | Schachanlage Asse | 1967 | 2,6 E15 Bq | 2,7 E15 Bq |

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

| Land | Anlage / Standort | Entfernung zur deutschen Grenze |
|-------------|---|---------------------------------|
| Schweiz | Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke) | ca. 6 km |
| | Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen | ca. 7 km |
| | Kernkraftwerk Mühleberg | ca. 70 km |
| | Kernkraftwerk Gösgen-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 2007 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Kapiteln 2.1.5 bzw. 2.2.4 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend des Entwurfs vom 13.05.2005 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (8/2004): Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.3.1-1 bis 1.3.1-6 angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen obere Werte dar, da sie gemäß § 47 Abs. 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 μSv , die Schilddrüsendosis höchstens 900 μSv und die Knochenoberflächendosis höchstens 1.800 μSv pro Jahr betragen.

Tabelle 1.3.1-1 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2007 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von >1 bis ≤ 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle 1.3.1-1 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 5 μSv (unter 2% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Kernkraftwerk Philippsburg, sowie für Kleinkinder 8 μSv (unter 3% des Dosisgrenzwertes). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 9 μSv (1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg. Diese maximalen Werte haben sich gegenüber dem Vorjahr nicht geändert.

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 Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1.000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der höchste Wert der effektiven Dosis und der Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark) beträgt für Erwachsene 1 μSv und für Kleinkinder 1,7 μSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht etwa 0,3 bzw. 0,6% des Dosisgrenzwertes.

Entsprechend dem Entwurf 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 0,9 μSv für Erwachsene und 1,5 μSv für Kleinkinder ermittelt; für die Weser wurden für beide Personengruppen 0,3 μSv bzw. 0,5 μSv berechnet; am Main liegen die effektiven Jahresdosen bei 0,2 μSv bzw. 0,3 μSv , am Rhein bei 0,1 μSv 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 Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2007 als höchsten Wert 8,6 μSv (rund 3% des Grenzwertes) für Erwachsene und 15 μSv (5% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 15 μSv (unter 2% 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 2007 wurde mit 1,6 μSv der höchste Wert der effektiven Jahresdosis für Erwachsene beim Forschungszentrum Jülich berechnet.

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

| Kerntechnische Anlagen | Oberer Wert ^a | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | der effektiven Dosis | | | | der Schilddrüsensdosis | |
| | für Erwachsene in µSv | | für Kleinkinder in µSv | | für Kleinkinder in µSv | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| VAK Kahl | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KKR Rheinsberg ^b | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KWL Lingen | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KWO Obrigheim | 0,8 | 0,7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| KKS Stade | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 0,1 |
| KWW Würgassen | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| KGR Greifswald ^b | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KWB Biblis A, B | 0,7 | 0,7 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| GKN Neckarwestheim 1, 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| KKB Brunsbüttel | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| KKI Isar 1, 2 | 3 | 3 | 5 | 4 | 6 | 5 |
| KKU Unterweser | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| KKP Philippsburg 1, 2 | 5 | 5 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| KKG Grafenrheinfeld | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,4 |
| KKK Krümmel | 0,8 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| KRB Gundremmingen A, B, C | 2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 6 |
| KWG Grohnde | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 |
| THTR-300 Hamm-Uentrop | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KMK Mülheim-Kärlich | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KBR Brokdorf | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,8 |
| KKE Emsland | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |

a Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

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

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

| Kerntechnische Anlagen | Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv | | Oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder in µSv | |
|------------------------------|--|-------|---|-------|
| | | | | |
| VAK Kahl | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KRB Gundremmingen A, B und C | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| KWO Obrigheim | < 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| KKS Stade | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KWW Würgassen | < 0,1 | < 0,1 | 0,1 | < 0,1 |
| KWB Biblis A und B | < 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| GKN Neckarwestheim 1 und 2 | 0,6 | 0,7 | 1,1 | 1,2 |
| KKB Brunsbüttel | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KKI Isar 1 und 2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |
| KKU Unterweser | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| KKP Philippsburg 1 und 2 | < 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| KKG Grafenrheinfeld | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,5 |
| KKK Krümmel | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KWG Grohnde | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,4 |

| Kerntechnische Anlagen | Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv | | Oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder in µSv | |
|------------------------|--|-------|---|-------|
| | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| KBR Brokdorf | < 0,1 | < 0,1 | 0,1 | < 0,1 |
| KKE Emsland | 1,0 | 1,0 | 1,7 | 1,7 |
| KKR Rheinsberg * | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 |
| KGR Greifswald * | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |

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

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

| Forschungseinrichtung | Oberer Wert | | | | | |
|--|-----------------------------|------|-----------------|------|-------------------------------|------|
| | der effektiven Dosis in µSv | | | | der Schilddrüsen-dosis in µSv | |
| | für Erwachsene | | für Kleinkinder | | für Kleinkinder | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) * | 1,6 | 2,4 | 2,0 | 3,5 | 2,2 | 3,6 |
| Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR) * | 8,6 | 1,6 | 15 | 2,3 | 15 | 1,8 |
| Forschungszentrum Rossendorf (FSR) Gesamtstandort * | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,6 |
| GKSS-Forschungszentrum Geesthacht * | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)* | 0,4 | 11 | 0,6 | 19 | 0,6 | 18 |
| Garching, FRM I und FRM II | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |

* Entnommen aus den Jahresberichten 2007 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und Berlin

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

| Forschungseinrichtung | Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in µSv | |
|---|--|------|
| | 2007 | 2006 |
| | Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage) | <0,1 |
| Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR) | 1,6 | <2 |
| Forschungszentrum Rossendorf | 1,4 | 5 |
| GKSS-Forschungszentrum Geesthacht | 0,1 | <1 |

* Entnommen den Jahresberichten 2007 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.

Die Hanauer Betriebe sind im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen worden, die Berichterstattung über diese Anlagen wurde eingestellt.

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 1.3.1-5 Strahlenexposition 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 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 | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| ANF GmbH (Lingen) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| URENCO D (Gronau) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |

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

| Betrieb | Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder in μSv | |
|-------------------|--|------|
| | 2007 | 2006 |
| | ANF GmbH (Lingen) | <0,1 |
| URENCO D (Gronau) | <0,1 | <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 2007 0,14 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,38 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,98 μSv ; dies sind ca. 0,05%, 0,1% bzw. 0,3% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,29 μSv für Erwachsene, 1,0 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 3,02 μSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,3% bzw. 1,0% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2007 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.3.1-7 Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser
(*Radiation exposure in the surroundings of the Morsleben final repository 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 * | | 2007 | 2006 |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | | |
| Erwachsene | 0,14 | 0,14 | 0,29 | 0,31 | < 0,1 | < 0,1 |
| Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) | 0,38 | 0,41 | 1,00 | 1,14 | < 0,1 | < 0,1 |
| mit Muttermilch ernährte Säuglinge | 0,98 | 1,12 | 3,02 | 3,51 | < 0,1 | < 0,1 |

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

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus der Schachanlage Asse ist in Tabelle 1.3.1-8 aufgeführt. In den Jahren 2006 und 2007 wurden keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgegeben. Die potenzielle Strahlenexposition in der Umgebung der Schachanlage Asse resultiert somit ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2007 für Erwachsene 5,8 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 8,7 μSv und für Säuglinge 10,1 μSv . Dies sind ca. 1,9 / 2,9 bzw. 3,4 % des Grenzwertes nach Strahlenschutzverordnung. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Säuglinge 1a und Kleinkinder im Alter von 1-2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) wurde mit 36 μSv für Erwachsene, 14,3 μSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1-2 Jahre) und 19,9 μSv für Säuglinge ermittelt (ca. 2,0 / 4,8 bzw. 6,6 % des Grenzwertes).

Die angegebenen Messwerte zur Schachanlage Asse beruhen auf Betreiberangaben, da die Schachanlage keine kerntechnische Anlage gemäß AtG ist. Es erfolgt eine stichprobenartige Kontrolle der Messwerte durch das BfS.

Tabelle 1.3.1-8 Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser
(Radiation exposure in the surroundings of the Asse mine due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

| | Abluft * | | | | Abwasser | |
|--|-------------------------------|------|-------------------|------|-------------------------------|------|
| | Oberer Wert in μSv | | | | Oberer Wert in μSv | |
| | der effektiven Dosis | | der Organdosis ** | | der effektiven Dosis | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| Erwachsene | 5,8 | 5,5 | 4,7 | 31 | ‡ | ‡ |
| Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) | 8,7 | 8,1 | 14,3 | 13 | ‡ | ‡ |
| Säuglinge (≤ 1 Jahr) | 10,1 | 9,4 | 19,9 | 18 | ‡ | ‡ |

* Berechnet nach dem Entwurf der AVV zu § 47 StrlSchV (Stand 2001)

** Knochenoberfläche für Erwachsene, rotes Knochenmark für Säuglingen und Kleinkinder

‡ Da aus dem Forschungsbergwerk Asse betriebsmäßig keine Flüssigkeiten abgegeben werden, beschränkt sich die Emissionsüberwachung auf die Überwachung der Abluft. Diese wird regelmäßig auf ihren Gehalt an radioaktiven Stoffen untersucht

Bewertung

Die für 2007 aus den Jahresableitungen nach dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2007 deutlich unter 10 μSv pro Jahr.

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

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

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

Die Messnetze des BfS und des DWD sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Die geprüften Messergebnisse werden täglich der Zentralstelle des Bundes für IMIS (ZdB) bereitgestellt. Weitere Informationen zu den Radioaktivitätsmessnetzen von BfS und DWD sind in Teil A Kapitel 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, dem DWD, der PTB und dem Helmholtz Zentrum München 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 2007, 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 Cs-137, auf.

Als über 17 Messstationen des DWD errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivitätskonzentration der Luft resultierte für das Jahr 2007 ein Wert von 0,5 mBq/m³ (2006: 0,7 mBq/m³). Der Wert liegt innerhalb des Schwankungsbereichs der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide in der Luft.

Edelgase

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

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

Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der Ortsdosisleistung in Deutschland sehr klein.

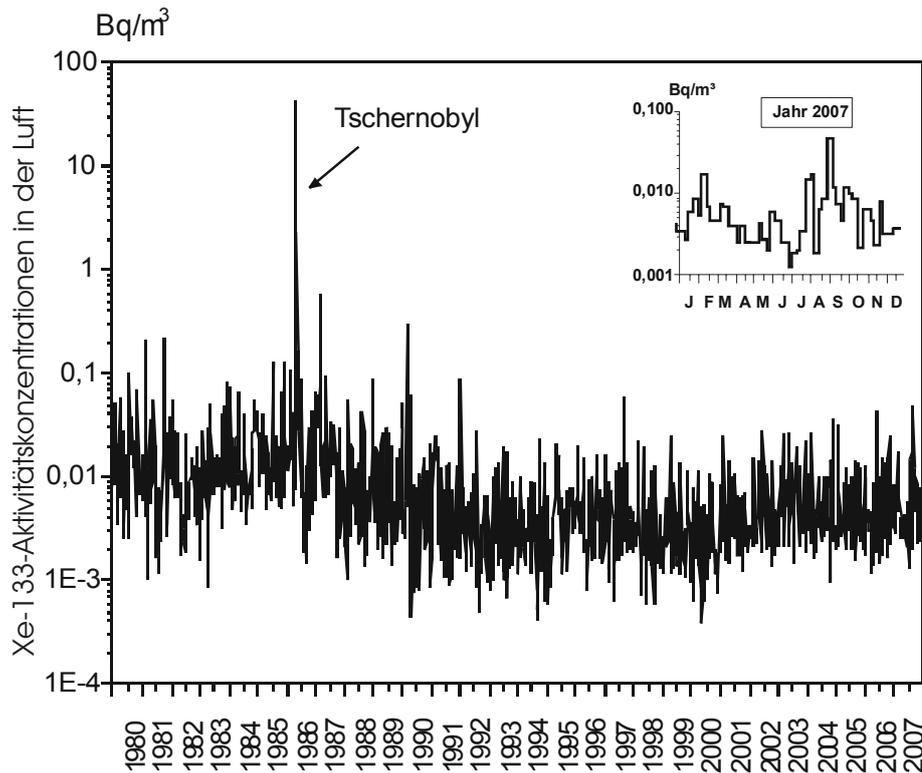


Abbildung 2.1.1-1 Xe-133-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Xe-133-activity concentration in air close to ground level at the sampling location in Freiburg)

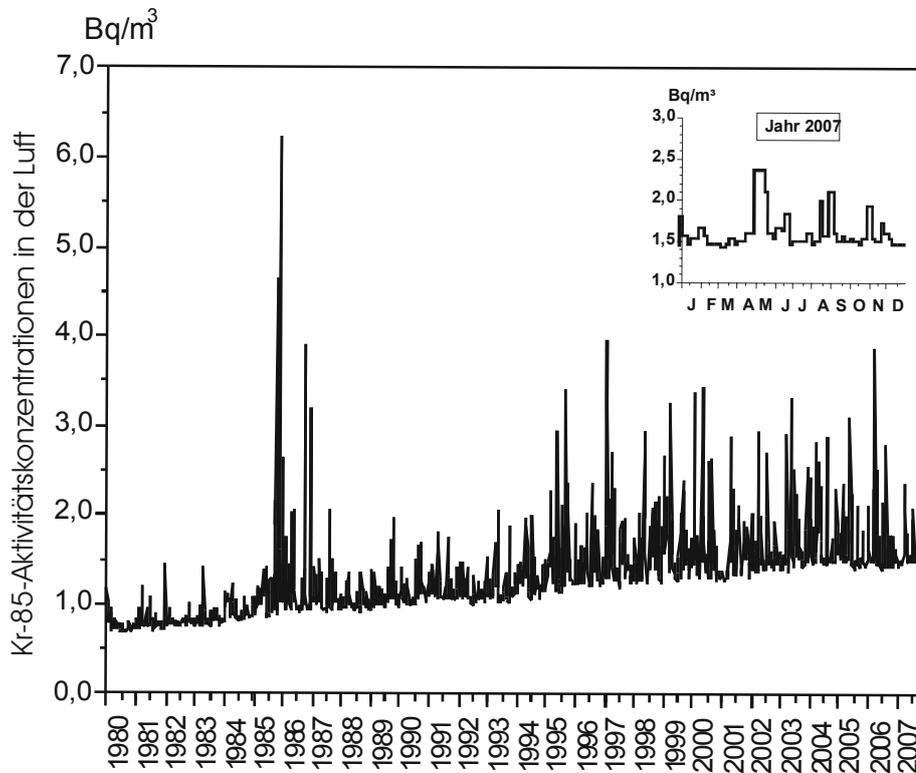


Abbildung 2.1.1-2 Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg
(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling location Freiburg)

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 des Helmholtz Zentrums München, des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Berichtet werden hier die jeweiligen Monatsmittelwerte und die daraus errechneten Jahresmittelwerte.

Die Messergebnisse von Be-7 und Cs-137 an den Messstellen Offenbach und Berlin werden in Abbildung 2.1.1-3 grafisch dargestellt. Das Radionuklid Cs-137 ließ sich hier mit Werten zwischen 0,2 und 1,5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft und das kosmogene Be-7 mit Werten zwischen 1,7 und 5,2 mBq/m^3 Luft nachweisen, das heißt im üblichen Schwankungsbereich. An allen Messstationen zeigten sich in den Monaten April, Mai und Juni deutlich höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des Be-7 als in den übrigen Monaten. Dies ist auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre zurückzuführen und damit auf einen stärkeren Eintrag des Be-7 aus der oberen Atmosphäre in die bodennahe Luft.

Die Messungen des Helmholtz Zentrums München zeigen ähnliche Aktivitätskonzentrationen wie im vorangegangenen Jahr. Die Aktivitätskonzentration für Cs-137 lag im Jahresmittel bei 0,93 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 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 bei 0,4 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft (vgl. Abbildung 2.1.1-4, Tabelle 2.1.1-1d). Dieser Wert entspricht im Rahmen der üblichen Schwankungen den Werten der vergangenen Jahre. Kurzfristige Erhöhungen der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft treten einzeln, insbesondere bei Ostwind-Wetterlagen auf. Sie sind durch verstärkte Resuspension (z. B. bei langer Trockenheit) des Cäsiums aus höher belasteten Regionen in der Gegend um Tschernobyl erklärbar. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei 0,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Messwerte für Be-7 in den Wochenproben lagen mit Werten zwischen 2 und 10 mBq/m^3 innerhalb des für diese Station üblichen Rahmens. Auf Grund der Lage der Station (1.200 m ü. N.N.) können hier höhere Werte für die Aktivitätskonzentration des kosmogenen Be-7 erreicht werden als bei niedriger gelegenen Stationen.

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

a) Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt
Probenentnahmestelle: Braunschweig

| Zeitraum | Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ | | | | |
|-----------|--|-------|------|--------|--------|
| | Be-7 | Na-22 | K-40 | Cs-137 | Pb-210 |
| 1998 | 3235 | 0,35 | 8,4 | 0,63 | 298 |
| 1999 | 3361 | 0,42 | 8,8 | 0,50 | 319 |
| 2000 | 2855 | 0,35 | 9,7 | 0,50 | 283 |
| 2001 | 2609 | 0,32 | 8,3 | 0,41 | 273 |
| 2002 | 2530 | 0,3 | 9 | 0,7 | 310 |
| 2003 * | 2730 | 0,4 | 10 | 0,62 | 344 |
| 2004 * | 2650 | 0,3 | 10 | 0,35 | 252 |
| 2005 * | 3300 | 0,3 | 10 | 0,43 | 434 |
| 2006 * | 3810 | 0,5 | 11 | 0,58 | 438 |
| 2007 * | 3641 | 0,4 | 9,1 | 0,40 | 309 |
| Januar | 2431 | 0,2 | 5 | 0,15 | 103 |
| Februar | 2239 | 0,2 | 5 | 0,50 | 235 |
| März | 3647 | 0,4 | 11 | 0,83 | 320 |
| April | 5171 | 0,6 | 14 | 0,85 | 337 |
| Mai | 4505 | 0,6 | 10 | 0,34 | 249 |
| Juni | 5283 | 0,8 | 8 | 0,23 | 372 |
| Juli | 3997 | 0,5 | 11 | 0,12 | 220 |
| August | 3439 | 0,4 | 13 | 0,20 | 285 |
| September | 3783 | 0,3 | 7 | 0,19 | 270 |
| Oktober | 3714 | 0,3 | 8 | 0,68 | 625 |
| November | 2455 | 0,2 | 6 | 0,29 | 285 |
| Dezember | 3104 | 0,2 | 10 | 0,46 | 364 |

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet

b) Messungen des Helmholtz Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, München-Neuherberg
 Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

| Zeitraum | Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ | | | | |
|-----------|--|--------|---------|--------|--------|
| | Be-7 | Na-22 | Cs-134 | Cs-137 | Pb-210 |
| 1998 | 3660 | 0,5 | < 0,11 | 2,1 | 400 |
| 1999 | 3320 | 0,4 | < 0,06 | 1,5 | 380 |
| 2000 | 3030 | 0,4 | < 0,06 | 1,7 | 420 |
| 2001 | 2820 | 0,34 | < 0,059 | 1,53 | 417 |
| 2002 | 3040 | < 0,31 | k. A. | 1,44 | 475 |
| 2003 | 3250 | < 0,30 | < 0,07 | 1,61 | 476 |
| 2004 * | 2590 | < 0,28 | < 0,07 | 0,96 | 352 |
| 2005 * | 2970 | < 0,40 | < 0,07 | 1,03 | 494 |
| 2006 * | 3010 | < 0,29 | < 0,07 | 1,06 | 431 |
| 2007 * | 3010 | < 0,32 | k. A. | 0,93 | 357 |
| Januar | 2550 | < 0,17 | k. A. | 0,84 | 201 |
| Februar | 2450 | 0,23 | k. A. | 1,40 | 333 |
| März | 2880 | 0,31 | k. A. | 1,06 | 297 |
| April | 4610 | 0,44 | k. A. | 1,24 | 373 |
| Mai | 4510 | 0,48 | k. A. | 0,96 | 358 |
| Juni | 4180 | 0,51 | k. A. | 0,47 | 342 |
| Juli | 4890 | 0,55 | k. A. | 0,45 | 347 |
| August | 4470 | 0,43 | k. A. | 0,56 | 465 |
| September | 3860 | < 0,22 | k. A. | 0,71 | 426 |
| Oktober | 2550 | < 0,23 | k. A. | 1,13 | 614 |
| November | 1190 | < 0,13 | k. A. | 0,94 | 217 |
| Dezember | 1550 | < 0,12 | k. A. | 1,39 | 317 |

< 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 |
| 1998 | 2646 | < 3,4 | 3443 | < 3,1 | 3066 | < 3,2 | 3140 | < 2,0 |
| 1999 | 2750 | < 3,6 | 3460 | < 3,0 | 3590 | < 3,3 | 3360 | < 1,8 |
| 2000 | 2168 | < 3,3 | 2892 | < 2,9 | 2898 | < 3,8 | 2735 | < 1,6 |
| 2001 | 1930 | < 3,4 | 2760 | < 3,1 | 2870 | < 3,7 | 2550 | < 2,2 |
| 2002 | 2284 | < 3,6 | 2769 | 1,3 | 2821 | 1,6 | 2803 | < 2,6 |
| 2003 | 2233 | < 3,7 | 1451 | 0,5 | 1387 | 0,8 | 1606 | < 2,8 |
| 2004 | 2240 | < 4,2 | 2870 | 0,4 | 2510 | 0,6 | 2870 | < 2,8 |
| 2005 * | 2320 | < 4,4 | 3020 | 0,4 | 2840 | 0,6 | 3080 | < 2,8 |
| 2006 * | 2913 | < 4,6 | 3910 | 0,5 | 3746 | 1,1 | 3932 | < 3,4 |
| 2007 * | 3021 | < 3,3 | 3684 | 0,3 | 3312 | 0,6 | 3711 | < 2,9 |
| Januar | 2380 | < 3,1 | 2390 | 0,2 | 2170 | 0,2 | 2670 | < 2,6 |
| Februar | 2070 | < 4,4 | 2240 | 0,3 | 2470 | 0,9 | 2710 | < 3,0 |
| März | 3590 | < 4,6 | 3050 | 0,4 | 3040 | 1,5 | 3660 | < 2,5 |
| April | 3960 | < 5,7 | 4780 | 0,6 | 4250 | 1,1 | 5810 | < 4,0 |
| Mai | 2460 | < 3,6 | 5130 | 0,3 | 4280 | 0,4 | 4830 | < 2,8 |
| Juni | 5150 | < 5,8 | 4910 | 0,2 | 4860 | 0,4 | 4250 | < 2,9 |
| Juli | 3070 | < 3,4 | 4600 | < 0,1 | 3850 | 0,3 | 3740 | < 3,1 |
| August | 2900 | < 1,9 | 3790 | < 0,6 | 3420 | 0,3 | 3140 | < 3,1 |
| Sept. | 2590 | < 1,8 | 4040 | < 0,2 | 3650 | 0,4 | 3790 | < 3,1 |
| Oktober | 3040 | < 2,4 | 3500 | 0,4 | 3260 | 0,6 | 3410 | < 2,7 |
| November | 1940 | < 1,7 | 2590 | 0,6 | 1740 | 0,4 | 3190 | < 2,6 |
| Dezember | 3100 | < 1,6 | 3190 | 1,0 | 2750 | 0,6 | 3330 | < 2,3 |

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenentnahmestelle: Messstation Schauinsland

| Zeitraum | Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ | |
|-----------|--|--------|
| | Be-7 | Cs-137 |
| 1998 | 4488 | 1,0 |
| 1999 | 4106 | 0,63 |
| 2000 | 3754 | 0,47 |
| 2001 | 3494 | 0,43 |
| 2002 | 3767 | 0,45 |
| 2003 * | 4540 | 0,6 |
| 2004 * | 3870 | 0,44 |
| 2005 * | 4050 | < 0,35 |
| 2006 * | 4960 | < 0,4 |
| 2007 * | 4960 | 0,40 |
| Januar | 3330 | 0,29 |
| Februar | 4480 | 0,26 |
| März | 3700 | 0,38 |
| April | 7680 | 0,91 |
| Mai | 5870 | 0,66 |
| Juni | 5730 | 0,30 |
| Juli | 5580 | 0,33 |
| August | 4650 | 0,32 |
| September | 5140 | 0,27 |
| Oktober | 4880 | 0,57 |
| November | 3670 | 0,27 |
| Dezember | 4780 | 0,25 |

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

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

| Zeitraum | Aktivitätskonzentration in mBq/m^3 | | | |
|-----------|--|--------|--------------|--------|
| | Freiburg | | Schauinsland | |
| | Kr-85 | Xe-133 | Kr-85 | Xe-133 |
| 1998 | 1623 | 5,1 | 1619 | 4,3 |
| 1999 | 1699 | 3,6 | 1736 | 5,0 |
| 2000 | 1641 | 3,4 | 1692 | 5,6 |
| 2001 | 1573 | 5,4 | 1593 | 8,0 |
| 2002 | 1604 | 5,0 | 1695 | 5,7 |
| 2003 * | 1700 | 7,5 | 1680 | 6,5 |
| 2004 * | 1780 | 6,0 | 1790 | 5,9 |
| 2005 * | 1690 | 5,6 | 1652 | 4,9 |
| 2006 * | 1710 | 6,0 | 1660 | 6,5 |
| 2007 * | 1590 | 9,3 | 1550 | 6,6 |
| Januar | 1570 | 3,9 | 1230 | 4,5 |
| Februar | 1550 | 9,6 | 1540 | 9,4 |
| März | 1470 | 20,1 | 1470 | 10,0 |
| April | 1510 | 3,3 | 1520 | 3,8 |
| Mai | 1900 | 2,7 | 1810 | 4,0 |
| Juni | 1660 | 3,8 | 1650 | 4,6 |
| Juli | 1490 | 22,0 | 1470 | 2,0 |
| August | 1620 | 9,6 | 1640 | 11,3 |
| September | 1690 | 17,9 | 1680 | 16,7 |
| Oktober | 1490 | 8,3 | 1470 | 5,1 |
| November | 1640 | 7,3 | 1580 | 5,6 |
| Dezember | 1500 | 3,0 | 1510 | 2,0 |

* Jahresmittelwerte: aus den Monatsmittelwerten berechnet und gerundet

Der im Herbst 2006 auf dem Dach der BfS-Dienststelle in Freiburg installierte Hochvolumensammler (Luftdurchsatz: ca. $750 \text{ m}^3/\text{h}$, bezogen auf Standardbedingungen), wurde im Laufe des letzten Jahres in den Routinebetrieb überführt. Die ermittelten Daten ermöglichen einen direkten Vergleich der Aktivitätskonzentrationen auf dem Schauinsland mit denen im ca. 1.000 m tiefer gelegenen Freiburg. So sind am Probenentnahmeort Freiburg lokale Einflüsse stärker ausgeprägt. Vereinzelt wurden hier z. B. Spuren von I-131 im Luftstaub gemessen, die in den parallel auf dem Schauinsland genommenen Proben nicht nachgewiesen werden konnten. Als mögliche Quellen kommen Kliniken und Müllverbrennungsanlagen im südlichen Oberrheintal in Betracht.

Auch in Braunschweig liegen die meisten Messergebnisse im Bereich der Werte, die in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden (vgl. auch Abbildung 2.1.1-5). In der Abbildung ist in den Wochen 12 bis 18 der für diese Jahreszeit übliche Anstieg der Aktivitätskonzentration des K-40 durch Pollenflug und der des Cs-137 in Folge einer Ostwind-Wetterlage erkennbar. Das Aktivitätsverhältnis $A(\text{Cs } 137)/A(\text{K-40})$ steigt durch den Eintrag von Bodenstaub aus Osteuropa an, der stärker mit Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall kontaminiert ist als der Boden in Norddeutschland (z. B. in der 43. Woche). Im weiteren Verlauf des Jahresganges fällt der Jahreshöchstwert der Aktivitätskonzentration des K-40 in der 31. Woche auf. Im Sommer 2007 wurde ein Autobahnteilstück in ca. 1 km Entfernung zur PTB saniert, wobei in dieser Woche extrem viel Staub von der Baustelle in den Sammler gelangte, so dass sehr viel Kalium in der Probe enthalten war.

Die Erläuterungen in Abbildung 2.1.1-5 enthalten Hinweise auf sehr geringe Spuren von Mn-54, Co-60 und Zn-65, die bei trockenen Ostwind-Wetterlagen beobachtet wurden. Die Quelle dieser künstlichen Radionuklide ist unbekannt, da die Trajektorien keine eindeutige Zuordnung zu einem Emittenten erlauben. Im Einzelnen wurden folgende Aktivitätskonzentrationen gemessen:

Woche 25: $a(\text{Co-60}) = (0,043 \pm 0,005) \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, Nachweisgrenze: $0,037 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Woche 43: $a(\text{Mn-54}) = (0,053 \pm 0,007) \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, Nachweisgrenze: $0,024 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Darüber hinaus wurden Spuren von Co-60 und Zn-65 im Bereich der jeweiligen Nachweisgrenzen identifiziert.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Luftfilter der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig zur Bestimmung von Sr-90, Uran-, Plutonium- und Americium-Nuklide in Monatsproben radiochemisch analysiert. Für das aerosolgebundene U-234 wie auch für U-238 wurden Aktivitätskonzentrationen zwischen $0,07$ und $0,45 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ermittelt. Diese Messwerte lagen im Bereich der natürlichen Schwankungen. Erhöhte Werte für Cs-137 wurden begleitet von gleichfalls erhöhten Werten für U-234 und U-238 (Abb. 2.1.1-6). Damit lässt sich die These für Resuspension als Quelle der Einträge erhärten. Für Pu-(239+240) wurden keine Werte oberhalb der Nachweisgrenze gemessen, die Nachweisgrenzen lagen zwischen $0,001$ und $0,015 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Die Aktivitätskonzentration des Sr-90 wurde mit Werten zwischen $0,01$ und $0,16 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft bestimmt. Die Nachweisgrenzen lagen zwischen $0,01$ und $0,07 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Gleiche Nachweisgrenzen resultieren auch für Am-241. Gemäß den Vorgaben des Routinemessprogramms werden für die Alphastrahler in der Luft Nachweisgrenzen von $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und für Sr-90 $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ gefordert. Diese wurden eingehalten.

Die Messreihen der PTB zeigen die Messergebnisse von Plutonium-Nuklide (vgl. Abbildung 2.1.1-7) und Uran-Nuklide (vgl. Abbildung 2.1.1-8) in den Monatsproben 2007. Der Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Pu-(239+240) und Pu-238 liegt im üblichen Schwankungsbereich, der tendenziell im Sommer etwas höhere Aktivitätskonzentrationen als im Winter aufweist. Durch die Umstellung von Quartalsproben auf Monatsproben Ende 2006 ergeben sich für 2007 z. T. merklich höhere Messunsicherheiten bei der Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen $a(\text{Pu-238})$ zwischen 11% und 70%. In regenreichen Monaten erreicht $a(\text{Pu-238})$ die Nachweisgrenze, die erstmalig im Dezember 2007 unterschritten wurde. Das Aktivitätsverhältnis $A(\text{Pu-238})/A(\text{Pu-(239+240)})$ lag 2007 mit Werten zwischen 9% und 42% im üblichen Schwankungsbereich. Seit 1990 wurden schon mehrfach Aktivitätsverhältnisse von bis zu 0,45 im Luftstaub gemessenen. In allen Fällen blieb jedoch die Herkunft des quasi „zusätzlichen“ Pu-238 unbekannt [1, 2].

Nach AVV-IMIS bestimmt die PTB seit Januar 2007 die Aktivitätskonzentration der in der Luft enthaltenen Uran-Nuklide. Die Abbildung 2.1.1-8 zeigt auch das Aktivitätsverhältnis $A(\text{U-235})/A(\text{U-238})$, das im Berichtszeitraum im Rahmen der Messunsicherheiten immer im Bereich des zu erwartenden natürlichen Verhältnisses lag. Die Aktivitätskonzentrationen $a(\text{U-234})$ und $a(\text{U-238})$ lagen zwischen $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, was gut mit den vom DWD in Berlin gemessenen Ergebnissen übereinstimmt. Die Aktivitätskonzentrationen $a(\text{U-235})$ liegen mit Messwerten zwischen $0,004 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,024 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ebenfalls im Bereich der in Berlin gemessenen Ergebnisse.

Die Bestimmung des Sr-90 erfolgt seit Januar 2007 ebenfalls an Monatsproben anstatt wie vorher an Quartalsproben. Die Aktivitätskonzentration $a(\text{Sr-90})$ lag im Berichtsjahr zwischen $0,02 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ und $0,08 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Wie bei der Bestimmung von $a(\text{Pu-238})$ hat die verkürzte Sammelzeit auch hier einen Einfluss auf die Messunsicherheiten, die im Bereich von 10% bis 55% liegen, und die Nachweisgrenzen.

Literatur:

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

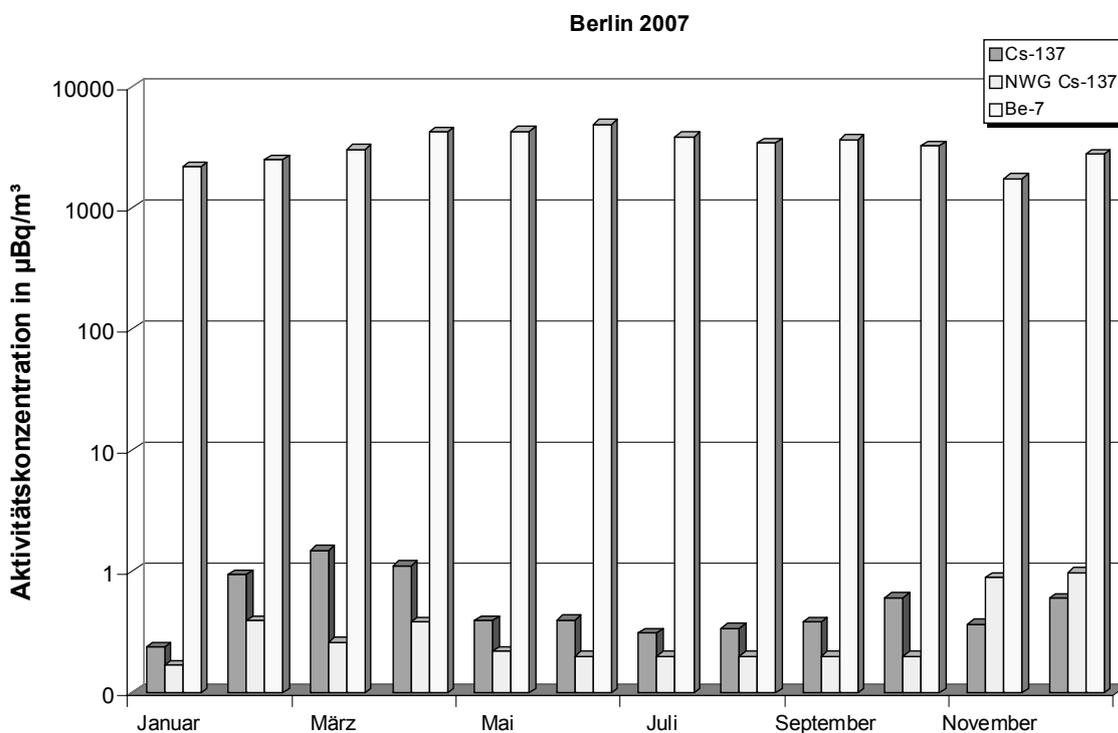
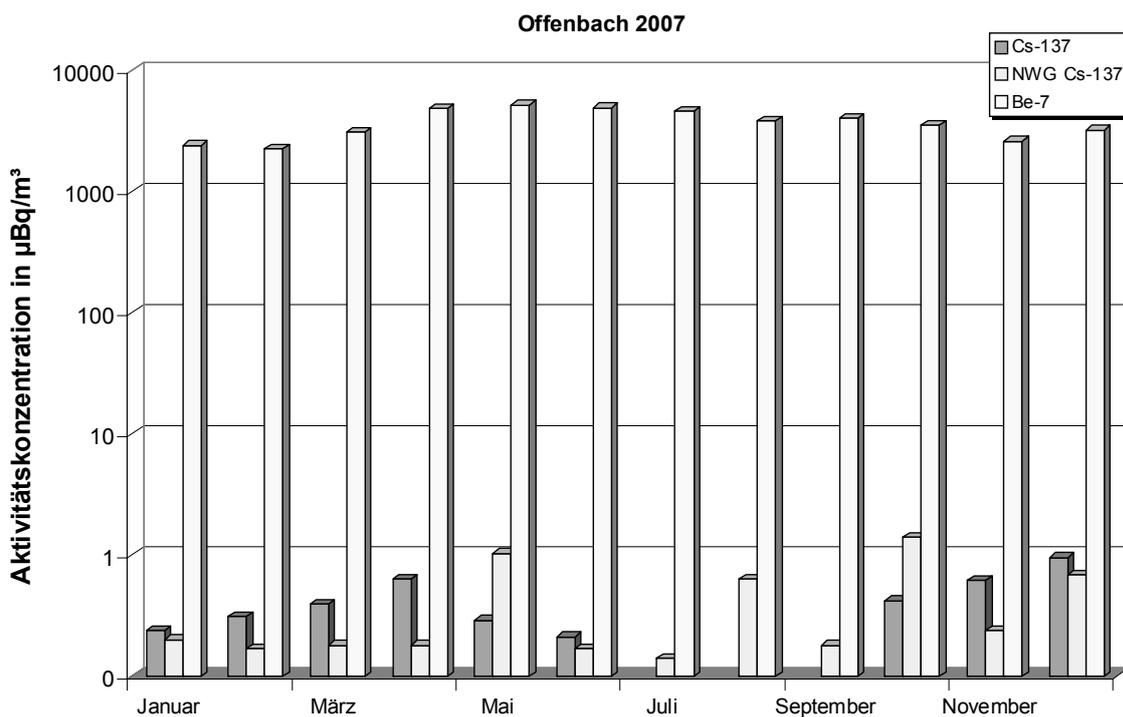


Abbildung 2.1.1-3 Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft im Jahr 2007 - DWD-Stationen Berlin und Offenbach
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level in 2007 at the DWD stations in Berlin and Offenbach)

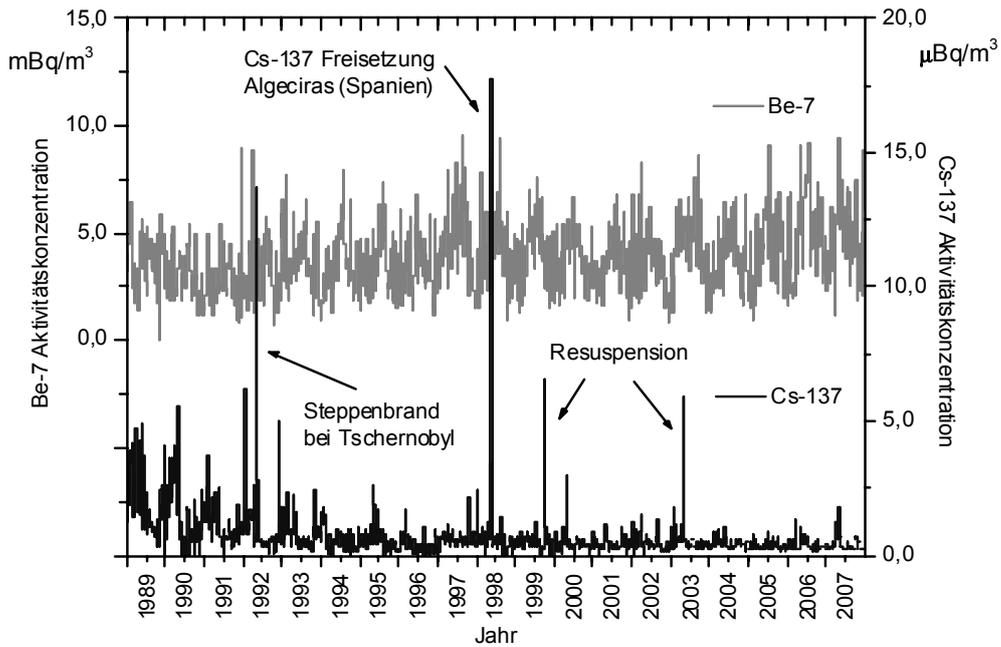


Abbildung 2.1.1-4: Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft am Probenentnahmestort Schauinsland
(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level at Schauinsland measuring station)

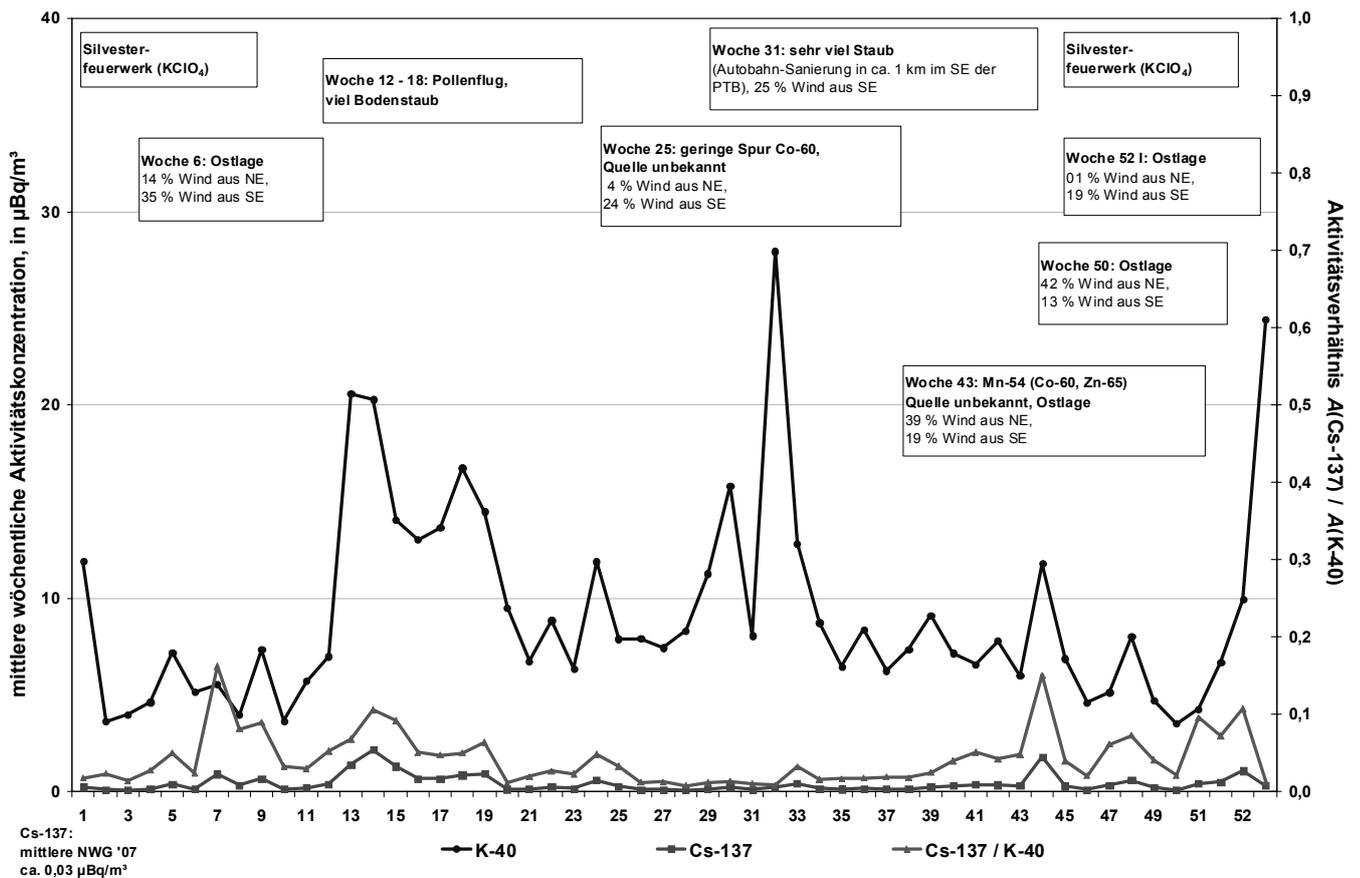


Abbildung 2.1.1-5: Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft 2007 am Probenentnahmestort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of K-40 and Cs-137 in ground-level air at the sampling site Braunschweig in 2007)

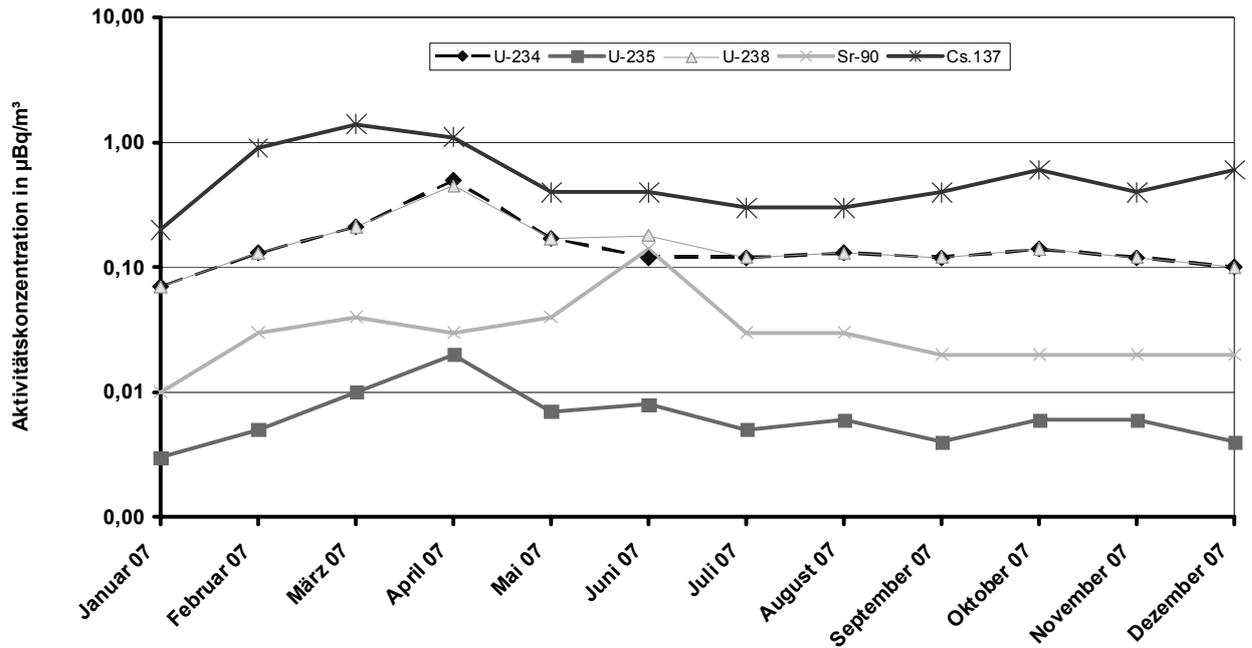


Abbildung 2.1.1-6 Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft für das Jahr 2007 am Probenentnahmeort Berlin
(Activity concentrations and activity ratio in ground-level air at the sampling site Berlin from 2007)

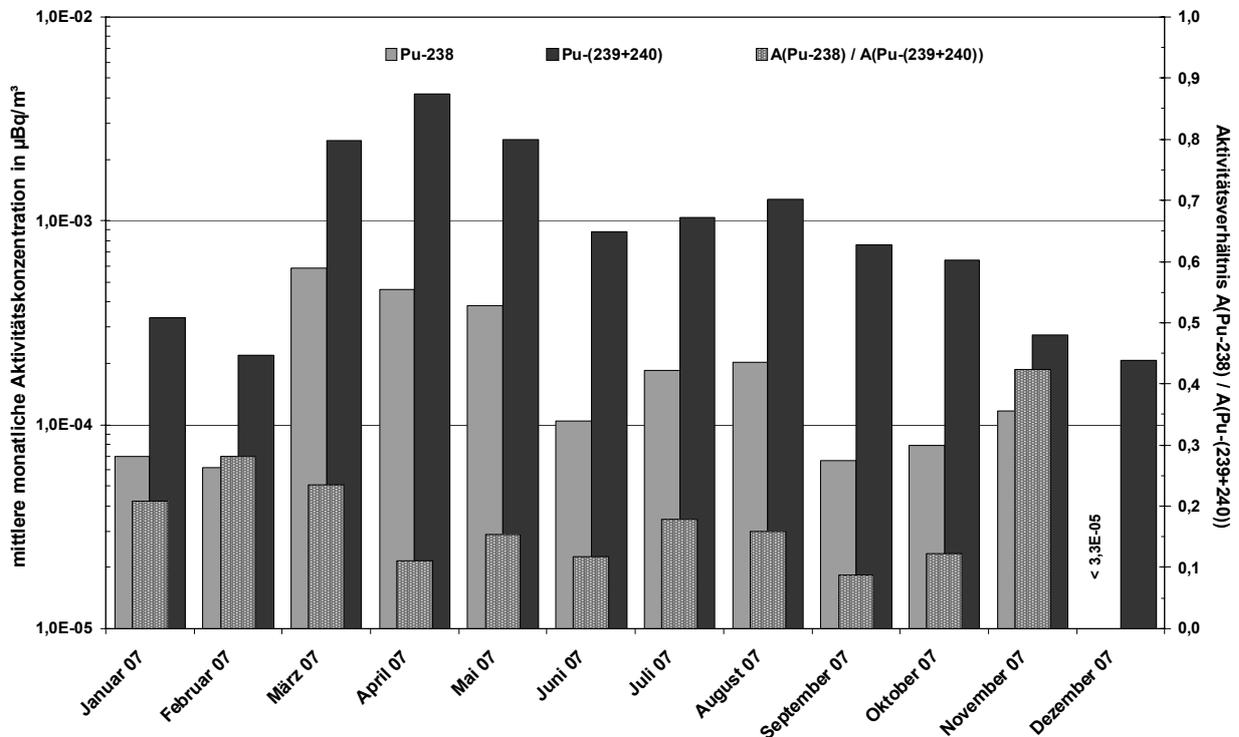


Abbildung 2.1.1-7 Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von Plutonium-Nuklide in der bodennahen Luft für das Jahr 2007 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of plutonium nuclides in ground-level air at the sampling site Braunschweig from 2007)

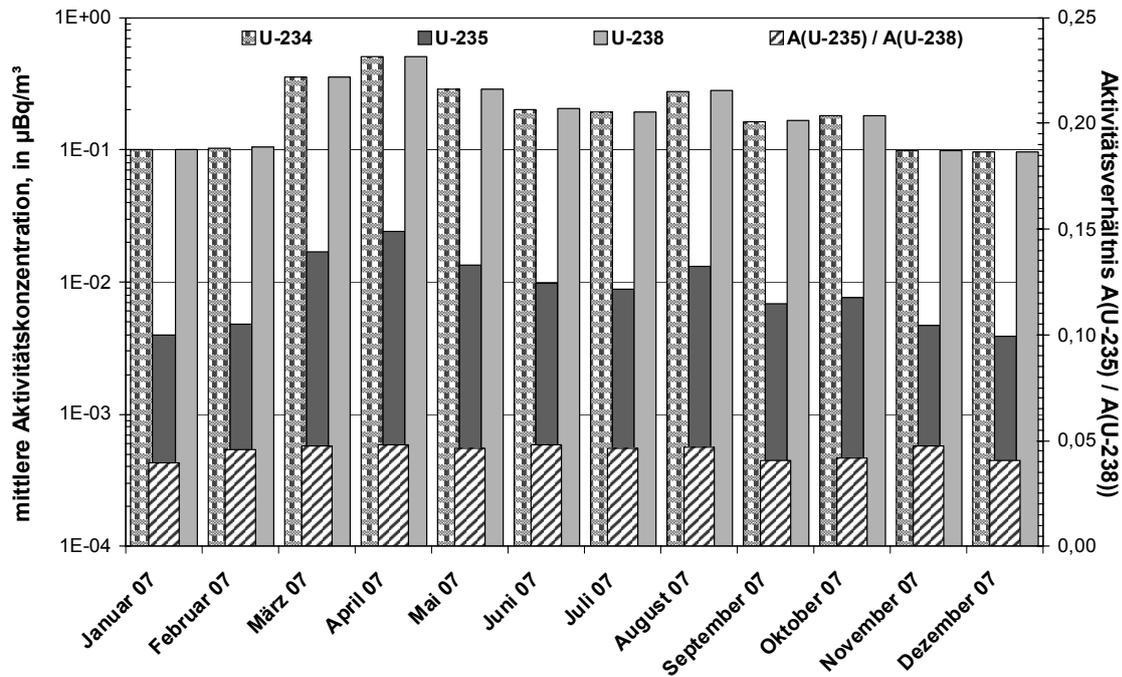


Abbildung 2.1.1-8 Aktivitätskonzentrationen und Aktivitätsverhältnis von Uran-Nuklide in der bodennahen Luft für das Jahr 2007 am Probenentnahmeort Braunschweig
(Activity concentrations and activity ratio of uranium nuclides in ground-level air at the sampling site Braunschweig from 2007)

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

Gesamt- β -Aktivität

Zur Fortsetzung der langjährigen Messreihe wurde die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag (Gesamtdosition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Dosition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2007 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Dosition von 56 Bq/m^2 (2006: 54 Bq/m^2).

Der Messwert liegt im Schwankungsbereich der Messunsicherheiten, somit ist keine Veränderung zum Vorjahr nachweisbar. Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfallunfall 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 Dosition zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2007 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Dositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 2.1.2-2. Hier heben sich besonders die niederschlagsreichen Bergstationen hervor.

Gammaspektrometrie

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Die Nachweisgrenzen für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lagen zwischen $0,2$ bis 20 mBq/l in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Niederschlagsmenge. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in den Tabellen 2.1.2-1a) und 2.1.2-1b) als Monatswerte und als aufsummierte Jahreswerte zusammengefasst. Diese Daten dienen als Vergleichsgrößen, um Veränderungen gegenüber den Vorjahren festzustellen. Die Werte waren im Jahr 2007 ähnlich denen im Jahr 2006. Abbildung 2.1.2-3 zeigt für die Messstationen Offenbach und Berlin die aus den Aktivitätskonzentrationen und der Niederschlagsmenge errechneten Werte für die monatliche Dosition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 lagen die Nachweisgrenzen zwischen $0,01 \text{ Bq/m}^2$ und $0,16 \text{ Bq/m}^2$. Für das kosmogene Be-7 wurden Messwerte zwischen $0,3$ und 237 Bq/m^2 (Offenbach) bzw. zwischen 1 und 67 Bq/m^2 (Berlin) anhand von Monatsproben ermittelt. Mit höherer Niederschlagsmenge steigt auch die Dosition von Be-7.

Die im Jahr 2006 wieder aufgenommenen γ -spektrometrischen Messungen des Helmholtz Zentrums München zur Bestimmung der am Boden deponierten Aktivität wurde 2007 fortgesetzt. Die Monatsmittelwerte am Probenentnahmeort in Neuherberg sind in Tabelle 2.1.2-2 zusammengestellt.

Radiochemie

Im Labor des DWD in Offenbach wurden Niederschlagsproben der Messstationen Berlin, München, Offenbach und Schleswig bezogen auf ein Sammelintervall von einem Monat analysiert. Es wurden Sr-90, Tritium sowie die Nuklide

von Uran, Plutonium und Americium bestimmt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen je nach Niederschlagsmenge für Sr-90 ca. 0,05 bis 0,7 mBq/l, für Pu-(239+240)-Werte von 0,01 bis 0,7 mBq/l, für Am-241 von 0,01 bis 0,3 mBq/l und für Tritium ca. 0,4 Bq/l. Natürlich vorkommendes, aerosolgebundenes U-234 und U-238 wurde aus der Luft ausgewaschen und im Niederschlag mit Werten von 0,03 mBq/l (166 Liter Niederschlag) bis 2,5 mBq/l (3,4 Liter Niederschlag) nachgewiesen. In den Monaten mit erhöhten Aktivitätskonzentrationen in der Luft muss auch mit entsprechend höheren Werten im Niederschlag gerechnet werden. Die geforderten Nachweisgrenzen für Sr-90 mit 1 mBq/l und für Pu-(239+240) mit 0,02 mBq/l wurden meist eingehalten, sie sind bei einer mittleren Niederschlagsmenge von 70 Liter/m² und Monat erreichbar. Hingegen fiel im April 2007 nur wenig Niederschlag, so dass die Nachweisgrenze wegen zu geringer Probenmenge nicht einzuhalten war.

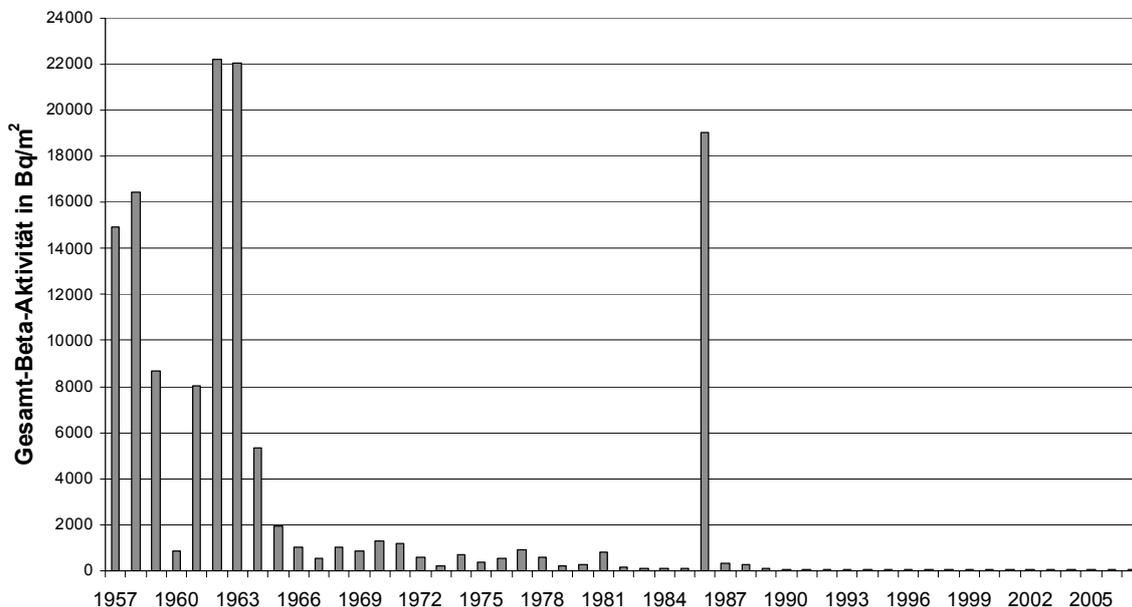


Abbildung 2.1.2-1 Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag – Jahresmittelwerte der Jahressummen an den DWD-Messstationen von 1957 bis 2007
 (Long-lived total β activity in precipitation – Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations, 1957 - 2007)

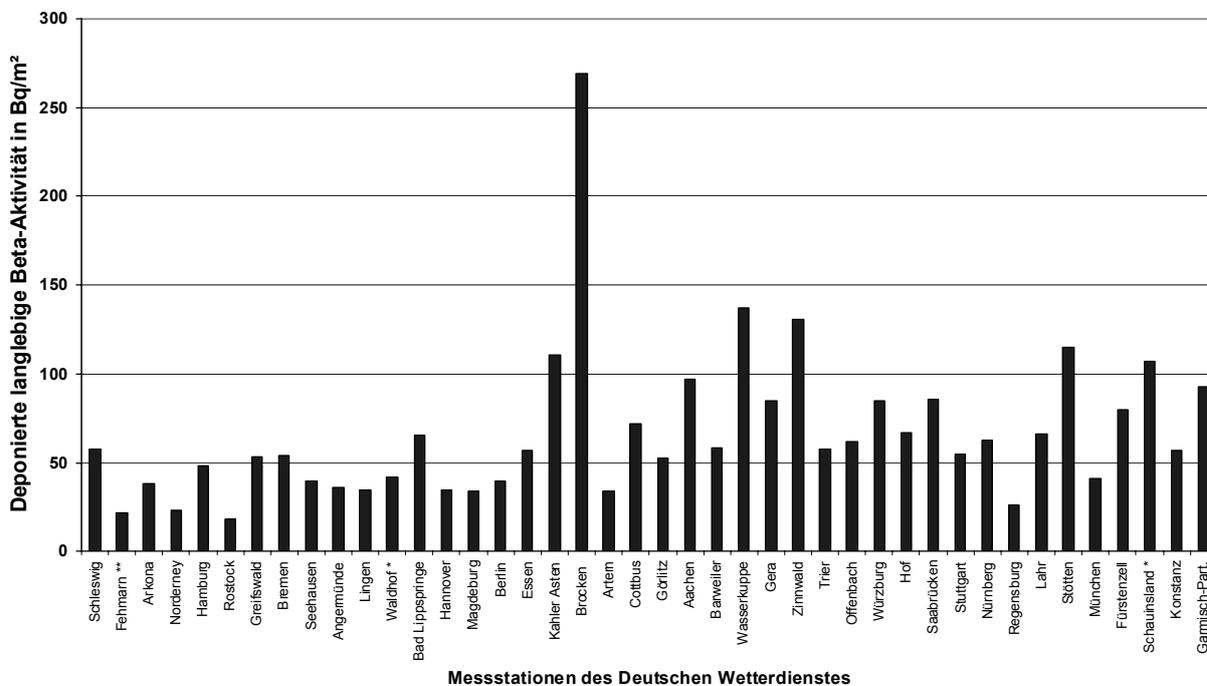


Abbildung 2.1.2-2 Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2007 zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität – stationsspezifische Jahressummen
 (Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2007)

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

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

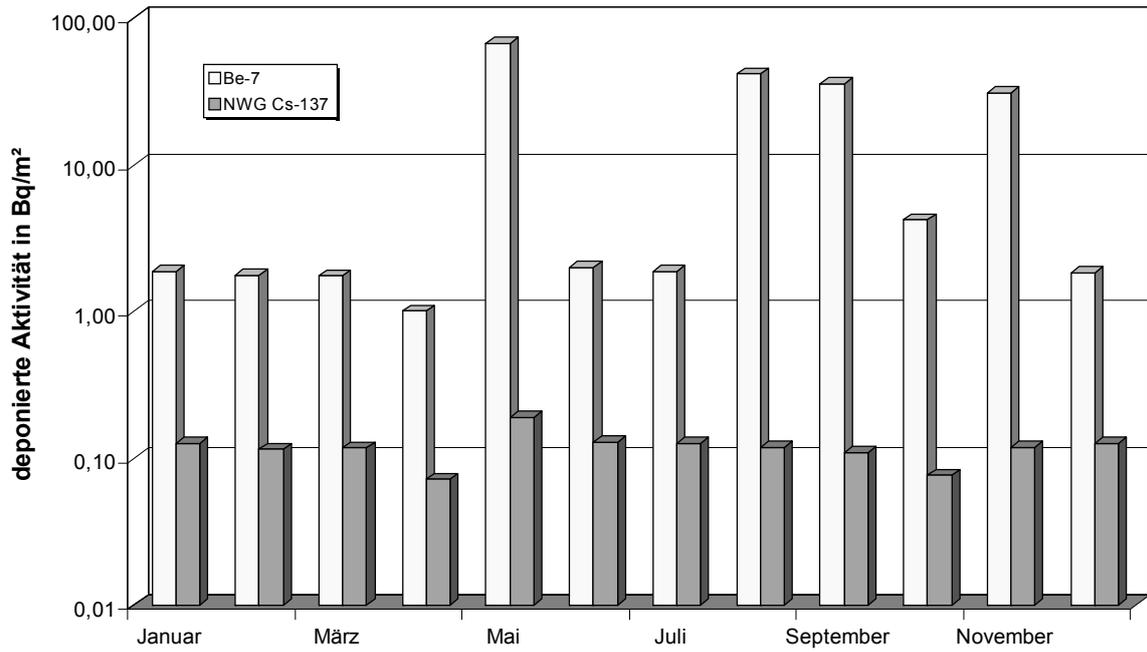
| Zeitraum | Offenbach am Main | | | Berlin | | |
|-----------|-------------------|---------------------------------|--------|------------------|---------------------------------|--------|
| | l/m ² | Deposition in Bq/m ² | | l/m ² | Deposition in Bq/m ² | |
| | | Be-7 | Cs-137 | | Be-7 | Cs-137 |
| 1997 | 436,2 | 580 | < 0,53 | 526,2 | 628 | < 1,25 |
| 1998 | 636,5 | 813 | < 0,61 | 623,5 | 766 | < 1,50 |
| 1999 | 645,3 | 832 | < 0,60 | 449,2 | 408 | < 1,30 |
| 2000 | 736,2 | 828 | < 0,55 | 590,3 | 449 | < 1,48 |
| 2001 | 826,1 | 725 | < 0,84 | 596,2 | 501 | < 1,7 |
| 2002 | 735,9 | 718 | < 0,82 | 736,8 | 608 | < 1,83 |
| 2003 | 239,9 | 162 | < 0,56 | 212,9 | 74 | < 0,77 |
| 2004 | 617,6 | 567 | < 0,92 | 533,2 | 363 | < 1,38 |
| 2005 | 559,2 | 639 | < 0,46 | 590,2 | 308 | < 1,37 |
| 2006 | 620,3 | 860 | < 0,56 | 451,5 | 361 | < 1,56 |
| 2007 | 677,3 | 458 | < 0,57 | 846,5 | 191,95 | < 1,45 |
| Januar | 34,6 | 0,3 | < 0,02 | 106,4 | 1,9 | < 0,13 |
| Februar | 60,9 | 0,6 | < 0,03 | 55,1 | 1,8 | < 0,12 |
| März | 47,2 | 47,1 | < 0,05 | 61,8 | 1,75 | < 0,12 |
| April | 1,0 | 0,6 | < 0,04 | 2,1 | 1,0 | < 0,07 |
| Mai | 97,8 | 0,7 | < 0,06 | 146,2 | 67,5 | < 0,19 |
| Juni | 134,0 | 237 | < 0,06 | 114,5 | 2,0 | < 0,13 |
| Juli | 34,6 | 0,3 | < 0,02 | 106,4 | 1,9 | < 0,13 |
| August | 71,7 | 91,6 | < 0,07 | 87,5 | 41,7 | < 0,12 |
| September | 60,8 | 0,4 | < 0,03 | 79,2 | 35,7 | < 0,11 |
| Oktober | 8,2 | 0,5 | < 0,03 | 5,2 | 4,2 | < 0,08 |
| November | 60,4 | 65,4 | < 0,07 | 55,7 | 30,7 | < 0,12 |
| Dezember | 26,1 | 1,3 | < 0,09 | 26,4 | 1,8 | < 0,13 |

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 | 1.251 | < 0,96 | 1.049,1 | 820 | < 1,14 |
| 1999 | 833,1 | 1.005 | < 1,01 | 908,0 | 766 | < 1,05 |
| 2000 | 946,3 | 1.028 | < 1,06 | 736,3 | 619 | < 1,08 |
| 2001 | 950,8 | 935 | < 1,24 | 874,9 | 515 | < 1,22 |
| 2002 | 945,0 | 1.019 | < 1,08 | 1.083,3 | 771 | 0,81 - < 2,06 |
| 2003 | 467,6 | 286 | < 0,68 | 377,4 | 304 | < 0,64 |
| 2004 | 888,8 | 1.013 | < 0,82 | 892,4 | 676 | < 1,07 |
| 2005 | 716,4 | 787 | < 0,84 | 763,1 | 669 | < 1,08 |
| 2006 | 799,3 | 950 | < 0,83 | 768,6 | 537 | < 1,01 |
| 2007 | 950,1 | 735 | < 0,9 | 1.004,7 | 319 | < 0,99 |
| Januar | 92,4 | 1,7 | < 0,09 | 174,8 | 1,3 | < 0,09 |
| Februar | 76 | 1,1 | < 0,07 | 71,9 | 83,5 | < 0,09 |
| März | 64,1 | 105 | < 0,07 | 57,6 | 1,1 | < 0,09 |
| April | 0,1 | 10,2 | < 0,09 | 3,4 | 1,1 | < 0,09 |
| Mai | 86,8 | 116 | < 0,07 | 70,2 | 57,8 | < 0,07 |
| Juni | 106 | 278 | < 0,08 | 128,4 | 1,3 | < 0,08 |
| Juli | 92,4 | 1,7 | < 0,09 | 174,8 | 1,3 | < 0,09 |
| August | 126 | 121 | < 0,07 | 61,1 | 1,0 | < 0,07 |
| September | 94,7 | 1,5 | < 0,08 | 96,8 | 78,6 | < 0,08 |
| Oktober | 58,1 | 1,1 | < 0,07 | 29,3 | 42,9 | < 0,08 |
| November | 84,1 | 97,1 | < 0,06 | 65,1 | 1,1 | < 0,08 |
| Dezember | 69,4 | 0,8 | < 0,06 | 71,3 | 47,7 | < 0,08 |

< Messwert kleiner Nachweisgrenze

Deposition Berlin Jahr 2007



Deposition Offenbach Jahr 2007

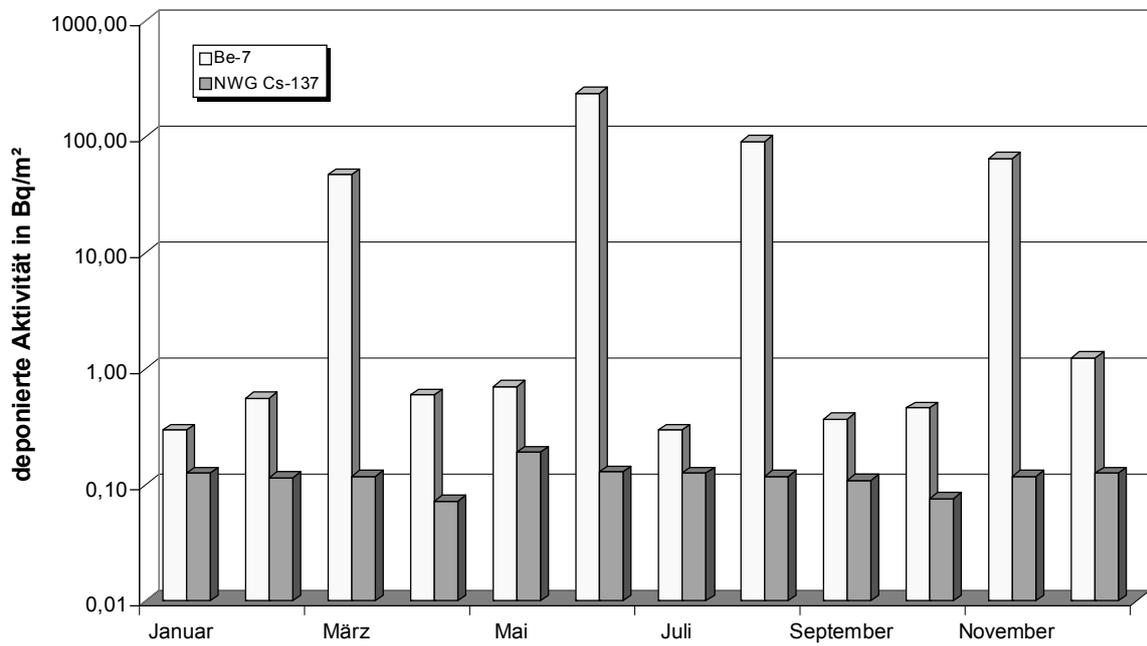


Abbildung 2.1.2-3 Deposition von Radionukliden mit dem Niederschlag im Jahr 2007
 DWD-Stationen Berlin und Offenbach
 (Deposition of radionuclides with precipitation in the year 2007 -
 DWD stations in Berlin and Offenbach)

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

Messungen des Helmholtz Zentrum München,
Probenentnahmestelle: München-Neuherberg

| Zeitraum | München-Neuherberg | | |
|-----------|--------------------|---------------------------------|--------|
| | I/m ² | Deposition in Bq/m ² | |
| | | Be-7 | Cs-137 |
| 2006 | 1.109,1 | 2.022 | 1,11 |
| 2007 | k. A. | 2.330,5 | 0,811 |
| Januar | k. A. | 116,8 | 0,069 |
| Februar | k. A. | 108,6 | 0,016 |
| März | k. A. | 58,0 | 0,033 |
| April | k. A. | 61,4 | 0,226 |
| Mai | k. A. | 340,4 | 0,254 |
| Juni | k. A. | 275,8 | 0,050 |
| Juli | k. A. | 474,7 | 0,061 |
| August | k. A. | 299,0 | 0,034 |
| September | k. A. | 343,9 | 0,022 |
| Oktober | k. A. | 57,6 | 0,014 |
| November | k. A. | 118,6 | 0,016 |
| Dezember | k. A. | 75,7 | 0,016 |

2.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung (Ambient gamma dose rate)

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung über Deutschland sind im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 60 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. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1.500 Höhenmeter. Abbildung 2.1.3-1 gibt einen Überblick über die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition bei einem angenommenen Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien.

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

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

Die Sonden und Messstellen im ODL-Messnetz unterliegen einem strengen Qualitätssicherungsverfahren wie z. B. wiederkehrende radiologische Sondenprüfung, elektrische Betriebsmittelprüfung und Standortdokumentation. Seit 2006 läuft eine umfangreiche, mehrjährige Modernisierung der Messdatenaufnahme, -verarbeitung und Datenfernübertragung im ODL-Messnetz. Im Zuge der Modernisierung wird auch der Datenumfang nebst zusätzlich gemessenen Qualitätsparametern in den Sonden erweitert. Hierzu bedarf es eines Umbaus der vorhandenen Sonden im ODL-Messnetz, der durch das vorhandene Fachpersonal selbst bewerkstelligt wird. Im Berichtsjahr wurden im Messnetz ca. 300 Messstellen umgerüstet. Die Integration einer kleinen Anzahl von autarken Sonden ohne Strom- und festem Telekommunikationsanschluss in den operationellen Betrieb des ODL-Messnetzes konnte in 2007 fortgesetzt werden.

Gemäß BMU-Erlass wird seit dem zweiten Halbjahr 2007 die Messstellendichte im ODL-Messnetz reduziert. Die mit den Ländern abgestimmte Abbaumaßnahme von Messstellen ist zeitlich bis 2010 gestaffelt und sieht einen Abbau von insgesamt ca. 450 Messstellen vor. Durch die Ausdünnung des ODL-Messnetzes, wird sich die Anzahl von ODL-Messstellen auf ca. 1.700 reduzieren.

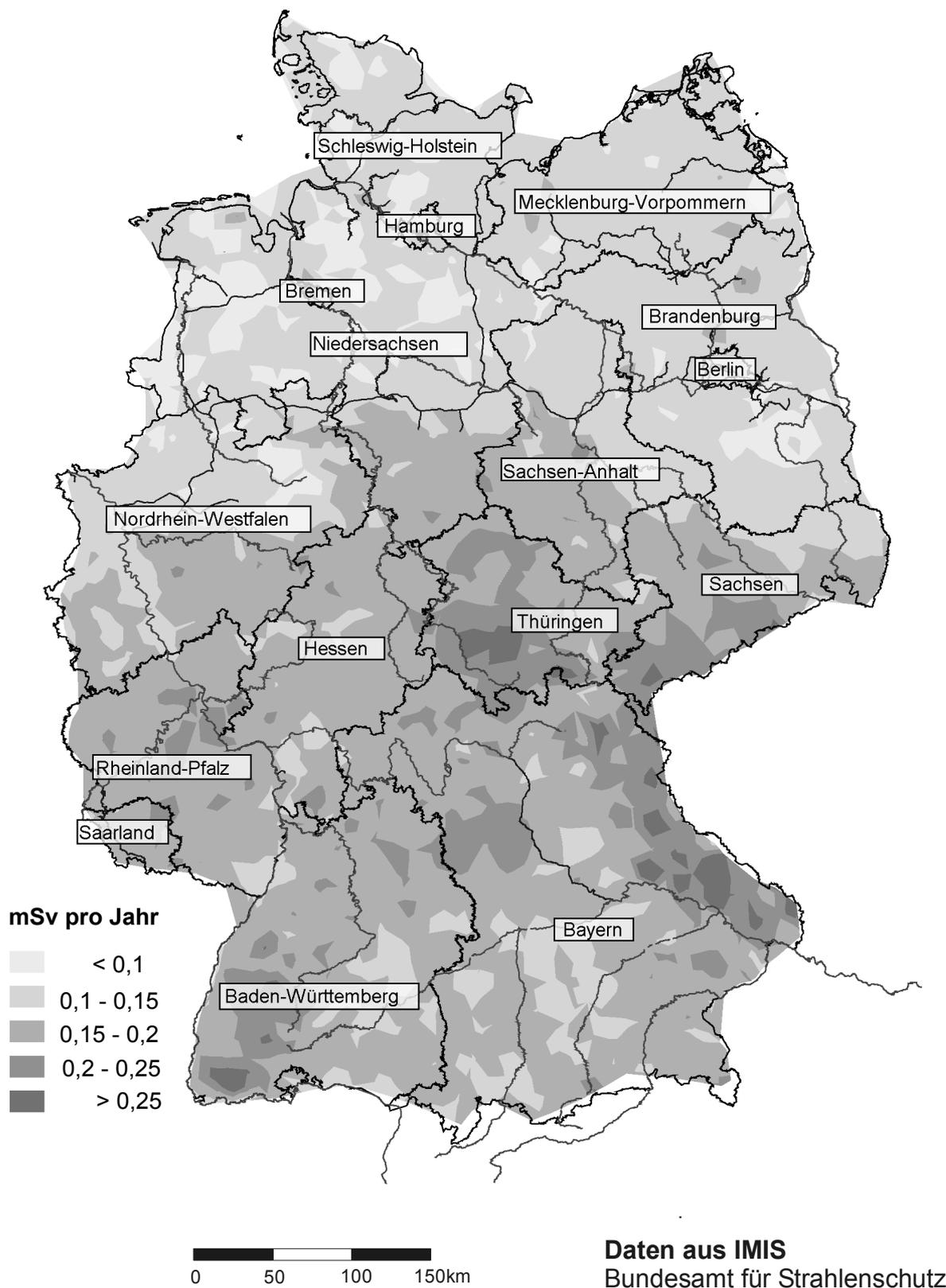


Abbildung 2.1.3-1 Externe Strahlenexposition im Jahr 2007 in Deutschland bei täglich 5 Stunden Aufenthalt im Freien
(External Radiation Exposure 2007, spending 5 hours per day outdoors)

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

Gemäß der REI (Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen) sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem I-131 und von aerosolpartikelgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 5 mBq/m³ und bei den aerosolpartikelgebundenen Radionukliden, bezogen auf Co-60, bei 0,4 mBq/m³.

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen I-131 haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert (Tabelle 2.1.4-1). An einer Messstelle des Forschungszentrums Jülich wurden im 4. Quartal 1,1 mBq/m³ gemessen. Die messbare Aktivitätskonzentration ist auf eine nuklearmedizinische Anwendung zurückzuführen. Der ermittelte Wert liegt allerdings deutlich unterhalb der geforderten Nachweisgrenze von 5 mBq/m³.

Die Aktivitätskonzentrationen der aerosolpartikelgebundenen Radionuklide lagen 2007, wie im Vorjahr, an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen und sind in Tabelle 2.1.4-2 für das Bezugsnuklid Co-60 zusammengefasst.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der kontinuierlich gemessenen γ -Dosisleistung (Tabelle 2.1.4-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. Durch den Austausch von Messsystemen treten bauart- und empfindlichkeitsbedingte Veränderungen des gemessenen Pegels der 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 baurartbedingte Einschränkungen der axialen oder radialen Empfindlichkeit des Messgerätes.

Im Falle des KKW Neckarwestheim zeigt der Austausch von Szintillationssonden durch Proportionalzählrohre im Jahre 2005 einen um einen Faktor von ca. 2 höheren Ortsdosisleistungswert.

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. 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, so dass für die Deposition Nachweisgrenzen zwischen 0,5 Bq/m² und 5 Bq/m² resultieren können. Es liegen keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen vor. In Tabelle 2.1.4-4 sind die Nachweisgrenzen, bezogen auf Co-60, zusammengefasst. Höhere Messwerte erklären sich häufig aus der Resuspension von bereits deponierten schwebstoffgebundenen Radionukliden, deren Verfrachtung mit dem Wind und der anschließenden Deposition.

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

(in mBq/m³ Messwerte der Betreiber)

| Probenahmestelle | N | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-------------------|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|-----------------------|
| | | I-131 (mBq/m ³) | | | | | | |
| BER Berlin | 2 | < 0,31 | < 0,32 | [< 0,22] ⁶ | < 0,33 | [< 0,32] ⁹ | < 0,26 | [< 0,40] ⁹ |
| KKB Brunsbüttel | 2 | < 0,2 | < 0,15 | [< 0,21] ³ | < 0,32 | [< 0,29] ⁹ | < 0,3 | < 0,31 |
| KBR Brokdorf | 2 | < 0,43 | < 0,40 | [< 0,35] ³ | < 0,39 | [< 0,36] ⁹ | < 0,39 | < 0,50 |
| KKK Krümmel | 3 | < 0,36 | < 0,39 | [< 0,38] ³ | < 0,37 | [< 0,39] ⁹ | < 0,36 | < 0,35 |
| GKSS Geesthacht | 1 | < 0,45 | < 0,43 | [< 0,24] ³ | < 0,24 | [< 0,24] ⁹ | < 0,24 | < 0,23 |
| KKS Stade | 1 | - | - | [< 0,45] ⁶ | [< 0,41] ⁹ | [< 0,28] ⁹ | * | * |
| KKU Unterweser | 2 | [< 2,00] ^{6,d} | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 | < 2,0 |
| KWG Grohnde | 3 | [< 0,69] ⁹ | < 0,65 | < 0,58 | < 0,59 | < 0,61 | < 0,65 | < 0,80 |
| KKE Emsland | 2 | [< 0,31] ⁹ | < 0,32 | < 0,32 | < 0,3 | < 0,32 | < 0,33 | < 0,30 |
| KWW Würgassen | 3 | * | * | * | * | * | * | * |
| FZ Jülich | 3 | 0,72** | 0,68** | 1,2** | < 2,0 | 0,36** | 0,47** | 0,11** |
| THTR Hamm-Uentrop | 2 | * | * | * | * | * | * | * |
| KWB Biblis | 2 | [< 0,76] ⁹ | - | [< 0,74] ⁹ | [< 0,56] ⁶ | [< 0,7] ³ | < 0,66 | < 0,80 |
| KKP Philippsburg | 4 | < 0,64 | [< 0,53] ⁹ | < 0,53 | < 0,49 | < 0,49 | < 0,5 | < 0,49 |
| KWO Obrigheim | 3 | < 0,86 | < 0,82 | < 0,64 | < 0,37 | < 0,34 | < 0,18 | < 0,16 |

| Probenahmestelle | N | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|----------------------|---|-----------------------------|------------------------|--------|--------|------------------------|------------------------|--------|
| | | I-131 (mBq/m ³) | | | | | | |
| GKN Neckarwestheim | 2 | < 0,59 | [< 0,61] ⁹ | < 0,6 | < 0,65 | < 0,73 | < 0,68 | < 0,66 |
| FZ Karlsruhe | | * | * | * | * | * | - | - |
| KKI Isar | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,29] ⁹ | < 0,30 |
| KKG Grafenrheinfeld | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,5] ⁹ | < 0,52 |
| KRB Gundremmingen II | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,27] ⁹ | < 0,33 |
| KGR Greifswald | 2 | [< 0,76]* | * | * | * | * | * | * |
| VKTA Rossendorf | 1 | [< 0,06] ⁹ | < 0,08 | < 0,06 | < 0,06 | [< 0,35] ⁶ | + | - |
| KKR Rheinsberg | | * | * | * | * | * | - | - |
| KMK Mülheim-Kärlich | 2 | * | * | * | * | * | * | - |

N Zahl der Messstationen

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

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

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

- keine Messwerte

* Messungen eingestellt

+ keine Messung im bestimmungsgemäßen Betrieb

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

| Probenahmestelle | N | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|----------------------|---|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Co-60 (mBq/m ³) | | | | | | |
| BER Berlin | 2 | < 0,02 | < 0,02 | [< 0,02] ³ | < 0,02 | [< 0,02] ⁹ | < 0,02 | [< 0,25] ⁹ |
| KKB Brunsbüttel | 2 | < 0,06 | < 0,06 | [< 0,06] ³ | < 0,06 | [< 0,05] ⁹ | < 0,05 | < 0,05 |
| KBR Brokdorf | 2 | < 0,19 | < 0,19 | [< 0,16] ³ | < 0,18 | [< 0,17] ⁹ | < 0,18 | < 0,18 |
| KKK Krümmel | 3 | < 0,07 | < 0,07 | [< 0,07] ³ | < 0,07 | [< 0,06] ⁹ | < 0,06 | < 0,06 |
| GKSS Geesthacht | 1 | < 0,18 | < 0,14 | [< 0,03] ³ | < 0,06 | [< 0,06] ⁹ | < 0,05 | < 0,04 |
| KKS Stade | 1 | - | - | [< 0,28] ⁶ | [< 0,18] ⁹ | [< 0,15] ⁹ | < 0,26 | < 0,31 |
| KKU Unterweser | 2 | [< 0,40] ^{6,d} | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 | < 0,40 |
| KWG Grohnde | 3 | [< 0,12] ⁹ | < 0,10 | < 0,11 | < 0,11 | < 0,12 | < 0,11 | < 0,11 |
| KKE Emsland | 2 | [< 0,18] ⁹ | < 0,18 | < 0,17 | < 0,18 | < 0,18 | < 0,21 | < 0,18 |
| KWW Würgassen | 2 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,10 |
| FZ Jülich | 3 | < 0,40 | < 0,40 | [< 0,40] ³ | < 0,4 | < 0,4 | < 0,4 | < 0,40 |
| THTR Hamm-Uentrop | 2 | < 0,05 | - | - | - | - | - | - |
| KWB Biblis | 3 | [< 0,21] ⁹ | - | [< 0,22] ⁹ | [< 0,17] ⁶ | [< 0,18] ³ | < 0,2 | < 0,22 |
| KKP Philippsburg | 4 | < 0,04 | [< 0,04] ⁹ | < 0,04 | < 0,03 | < 0,03 | < 0,03 | < 0,03 |
| KWO Obrigheim | 3 | < 0,08 | < 0,08 | < 0,07 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,06 | < 0,05 |
| GKN Neckarwestheim | 2 | < 0,14 | [< 0,14] ⁹ | < 0,14 | < 0,14 | < 0,15 | < 0,13 | < 0,13 |
| FZ Karlsruhe | 3 | < 0,01 | [< 0,01] ⁹ | [< 0,01] ⁹ | [< 0,01] ⁶ | < 0,008 | < 0,008 | < 0,007 |
| KKI Isar | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,21] ⁹ | < 0,22 |
| KKG Grafenrheinfeld | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,062] ⁹ | < 0,064 |
| KRB Gundremmingen II | 3 | - | - | - | - | - | [< 0,14] ⁶ | < 0,18 |
| KGR Greifswald | 2 | [< 0,37]* | < 0,37 | [< 0,03] ⁹ | < 0,002 | < 0,002 | [< 0,002] ⁹ | < 0,28 |
| VKTA Rossendorf | 3 | [< 0,02] ⁹ | < 0,02 | < 0,02 | < 0,002 | [< 0,002] ⁶ | < 0,002 | < 0,016 |
| KKR Rheinsberg | 2 | < 0,09 | < 0,10 | < 0,10 | < 0,09 | < 0,08 | < 0,08 | < 0,09 |
| KMK Mülheim-Kärlich | 2 | 0,15 | < 0,20 | < 0,20 | < 0,15 | [< 0,2] ⁶ | < 0,14 | < 0,12 |

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

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

* Messungen eingestellt

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

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

| Probenahmestelle | N | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-----------------------------------|----|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| γ-Ortsdosisleistung in nSv/h | | | | | | | | |
| BER Berlin | 2 | 71 | 71 | [70] ⁶ | 72 | 72 | 72 | 73 |
| KKB Brunsbüttel | 2 | 85 | [83] ⁶ | a | 84 | 82 | 84 | 82 |
| KBR Brokdorf | 2 | 60 | [60] ³ | a | 59 | 60 | 59 | 58 |
| KKK Krümmel | 3 | 56 | [59] ⁶ | a | 59 | 57 | 58 | 61 |
| GKSS Geesthacht | 1 | 84 | 84 | 92 ^b | [82] ⁶ | 84 | 85 | 86 |
| KKS Stade | 1 | | [77] ⁹ | [60] ⁶ y | [59] ⁹ y | 87 ^{MT} | 97 | 99 |
| KKU Unterweser | 2 | [90] ⁶ | 90 | 89 | 93 | 94 | 98 | 101 |
| KWG Grohnde | 3 | [88] ⁹ | 84 | 86 | 85 | 83 | 86 | 80 |
| KKE Emsland | 2 | [65] ⁹ | 65 | 65 | 74 | 75 | 75 | 75 |
| KWW Würgassen | 3 | * | * | * | * | * | * | * |
| FZ Jülich | 12 | 59 | 58 | 57 | 56 | 62 ^{MT} | 79 | 83 |
| THTR Hamm-Uentrop | 2 | 88 | 87 | 86 | 85 | 85 | 86 | 88 |
| KWB Biblis | 3 | [90] ⁹ | a | [93] ⁹ | 94 | [95] ³ | 96 | 103 |
| KKP Philippsburg | 4 | 100 | [98] ⁹ | [100] ⁹ | 103 | 106 | 105 | 99 |
| KWO Obrigheim | 2 | 70 | 82 ^{MT} | 105 | 103 | 101 | 102 | 115 |
| GKN Neckarwestheim | 2 | 56 | [55] ⁹ | [55] ⁹ | 53 | 119 ^{MT} | 119 | 113 |
| FZ Karlsruhe | 6 | 82 | [81] ⁹ | [80] ³ | [81] ⁶ | 83 | 83 | 83 |
| KKI Isar ^c | 3 | a | a | a | a | a | 99 | 97 |
| KKG Grafenrheinfeld ^c | 3 | a | a | a | a | a | 104 | 105 |
| KRB Gundremmingen II ^c | 3 | a | a | a | a | a | 65 | 64 |
| KGR Greifswald | 20 | 77 | 81 | 80 | 81 | 81 | 84 ^j | 83 ^j |
| VKTA Rossendorf | 3 | [109] ⁹ | 112 | [111] ⁶ | 112 | 111 | [115] ⁹ | [112] ⁶ k |
| KKR Rheinsberg | 4 | 99 | 98 | 98 | 94 ^z | 87 ^z | 84 | 90 ^z |
| KMK Mülheim-Kärlich | 2 | 114 | 113 | 117 | 119 | [125] ⁶ MT | 127 | 125 ^{MT} |

- N Zahl der Messstationen
 y Ersatzwert Sonde NLÖ unweit abgebauter Sonde
 [] unvollständige Messreihe (i: Anzahl der Monate)
 MT Austausch des Messsystems
 z Anzahl der Messstationen auf 2 reduziert (Bedingungen des Restbetriebes)
 j Anzahl der Messstationen auf 6 reduziert, gemäß überarbeitetem Umgebungsübewachungsprogramm
- a Daten liegen nicht vor
 * Messungen eingestellt
 b zeitweise Messung mit ungeeichetem Leihgerät
 c teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

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 | 2004 (Bq/l) | 2004 (Bq/m ²) | 2005 (Bq/l) | 2005 (Bq/m ²) | 2006 (Bq/l) | 2006 (Bq/m ²) | 2007 (Bq/l) | 2007 (Bq/m ²) |
| BER Berlin | 1 | | < 0,11 | | [< 0,43] ⁹ | | [< 0,28] ⁹ | | [< 0,35] ⁹ |
| KKB Brunsbüttel | 2 | | < 0,9 | | [< 0,81] ⁹ | | < 1,3 | | < 0,8 |
| KBR Brokdorf | 2 | | < 1,7 | | [< 1,3] ⁹ | | < 1,5 | | < 1,6 |
| KKK Krümmel | 4 | | < 0,37 | | [< 0,37] ⁹ | | < 0,44 | | < 0,75 |
| GKSS Geesthacht | 2 | | < 1,7 | | [< 1,7] ⁹ | | < 1,5 | | < 2,1 |
| KKS Stade | 2 | | [< 2,7] ⁹ | | [< 2,2] ⁹ | | < 1,7 | | < 2,4 |
| KKU Unterweser | 2 | < 0,05 | + | < 0,05 | + | | < 0,8 | | < 1,4 |
| KWG Grohnde | 2 | < 0,04 | + | < 0,04 | + | | < 2,0 | | < 3,6 |
| KKE Emsland | 2 | < 0,03 | + | < 0,03 | + | | < 0,68 | | < 0,74 |
| KWW Würgassen | 2 | < 0,007 | + | < 0,006 | + | < 0,05 | + | < 0,006 | + |
| FZ Jülich | 1 | < 0,05 | - | < 0,05 | - | < 0,05 | 0,3(**) | < 0,05 | + |
| THTR Hamm-Uentrop | * | | * | | * | | * | | * |

| Probenahmestelle | Aktivität in Bq/m ² oder in Bq/l | | | | | | | | |
|----------------------|---|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|------------------------------|
| | N | 2004 (Bq/l) | 2004 (Bq/m ²) | 2005 (Bq/l) | 2005 (Bq/m ²) | 2006 (Bq/l) | 2006 (Bq/m ²) | 2007 (Bq/l) | 2007 (Bq/m ²) |
| KWB Biblis | 2 | | [< 0,68] ⁶ | | [< 0,74] ³ | | < 1,1 | | < 1,2 |
| KKP Philippsburg | 4 | | < 1,2 | | < 1,2 | | < 1,4 | | < 1,5 |
| KWO Obrigheim | 2 | | < 1,6 | | < 1,3 | | < 1,4 | | < 3,6 |
| GKN Neckarwestheim | 2 | < 0,04 | + | < 0,04 | + | 0,04 | + | | < 2,0 |
| FZ Karlsruhe | 3 | | [< 1,2] ⁶ | | < 2,7 | | < 2,8 | | < 2,6 |
| KKI Isar | - | | - | | - | | [< 2,7] ⁹ | | < 2,8 |
| KKG Grafenrheinfeld | - | | - | | - | | [< 0,52] ⁹ | | < 0,51 |
| KRB Gundremmingen II | - | | - | | - | | [< 3,3] ⁶ | | < 3,0 |
| KGR Greifswald | 2 | | < 2,3 | | < 1,9 | | < 1,8 | | < 2,5 |
| VKTA Rossendorf | 2 | | < 0,47 | | [< 0,63] ⁶ | | [< 0,38] ⁹ | | < 0,46 |
| KKR Rheinsberg | 2 | | < 0,26 | | < 0,20 | | < 0,19 | | < 0,18 |
| KMK Mülheim-Kärlich | 2 | | < 0,83 | | [< 0,5] ⁶ | | < 0,52 | | < 0,59 |

- keine Messwerte

^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

* Messungen eingestellt

** Cs-137

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

N Zahl der Messstationen

+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 2007 sind in Tabelle 2.1.5-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und an Schwebstoffen gebundene Radionuklide (früher „Aerosole“, Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide I-131, C-14 (C-14-Dioxid-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 Einzelnuclidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2007 abgeleiteten Edelgase ist aus Tabelle 2.1.5-2 zu ersehen. Tabelle 2.1.5-3 enthält die Zusammensetzung der schwebstoffgebundenen Radionuklide einschließlich der beta-Strahler Sr-89 und -90 sowie der alpha-Strahler Pu-238, -239, -240, Am-241, Cm-242 und -244.

Tabelle 2.1.5-4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtableitungen für Edelgase, Schwebstoffe und I-131 mit der Fortluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2007 mit $2,2 \cdot 10^{13}$ Becquerel größer gegenüber 2006 mit $1,7 \cdot 10^{13}$, die Summe der Jahresableitungen von Schwebstoffen war mit $8,7 \cdot 10^7$ kleiner im Vergleich zum Vorjahr mit $1,3 \cdot 10^8$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2007 mit $1,9 \cdot 10^8$ Becquerel unter dem Vorjahreswert von $2,3 \cdot 10^8$ 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, Berlin und Garching im Jahr 2007 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 2.1.5-6 angegeben.

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

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem Forschungsbergwerk Asse 2 ist in Tabelle 2.1.5-8 für H-3, C-14, an Schwebstoffen gebundene Radionuklide und Radonfolgeprodukte zusammengestellt.

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Fortluft emittierten an Schwebstoffen gebundene alpha-strahlenden Radionuklide ermittelt (Tabelle 2.1.5-9). Die 2007abgeleitete alpha-Aktivität der Anlagen in Lingen und Gronau beträgt $3,7 \cdot 10^4$ Becquerel. Die für das Jahr 2007 ermittelten Werte für die Aktivitätsableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte, 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 der 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.

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

C-14 wird in Tabelle 2.1.5-1 in Form von C-14-Dioxid angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes C-14 abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist. Die gesamte abgeleitete Aktivität von C-14 über die Fortluft im Jahr 2007 beträgt an den in Tabelle 2.1.5-1 aufgeführten Standorten etwa $4,8 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle 2.1.5-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2007
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2007)

| Atomkraftwerk | Edelgase | Schwebstoffe ^{a)} | I-131 | C-14-Dioxid | Tritium |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------|-------------|---------|
| | Aktivitätsableitung in Bq | | | | |
| VAK Kahl ^{b)} | - | 5,1 E03 | - | - | - |
| KKR Rheinsberg ^{c)} | - | 7,8 E05 | - | - | - |
| KRB Gundremmingen A ^{d)} | - | 9,7 E03 | - | - | 1,0 E09 |
| KWL Lingen ^{d)} | - | 3,6 E01 | - | 1,5 E08 | 8,6 E07 |
| KWO Obrigheim ^{h)} | 1,8 E10 | 1,2 E07 | nn | 7,6 E09 | 7,0 E10 |
| KKS Stade ^{g)} | nn | 2,8 E04 | nn | 9,3 E08 | 1,9 E11 |
| KWW Würgassen ^{e)} | - | 2,5 E06 | - | 2,2 E09 | 1,6 E10 |
| KGR Greifswald ^{c)} | - | 6,5 E06 | - | - | - |
| KWB Biblis A | nn | 2,9 E05 | nn | 3,8 E10 | 7,2 E11 |
| KWB Biblis B | 3,2 E10 | 6,1 E04 | nn | 7,4 E10 | 4,5 E11 |
| GKN Neckarwestheim 1 | 4,6 E11 | 6,3 E04 | nn | 9,0 E09 | 2,0 E11 |
| KKB Brunsbüttel | 1,2 E12 | 4,0 E07 | 8,8 E05 | 2,2 E11 | 5,7 E10 |
| KKI Isar 1 | 2,6 E12 | nn | 3,2 E07 | 3,4 E11 | 1,5 E11 |
| KKU Unterweser | 3,2 E12 | 3,1 E05 | nn | 2,1 E10 | 2,7 E11 |
| KKP Philippsburg 1 | 1,2 E12 | 9,9 E06 | 6,8 E07 | 4,9 E11 | 3,0 E10 |
| KKG Grafenrheinfeld | 2,0 E11 | 8,6 E05 | nn | 2,5 E10 | 2,2 E11 |
| KKK Krümmel | 3,4 E12 | 1,3 E07 | 6,6 E07 | 1,9 E11 | 2,8 E10 |
| KRB Gundremmingen B und C | 7,3 E12 | 4,0 E05 | 1,8 E07 | 8,6 E11 | 8,9 E11 |
| KWG Grohnde | 1,0 E12 | nn | 2,5 E06 | 5,2 E10 | 4,3 E11 |
| THTR Hamm-Uentrop ^{f)} | - | nn | - | nn | 1,5 E08 |
| KKP Philippsburg 2 | 5,4 E11 | 4,5 E05 | nn | 4,6 E10 | 4,2 E11 |
| KMK Mülheim-Kärlich ^{f)} | nn | nn | nn | 2,3 E09 | 1,8 E09 |
| KBR Brokdorf | 2,6 E11 | nn | nn | 9,9 E10 | 8,4 E10 |
| KKI Isar 2 | 3,3 E11 | nn | nn | 1,7 E11 | 4,1 E11 |
| KKE Emsland | 1,7 E11 | nn | nn | 1,1 E11 | 1,3 E12 |
| GKN Neckarwestheim 2 | 3,8 E11 | 4,1 E04 | nn | 1,3 E11 | 6,0 E11 |

- a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne I-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler
- b) Betrieb beendet 1985
- c) Betrieb beendet 1990
- d) Betrieb beendet 1977
- e) Betrieb beendet 1994
- f) Betrieb beendet 1988
- g) Betrieb beendet 2003
- h) Betrieb beendet 2005
- Messung / Angabe nicht erforderlich
- nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2007
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2007)

| Radio-nuklid | Kahl/ Rheinsberg | Gundremmingen A / Lingen | Obrigheim | Würgassen | Stade | Greifswald | Biblis A | Biblis B |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-------|------------|----------|----------|
| Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | | |
| Ar-41 | - | - | nn | - | - | - | nn | 2,4 E09 |
| Kr-85m | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Kr-85 | - | - | 1,8 E10 | - | - | - | nn | 2,8 E10 |
| Kr-87 | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Kr-88 | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Kr-89 | - | - | nn | - | - | - | nn | 1,3 E08 |
| Xe-131m | - | - | nn | - | - | - | nn | 1,1 E09 |
| Xe-133m | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Xe-133 | - | - | nn | - | - | - | nn | 5,7 E07 |
| Xe-135m | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Xe-135 | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Xe-137 | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |
| Xe-138 | - | - | nn | - | - | - | nn | nn |

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

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

- Messung / Angabe nicht erforderlich
 nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-3 Ableitung radioaktiver Schwebstoffe mit der Fortluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2007 in Becquerel (I-131: Tabelle 2.1.5-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2007 expressed in becquerel - I-131: Table 2.1.5-1)

| Radio-nuklid | Kahl | Rheinsberg | Gundrem-mingen A | Lingen | Obrigheim | Würgas-sen | Stade | Greifs-wald | Biblis A |
|-------------------|---------------------------|------------|------------------|---------|-----------|------------|---------|-------------|----------|
| | Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | | |
| Cr-51 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Mn-54 | nn | nn | nn | nn | 8,5 E04 | nn | nn | nn | nn |
| Fe-59 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-57 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-58 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-60 | 2,0 E03 | 1,7 E05 | nn | nn | 1,2 E07 | 1,6 E06 | nn | 6,3 E06 | nn |
| Zn-65 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sr-89 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sr-90 | nn | nn | nn | nn | nn | 9,8 E04 | nn | nn | nn |
| Zr-95 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Nb-95 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ru -103 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ru-106 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ag -110m | nn | nn | nn | nn | 4,0 E04 | nn | nn | nn | nn |
| Sn-113 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-124 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-125 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Te-123m | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | 2,9 E05 |
| Cs-134 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cs-137 | 3,0 E03 | 2,4 E05 | 9,7 E03 | 3,6 E01 | 3,4 E04 | 8,3 E05 | 2,8 E04 | 1,9 E05 | nn |
| Ba-140 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| La-140 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ce-141 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ce-144 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-152 | nn | 2,3 E05 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-154 | nn | 8,3 E04 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-155 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-238/ Am-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-(239 +240) | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm -242 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm-244 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |

- Messung / Angabe nicht erforderlich
 nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

| Radio-nuklid | Biblis B | Neckar-westheim 1 | Brunsbüttel | Isar 1 | Unter-weser | Philipps-burg 1 | Grafen-rheinfeld | Krümmel | Gundrem-mingen B, C |
|--------------|---------------------------|-------------------|-------------|--------|-------------|-----------------|------------------|---------|---------------------|
| | Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | | |
| Cr-51 | nn | nn | 1,9 E06 | nn | nn | 1,4 E06 | nn | 4,4 E05 | nn |
| Mn-54 | nn | nn | 1,1 E07 | nn | nn | 2,2 E05 | nn | 2,4 E06 | 2,8 E05 |
| Fe-59 | nn | nn | 1,4 E06 | nn | nn | nn | nn | nn | 1,2 E05 |
| Co-57 | nn | 1,1 E04 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-58 | nn | nn | 1,4 E06 | nn | nn | 4,0 E05 | 2,9E04 | 8,1 E05 | nn |
| Co-60 | nn | 5,2 E04 | 9,8 E06 | nn | 3,1E05 | 1,5 E06 | 6,0E05 | 6,0 E06 | nn |
| Zn-65 | nn | nn | 1,1 E07 | nn | nn | 1,7 E06 | nn | 1,0 E06 | nn |
| Sr-89 | nn | nn | 1,3 E05 | nn | nn | 6,5 E05 | nn | 1,4 E06 | nn |
| Sr-90 | nn | nn | nn | nn | nn | 5,1 E04 | nn | 4,4 E04 | nn |

| Radio-nuklid | Biblis B | Neckar-westheim 1 | Brunsbüttel | Isar 1 | Unter-weser | Philipps-burg 1 | Grafen-rheinfeld | Krümmel | Gundrem-mingen B, C |
|---------------------------|----------|-------------------|-------------|--------|-------------|-----------------|------------------|---------|---------------------|
| Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | | | |
| Zr-95 | nn | nn | 2,6 E05 | nn | nn | nn | 1,3E05 | 9,9 E04 | nn |
| Nb-95 | nn | nn | 5,4 E05 | nn | nn | nn | 1,0E05 | 1,5 E05 | nn |
| Ru -103 | nn | nn | nn | nn | nn | 5,5 E03 | nn | nn | nn |
| Ru-106 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ag -110m | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sn-113 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-124 | nn | nn | 2,6 E05 | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-125 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Te-123m | 6,1 E04 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cs-134 | nn | nn | 4,2 E03 | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cs-137 | nn | nn | 2,0 E06 | nn | nn | 7,6 E04 | nn | 1,4 E05 | nn |
| Ba-140 | nn | nn | nn | nn | nn | 2,4 E06 | nn | 4,0 E05 | nn |
| La-140 | nn | nn | 1,9 E04 | nn | nn | 1,6 E06 | nn | 1,6 E05 | nn |
| Ce-141 | nn | nn | nn | nn | nn | 2,3 E04 | nn | nn | nn |
| Ce-144 | nn | nn | nn | nn | nn | 3,2 E04 | nn | nn | nn |
| Eu-152 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-154 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-155 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu -238 / Am-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-(239+240) | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm -242 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm-244 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

| Radio-nuklid | Grohnde | Hamm-Uen-trop | Philippsburg 2 | Mülheim-Kärlich | Brokdorf | Isar 2 | Emsland | Neckar-westheim 2 |
|---------------------------|---------|---------------|----------------|-----------------|----------|--------|---------|-------------------|
| Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | | |
| Cr-51 | nn | nn | 7,0 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Mn-54 | nn | nn | 2,1 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Fe-59 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-57 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-58 | nn | nn | 1,7 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Co-60 | nn | nn | 2,5 E05 | nn | nn | nn | nn | 4,1 E04 |
| Zn-65 | nn | nn | 6,9 E03 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sr-89 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sr-90 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Zr-95 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Nb-95 | nn | nn | 3,1 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ru -103 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ru-106 | nn | nn | 2,6 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ag -110m | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sn-113 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-124 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Sb-125 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Te-123m | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cs-134 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cs-137 | nn | nn | 2,5 E04 | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ba-140 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |

| Radio-nuklid | Grohnde | Hamm-Uen-trop | Philippsburg 2 | Mülheim-Kärlich | Brokdorf | Isar 2 | Emsland | Neckar-westheim 2 |
|------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|--------|---------|-------------------|
| | Aktivitätsableitung in Bq | | | | | | | |
| La-140 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ce-141 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Ce-144 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-152 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-154 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Eu-155 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu -238 / Am-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-(239+240) | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Pu-241 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm -242 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |
| Cm-244 | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn | nn |

- Messung / Angabe nicht erforderlich
 nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-4 Ableitung radioaktiver Edelgase, von I-131 und Schwebstoffen (ohne I-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler) mit der Fortluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in den Jahren 1997 bis 2007
(Discharges of radioactive noble gases, of I-131 and aerosols (excluding I-131, including strontium and alpha sources) with exhaust air from nuclear power plants in the years from 1997 to 2007)

| Jahr | Aktivitätsableitung in Bq | | | Bruttostromerzeugung in MWa |
|------|---------------------------|---------|--------------|-----------------------------|
| | Edelgase | I-131 | Schwebstoffe | |
| 1997 | 3,8 E13 | 3,0 E08 | 3,7 E08 | 19.451 |
| 1998 | 2,7 E13 | 1,8 E08 | 2,7 E08 | 18.460 |
| 1999 | 1,9 E13 | 2,5 E08 | 1,4 E08 | 19.374 |
| 2000 | 2,6 E13 | 2,2 E08 | 1,1 E08 | 19.371 |
| 2001 | 1,5 E13 | 2,8 E08 | 7,4 E07 | 19.552 |
| 2002 | 1,8 E13 | 3,3 E08 | 5,7 E07 | 18.816 |
| 2003 | 1,4 E13 | 1,4 E08 | 6,2 E07 | 18.847* |
| 2004 | 2,8 E13 | 2,5 E08 | 8,3 E07 | 19.071* |
| 2005 | 2,8 E13 | 1,7 E08 | 1,5 E08 | 18.612* |
| 2006 | 1,7 E13 | 2,3 E08 | 1,3 E08 | 19.105* |
| 2007 | 2,2 E13 | 1,9 E08 | 8,7 E07 | 16.043* |

* Quelle: Atomwirtschaft

Tabelle 2.1.5-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2007
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2007)

| Forschungszentrum | Aktivitätsableitung in Bq | | | | | |
|--|---------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | Edelgase | Schwebstoffe a | I-131 | I-129 | C-14 | Tritium |
| Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage) | 5,3 E11 | 1,0 E07 b | 1,8 E06 | 6,3 E05 | 2,8 E10 | 2,9 E12 |
| Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR) | 3,0 E10 | 2,0 E08 | 1,1 E07 | - | 2,3 E11 | 2,8 E12 |
| Forschungszentrum Rossendorf | 9,4 E09 | 1,5 E06 | nn | nn | 5,9 E08 | 5,0 E10 |
| GKSS-Forschungszentrum Geesthacht | 9,0 E11 | 6,1 E04 | 8,2 E04 | - | 4,6 E08 | 7,9 E10 |

| Forschungszentrum | Aktivitätsableitung in Bq | | | | | |
|---|---------------------------|----------------|---------|-------|---------|---------|
| | Edelgase | Schwebstoffe a | I-131 | I-129 | C-14 | Tritium |
| Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI), (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle) | 6,6 E11 | 1,3 E04 | 1,2 E06 | - | 1,4 E10 | 7,6 E10 |
| Garching, FRM I | - | nn | nn | - | 8,0 E05 | 1,6 E09 |
| Garching, FRM II | 2,4 E11 | nn | nn | - | 2,5 E09 | 2,4 E11 |

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

b davon Alphastrahler: 1,21 E05 Bq

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 2.1.5-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2007
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2007)

| Forschungsreaktor | Edelgase | Schwebstoffe | I-131 | C-14 | Tritium |
|-------------------|---------------------------|--------------|-------|------|---------|
| | Aktivitätsableitung in Bq | | | | |
| Mainz | 1,3 E11 | nn | nn | - | 3,4 E06 |

- Messung / Angabe nicht erforderlich nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Die Jahresableitungen der Forschungsreaktoren FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und Berlin enthalten (Tabelle 2.1.5-5). Der Forschungsreaktor Heidelberg wurde im Dezember 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

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

| Nuklid | Aktivitätsableitung in Bq | |
|---------------------|---------------------------|---------|
| | 2007 | 2006 |
| Tritium | 2,1 E10 | 1,2 E10 |
| C-14 | 8,9 E08 | 7,5 E08 |
| langlebige Aerosole | 9,6 E05 | 8,6 E05 |
| Radon-Folgeprodukte | 4,4 E09 | 3,2 E09 |

Tabelle 2.1.5-8 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus der Schachanlage Asse
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Asse mine)

| Nuklid | Aktivitätsableitung in Bq | |
|---------------------|---------------------------|---------|
| | 2007 | 2006 |
| Tritium | 3,8 E10 | 4,1 E10 |
| C-14 | 8,0 E08 | 7,0 E08 |
| Pb-210 | 1,0 E06 | 0,9 E06 |
| Rn-222 (Gas) | 9,4 E10 | 9,2 E10 |
| Radon-Folgeprodukte | 4,7 E10 | 4,6 E10 |

Die angegebenen Messwerte beruhen auf Betreiberangaben, da die Schachanlage Asse keine kerntechnische Anlage gemäß AtG ist. Es erfolgt eine stichprobenartige Kontrolle der Messwerte durch das BfS.

Tabelle 2.1.5-9 Ableitung radioaktiver Stoffe (alpha-Aktivität) mit der Fortluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2007
(Discharges of radioactive substances - alpha-activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2007)

| Betrieb | Aktivitätsableitung in Bq | |
|-------------------|---------------------------|-----------|
| | 2007 | 2006 |
| ANF GmbH (Lingen) | < 1,4 E04 | < 1,5 E04 |
| URENCO D (Gronau) | 2,3 E04 | 3,2 E04 |

2.2 Meerwasser und Binnengewässer (Seawater and inland water)

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

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

Meerwasser in der Nordsee

Die Probennahme zur Überwachung der Deutschen Bucht bzw. Nordsee erfolgte 2007 auf zwei Fahrten im März und Oktober. Zusätzlich wurden an den Positionen der früheren Feuerschiffe Borkumriff und Elbe 1 in der Deutschen Bucht Proben möglichst monatlich entnommen.

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

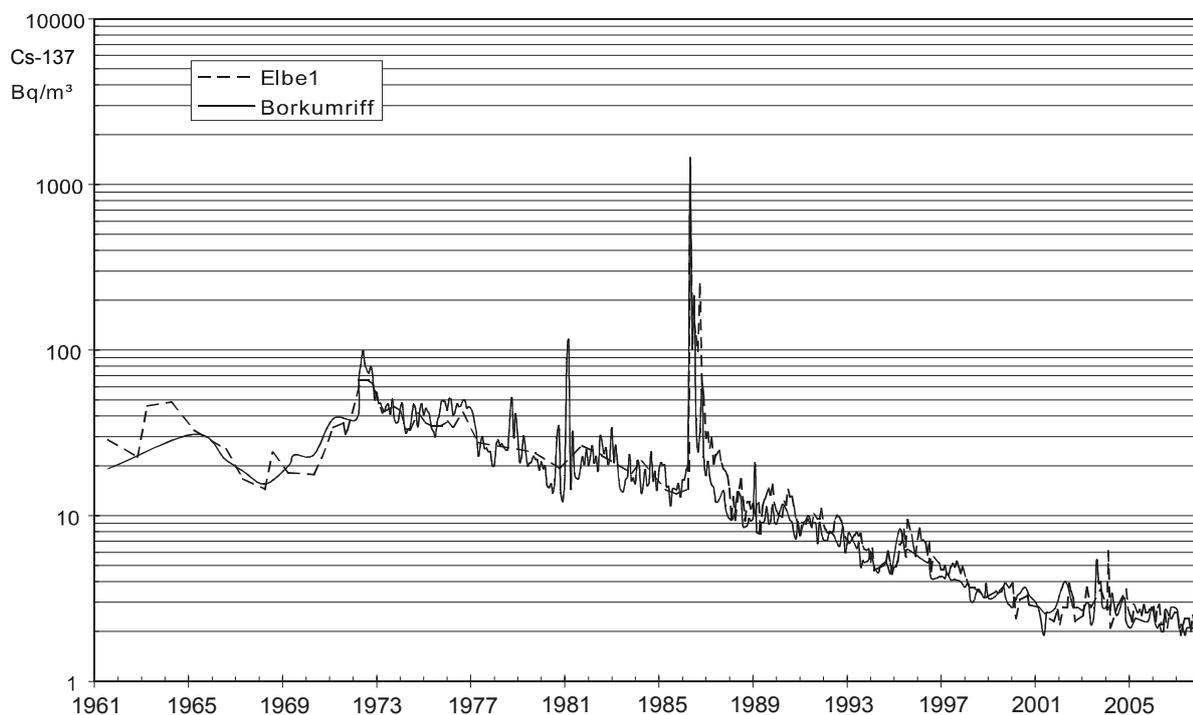


Abbildung 2.2.1-1 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961)

In der Abbildungen 2.2.1-3 wird die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 an der Wasseroberfläche in der Deutschen Bucht im März 2007 dargestellt. Die Konzentrationen überstreichen einen Bereich von $1,8 \text{ Bq/m}^3$ an der Elbemündung bis zu $3,6 \text{ Bq/m}^3$, wobei die höheren Konzentrationen in der mittleren Deutschen Bucht zu finden sind. Im Vergleich zu früheren Jahren sind die Konzentrationen von Cs-137 sehr niedrig. Eine eindeutige Zuordnung zu einer Quelle ist bei diesen geringen Werten kaum noch möglich. Wie die Vergleichsproben aus der Elbe bei Stade ($0,9 \text{ Bq/m}^3$, siehe Jahresbericht 2006) zeigen, ist der Beitrag aus dem Elbwasserabfluss vernachlässigbar. Dies gilt nicht für Sr-90, wie in Abbildung 2.2.1-4 gut zu erkennen ist. Hier werden die höchsten Werte mit $3,0$ bzw. $4,0 \text{ Bq/m}^3$ in der Elbe gefunden. Die geringen Einträge an Cs-137 aus der Elbe sind darauf zurückzuführen, dass Cs-137 im Vergleich zu Sr-90 an Tonmineralen der Böden stärker adsorbiert wird und deshalb über die Flüsse geringer eingetragen wird als Sr-90. Die Quelle des Sr-90 ist der Kernwaffenfallout.

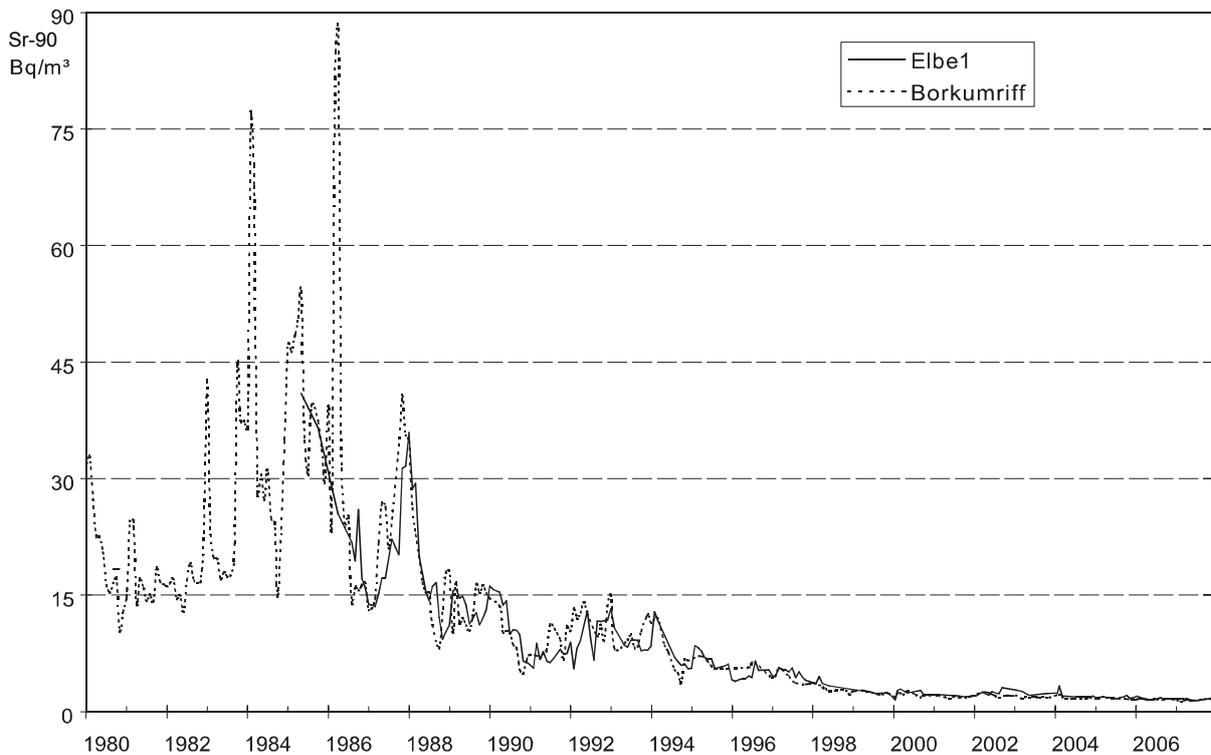


Abbildung 2.2.1-2 Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m^3) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980

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

Die Verteilung von Pu-(239+240) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2007 zeigt die Abbildung 2.2.1-5. Der Messwertebereich erstreckt sich von $4,8$ bis $47,1 \text{ mBq/m}^3$. Auffallend sind dabei die relativ hohen Messwerte in der Elbe und ihrem Ästuar und in der äußeren Deutschen Bucht. Die Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu-(239+240), wie sie in Abbildung 2.2.1-6 dargestellt sind, erlauben die Schlussfolgerung, dass die Herkunft des Plutoniums für das gesamte Untersuchungsgebiet nicht im weltweiten Fallout aus den Kernwaffenversuchen zu suchen ist. Als Aktivitätsverhältnis des Fallouts wäre ein Wert von ca. $0,04$ zu erwarten, die gefundenen Verhältnisse von $0,18$ bis $0,47$ sind charakteristisch für Ableitungen von z. B. den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague. Die in Abbildung 2.2.1-7 dargestellte Verteilung von Am-241 in der Deutschen Bucht zeigt einen Messwertebereich zwischen $2,8$ und $52,2 \text{ mBq/m}^3$. Die erhöhten Messwerte sind auch für das Am-241 zurzeit nicht erklärbar. Dabei ist zu betonen, dass alle hier gefundenen Messwerte der Transurane weit entfernt davon sind, eine Gesundheitsgefährdung für Mensch oder Umwelt darzustellen.

Weitere Untersuchungen zur Klärung der Herkunft der Transurane in der Elbe laufen in Zusammenarbeit zwischen dem BSH und der BfG.

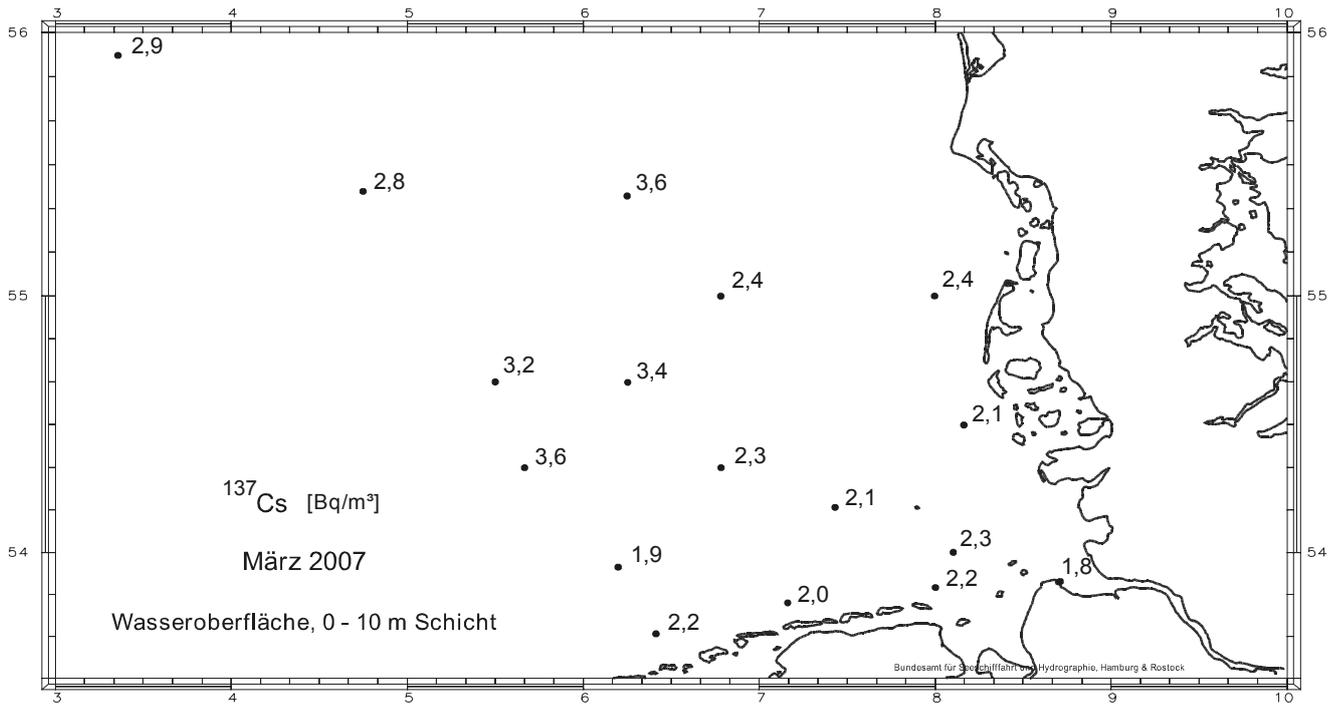


Abbildung 2.2.1-3 Die Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im März 2007
(Distribution of Cs-137 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in March 2007)

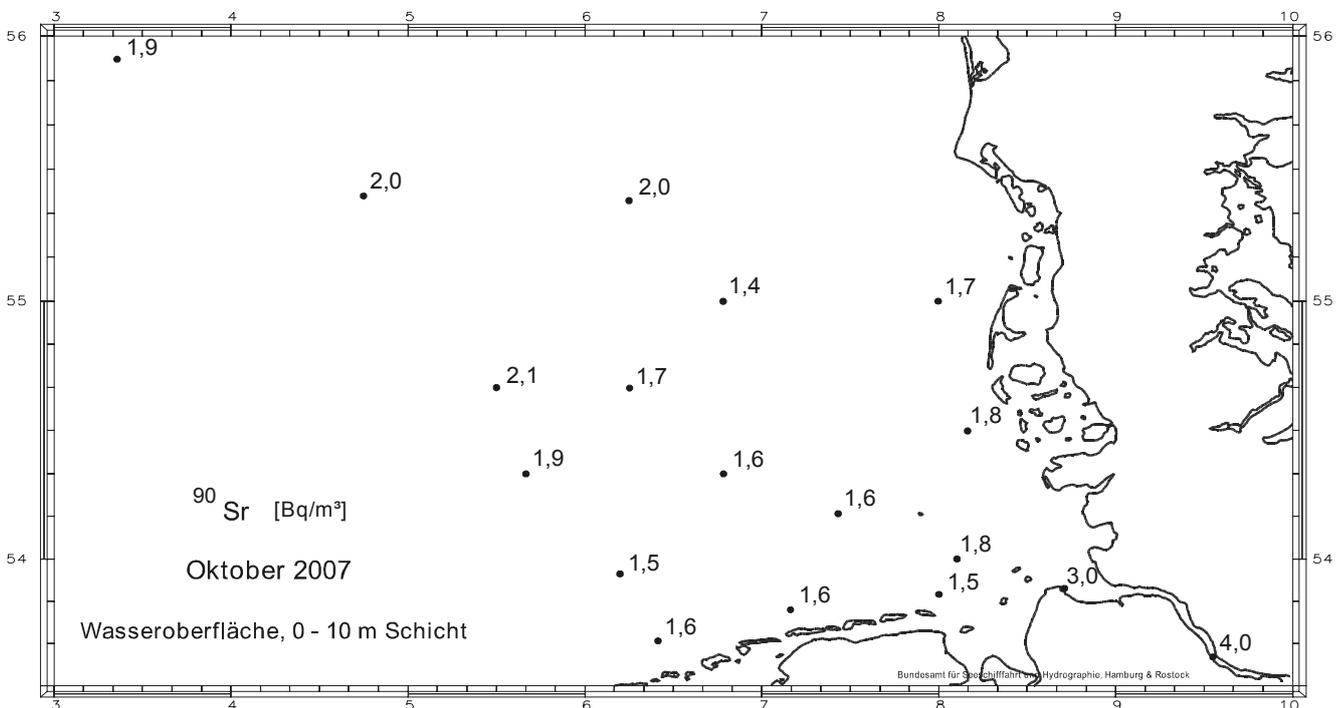


Abbildung 2.2.1-4 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2007.
(Distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in seawater of the German Bight in October 2007)

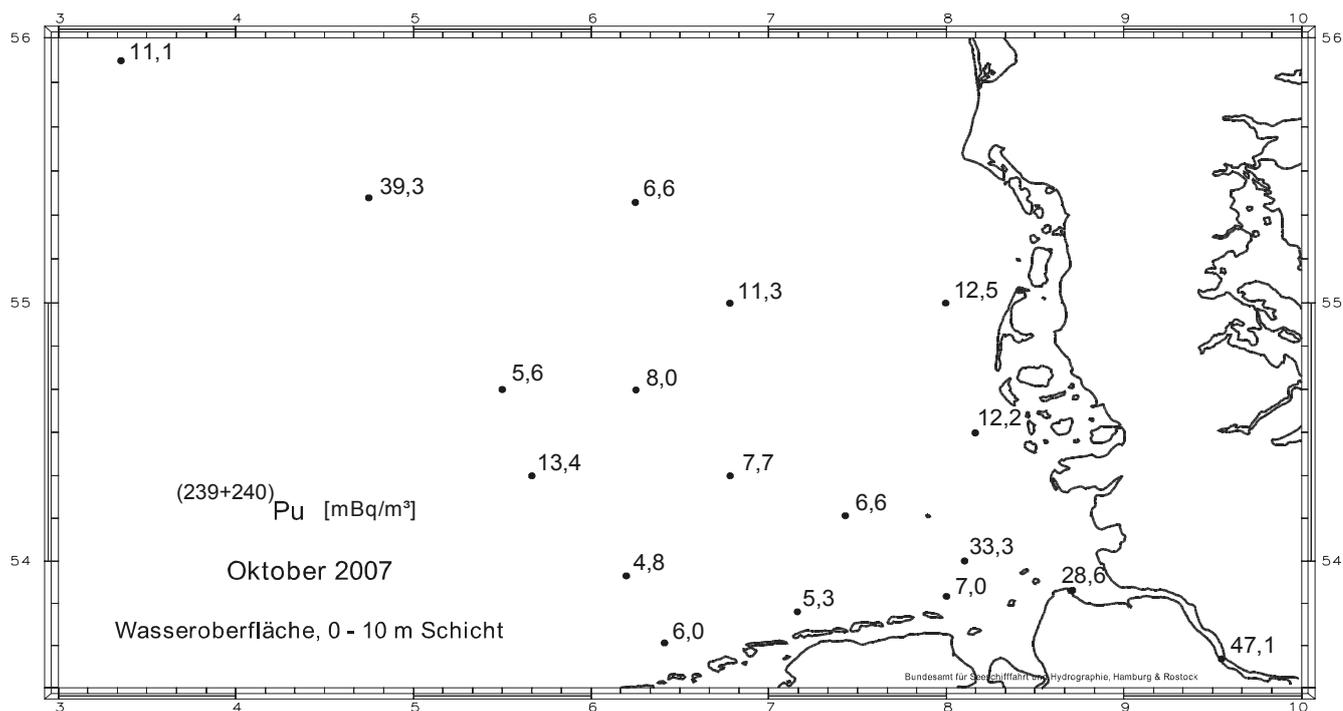


Abbildung 2.2.1-5 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Pu-(239+240) (mBq/m³) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2007
(Distribution of the activity concentration of Pu-(239+240) (mBq/m³) in seawater of the German Bight in October 2007)

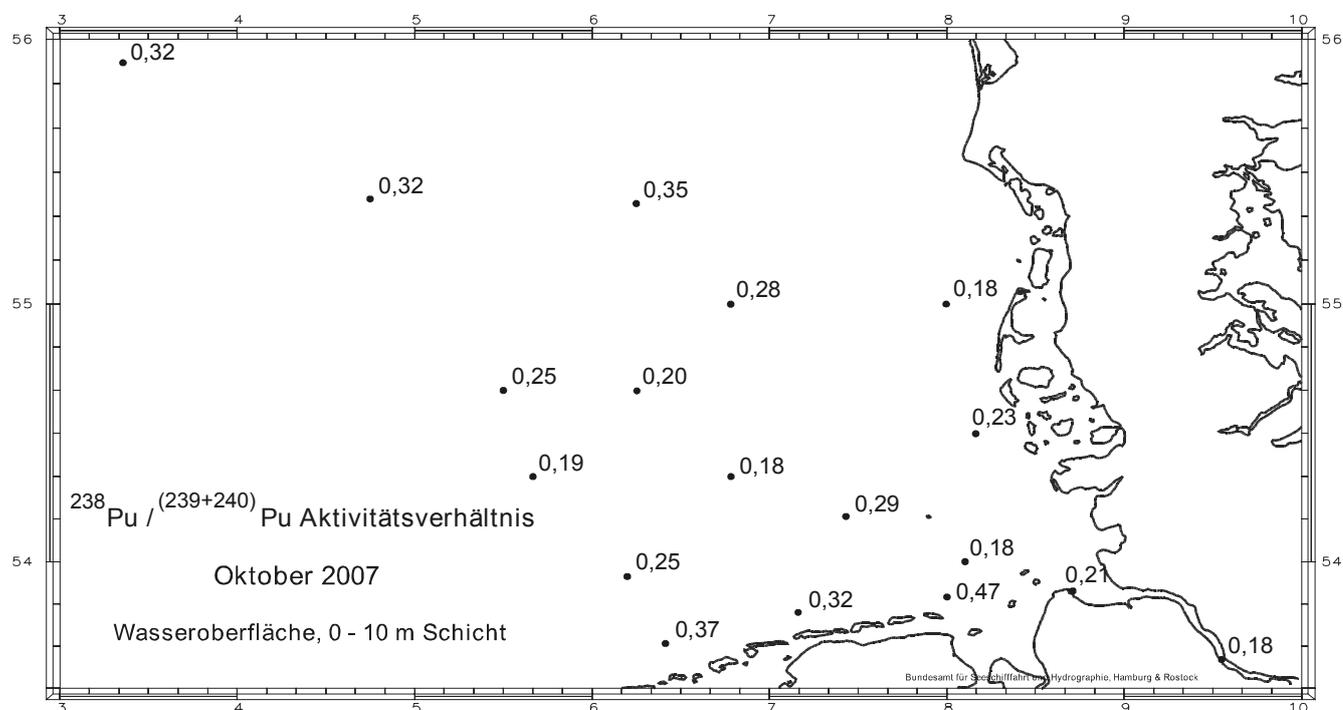


Abbildung 2.2.1-6 Die Verteilung des Aktivitätsverhältnisses Pu-238/Pu(239+240) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2007
(Distribution of the activity ratio Pu-238/Pu-(239+240) in seawater of the German Bight in October 2007)

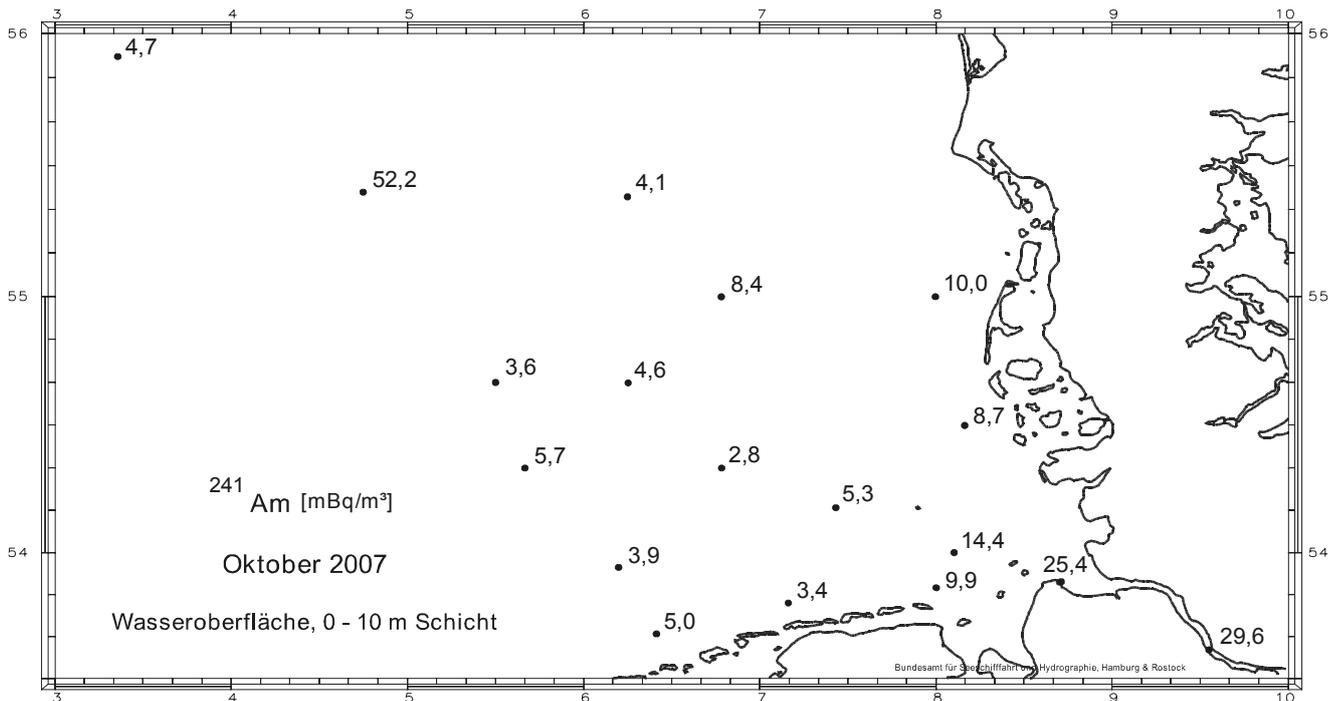


Abbildung 2.2.1-7 Die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Am-241 (mBq/m^3) im Wasser der Deutschen Bucht im Oktober 2007

(Distribution of the activity concentration of Am-241 (mBq/m^3) in seawater of the German Bight in October 2007)

Meerwasser der Ostsee

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

Abbildung 2.2.1-8 stellt den zeitlichen Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 im Oberflächenwasser an der Position Schleimündung in der Ostsee dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentrationen sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt. Dabei sind die messbaren Schwankungen der Cs-137-Aktivitätskonzentration an Meerengen wie Fehmarnbelt (Abbildung 2.2.1-9) und Darßler Schwelle (Kadetrinne, Abbildung 2.2.1-11) stärker ausgeprägt als in ruhigen Buchten wie z. B. der Neustädter Bucht (2.2.1-10). Den gleichmäßigsten Verlauf zeigt die Cs-137-Konzentration an der Position Arkonasee (2.2.1-12), da sie nicht so stark durch Ein- und Ausströme der Beltsee beeinflusst ist.

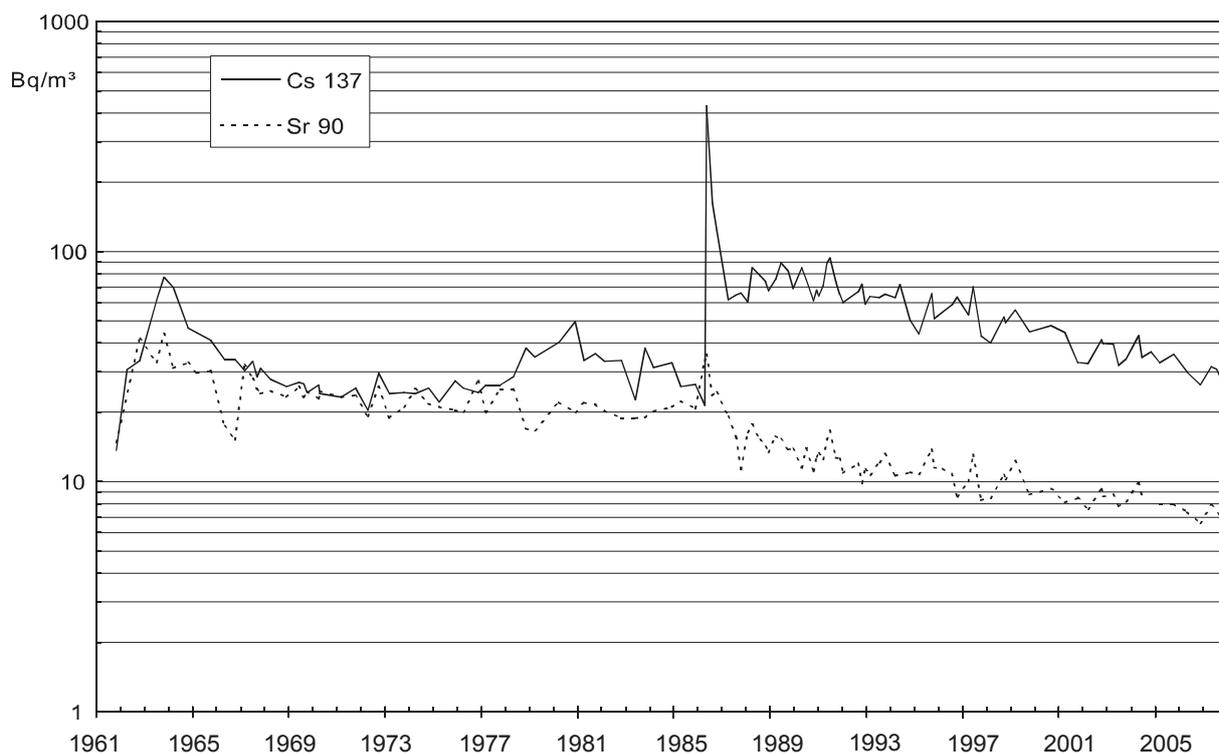


Abbildung 2.2.1-8 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Schleimündung“ ($54^{\circ}40'N$, $010^{\circ}05'O$) seit 1961
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Schleimündung“ ($54^{\circ}40'N$, $010^{\circ}05'E$) since 1961)

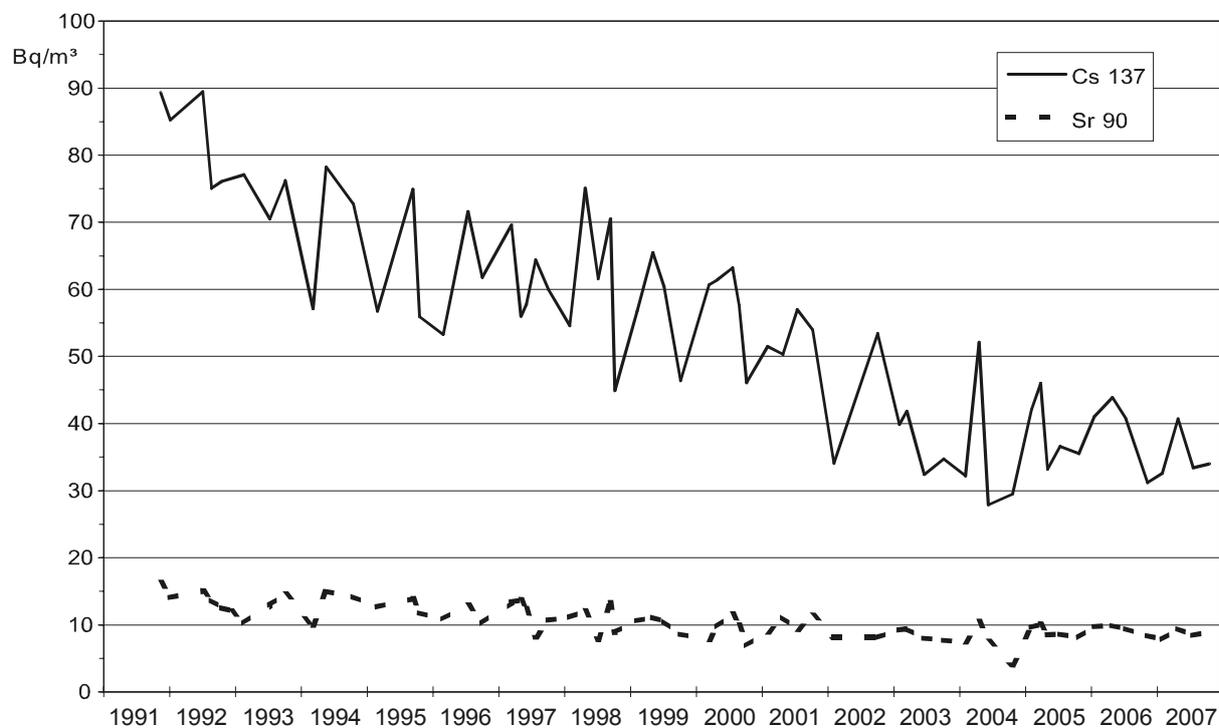


Abbildung 2.2.1-9 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Fehmarnbelt“ ($54^{\circ}36'N$, $011^{\circ}13'O$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Fehmarnbelt“ ($54^{\circ}36'N$, $011^{\circ}13'E$) since 1991)

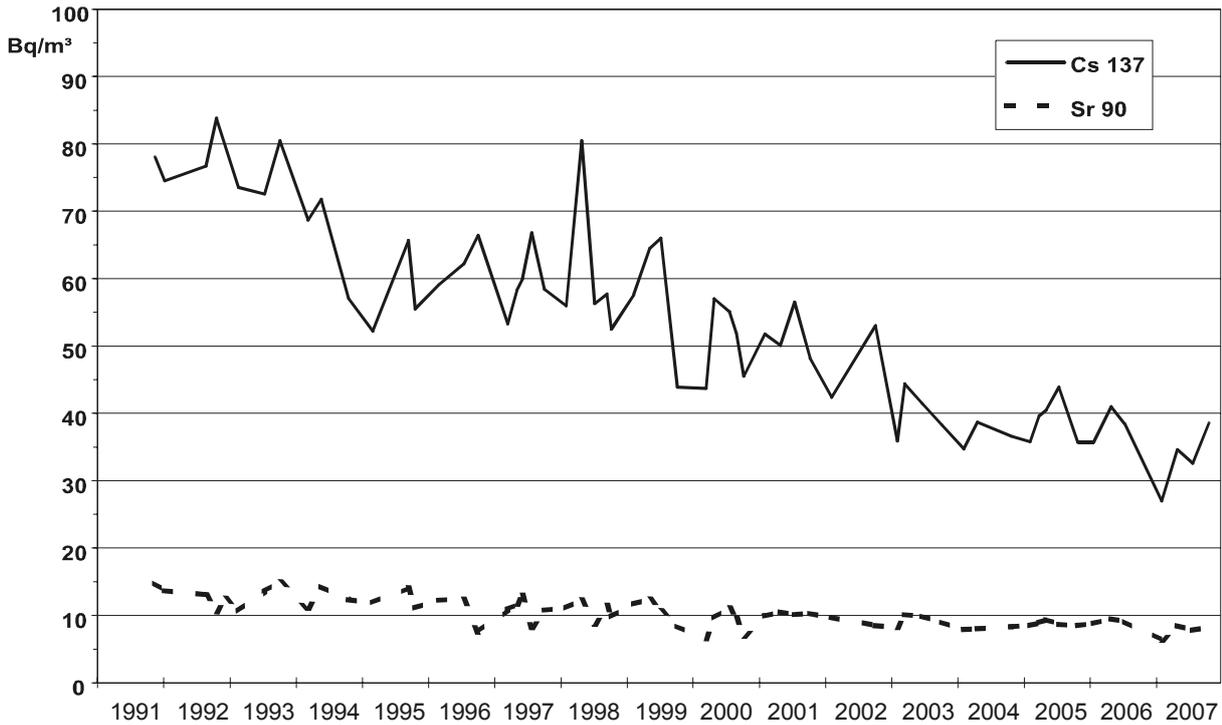


Abbildung 2.2.1-10 Der zeitliche Verlauf der Cs-137 und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Neustädter Bucht“ ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{O}$) seit 1991
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Neustädter Bucht“ ($54^\circ 03' \text{N}$, $010^\circ 51' \text{E}$) since 1991)

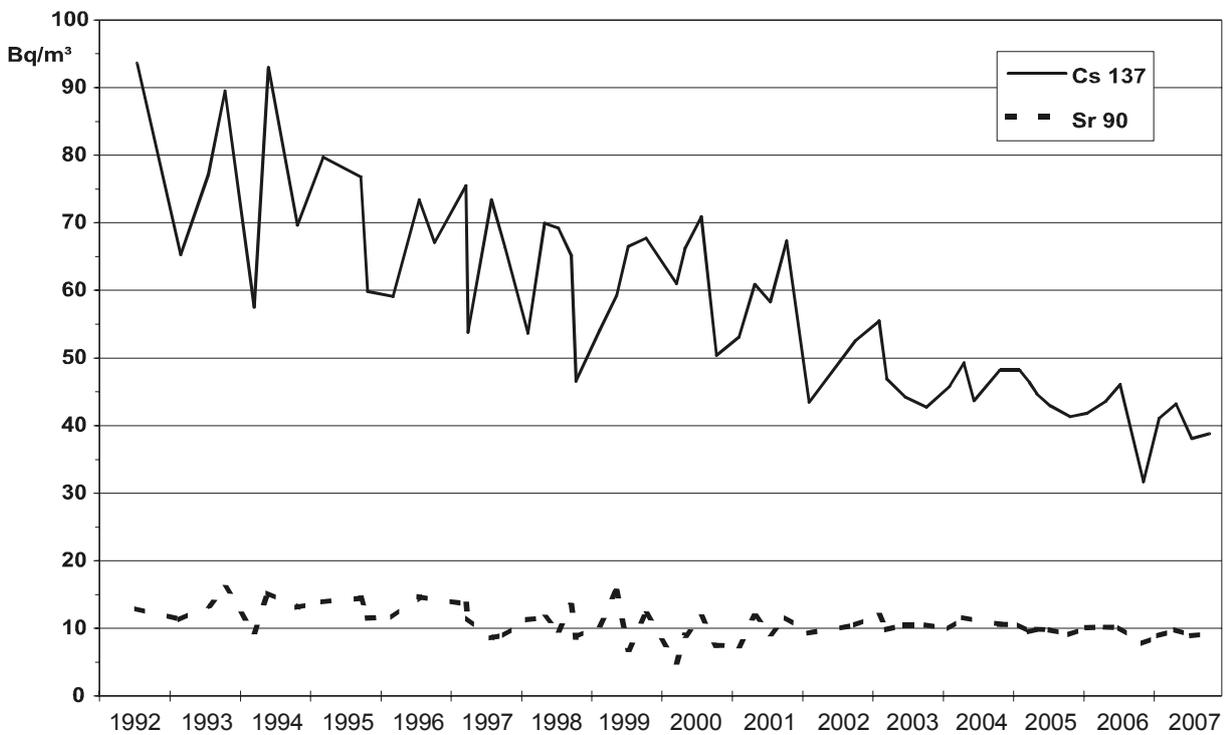


Abbildung 2.2.1-11 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position „Darßer Schwelle“ ($54^\circ 36,3' \text{N}$, $012^\circ 19,9' \text{O}$) seit 1992
(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m^3) at the position „Darßer Schwelle“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

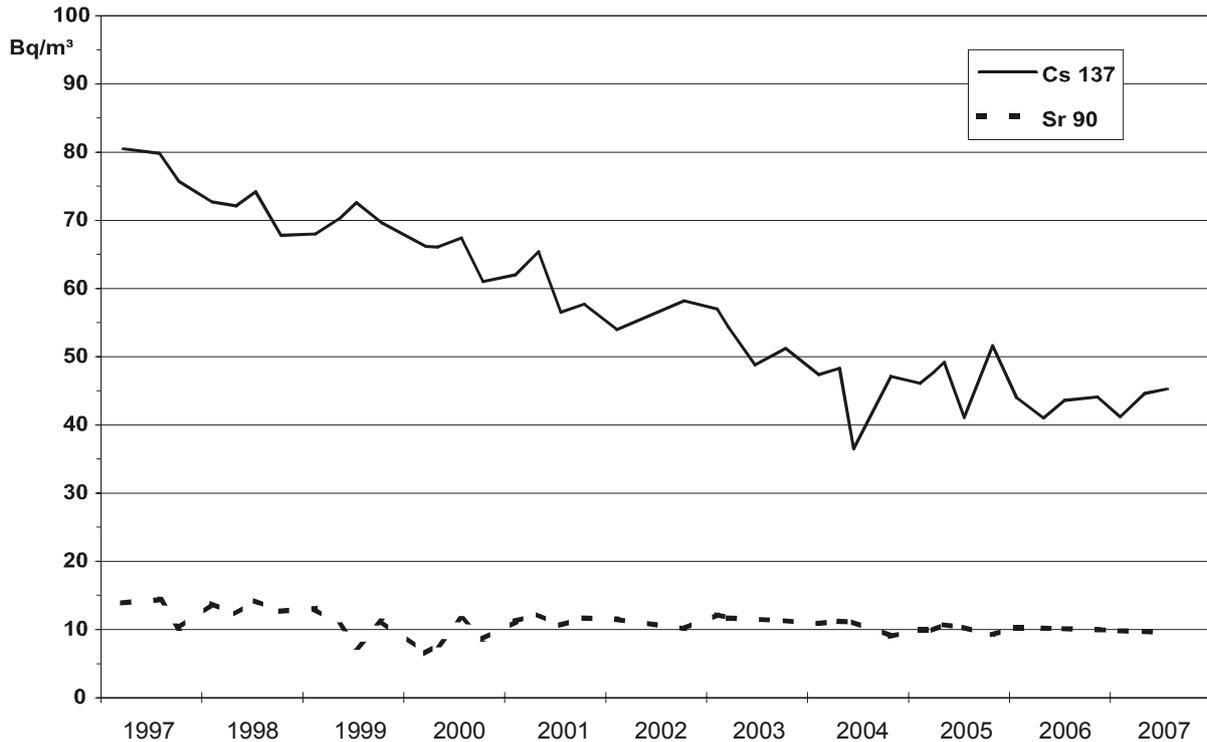


Abbildung 2.2.1-12 Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90 -Aktivitätskonzentrationen Bq/m³ an der Position „Arkonasee“ (54°51,6'N, 013°16,6'O) seit 1997

(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 Bq/m³ at the position „Arkonasee“ (54°51,6'N, 013°16,6'E) since 1997)

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 liegt an der Wasseroberfläche der westlichen Ostsee zwischen etwa 27 Bq/m³ im westlichen und 42 Bq/m³ im östlichen Teil des überwachten Gebietes im Juni 2007 (Abbildung 2.2.1-13). Die Konzentrationen nehmen in west-östlicher Richtung nach wie vor leicht zu - in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallout. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren deutlich verringert hat, liegt sie immer noch um mindestens den Faktor 10 über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der zentralen Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 nachweisen. Dabei weisen, wie in den Vorjahren, die Proben im Bereich des Fehmarnbells den größten Unterschied in der Cs-137-Konzentration zwischen Oberflächen- und Bodenwasser auf. Östlich der Darßener Schwelle kann die Cs-137 Konzentration im gesamten Wasserkörper als homogen betrachtet werden.

Durch den im langjährigen Mittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Menge des Zuflusses an salzreichem und aktivitätsarmem Nordseewasser durch die Bodenschicht des Kattegat ist dabei von Jahr zu Jahr hochvariabel, abhängig von meteorologischen Ereignissen. Um diesen Einstrom besser zu charakterisieren, wurden sieben sogenannte Indikatorstationen entlang des Haupteinstrombereiches ausgewählt. Die Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentration, jeweils getrennt für Oberflächen- und Bodenwasser, wurden in Abbildung 2.2.1-14 dargestellt. Neben dem generellen Trend zu geringeren Konzentrationen kann man sowohl die Differenzen zwischen Oberflächen- und Bodenwasser als die Homogenität über die gewählte Einstromgrenze als Indikator für die unterschiedlichen Einstromsituationen heranziehen. In den letzten Jahren ist eine stetige Einstromsituation im Bodenwasser mit ausgeprägten Differenzen zwischen Oberfläche und Bodenwasser im Cs-137-Gehalt festzustellen, die von Jahren mit geringen Differenzen (2004, 2007) oder großer Inhomogenität (1999) unterbrochen wurde. Letztere werden als Jahre mit geringem oder unvollständigem Einstrom von Nordseewasser interpretiert.

Kompensiert wird der Zufluss an Nordseewasser durch einen stetigen Ausfluss an Oberflächenwasser aus der Ostsee in den Skagerrak. Die Ostsee stellt dadurch seit einigen Jahren die stärkste Quelle für Cs-137 im Nordatlantik dar. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen.

Die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächenwasser auf einigen ausgewählten Stationen im Untersuchungsgebiet im Juni 2007 ist in Abbildung 2.2.1-15 dargestellt. Die Verteilung von Sr-90 ist sehr homogen, weil sie vom globalen Fallout und nicht vom Tschernobyl-Unfall bestimmt wird. Gleiches gilt für die Verteilung der Aktivitätskonzentration von Tritium im Oberflächenwasser, welche abschließend in Abbildung 2.2.1-16 dargestellt ist. Im Vergleich zum Vorjahr lässt sich keine signifikante Veränderung feststellen.

Es ist festzuhalten, das während der über 20-jährigen Laufzeit der internationalen Radioaktivitäts - Überwachungsprogramme (HELCOM) keinerlei Messwerte im Wasser der Ostsee gefunden wurden, die auf Einleitungen der nuklearen Anlagen der Ostseeanrainerstaaten zurückzuführen wären.

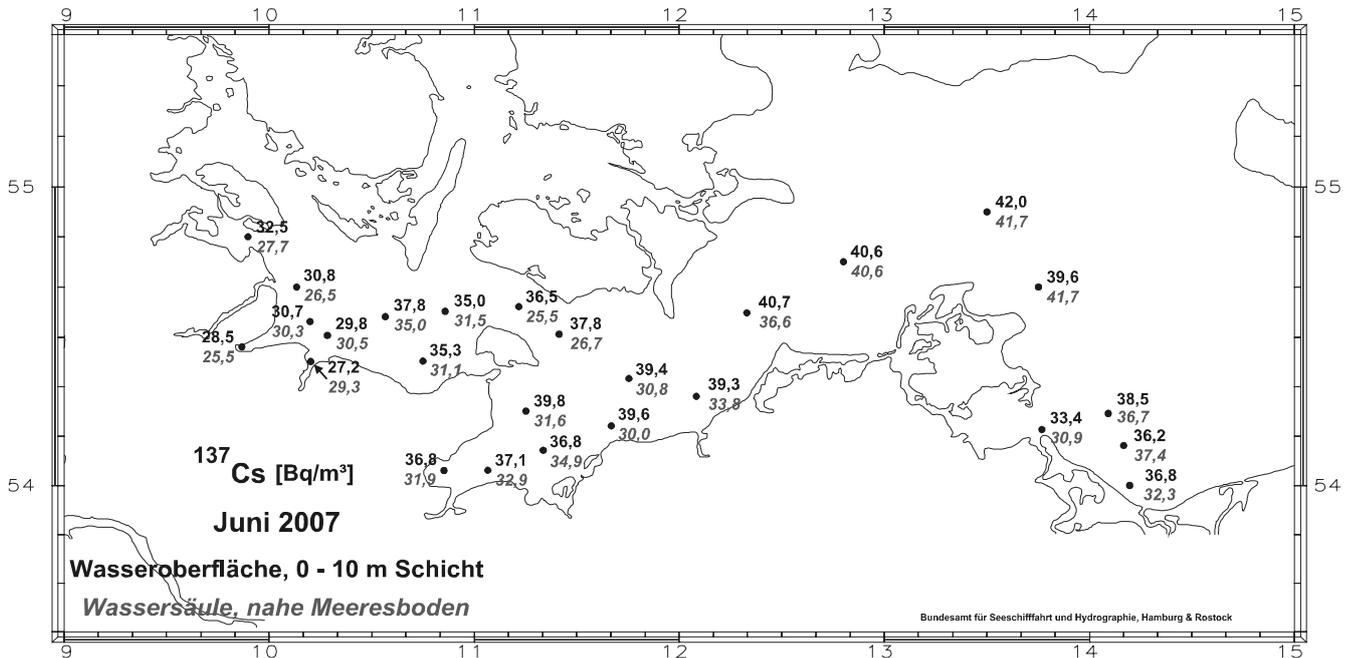


Abbildung 2.2.1-13 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) im Oberflächen- und Bodenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2007
(Spatial distribution of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) in surface and bottom sea water of the western Baltic Sea in June 2007)

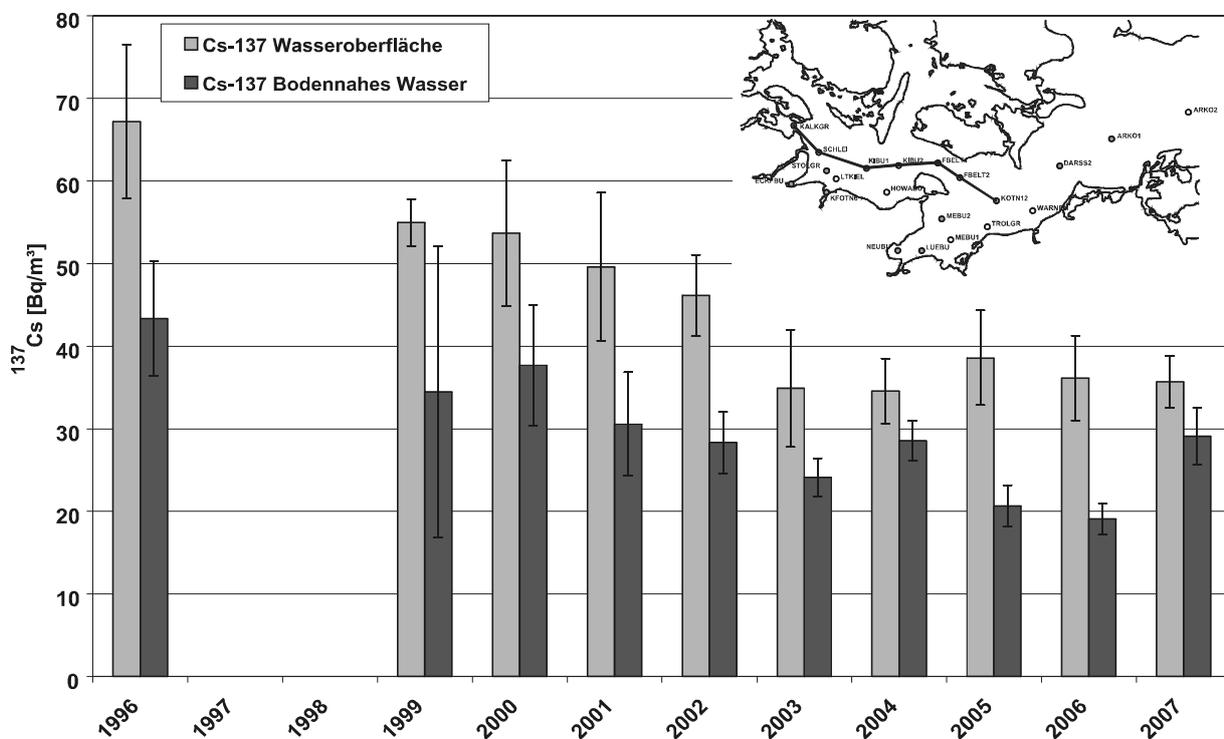


Abbildung 2.2.1-14 Zeitreihe der Mittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen an 7 Indikatorstationen in der westlichen Ostsee
(Timeseries of mean values of Cs-137-activity concentrations from 7 indicator stations in the western Baltic Sea)

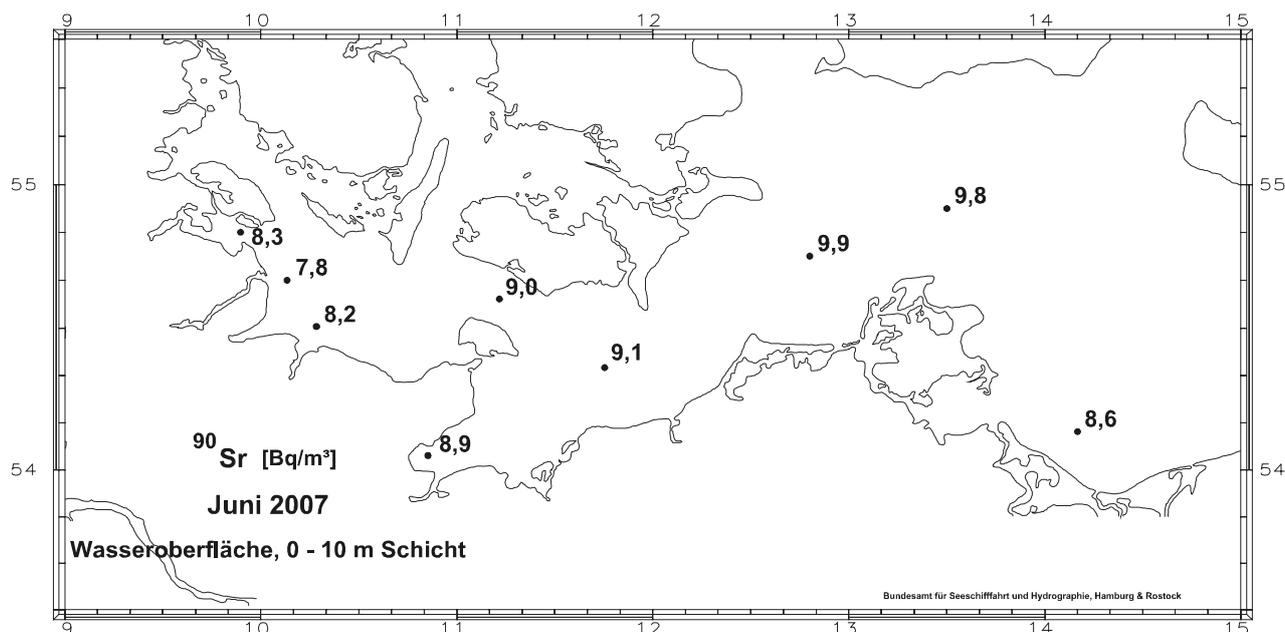


Abbildung 2.2.1-15 Verteilung der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2007
(Spatial distribution of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m³) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2007)

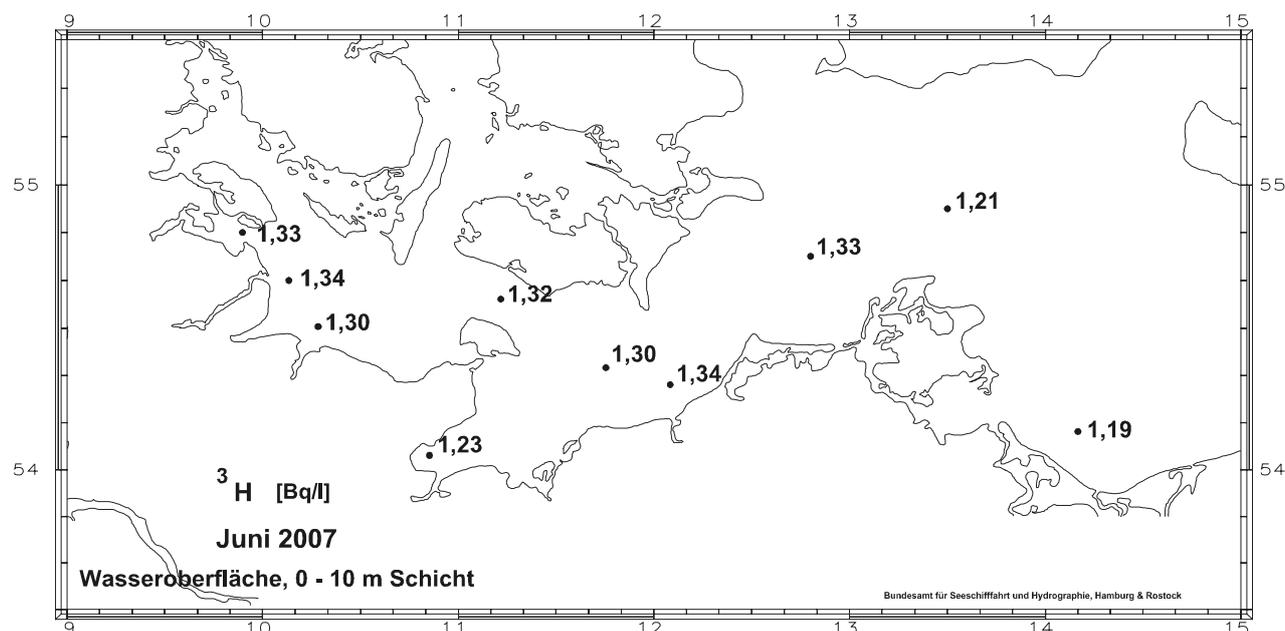


Abbildung 2.2.1-16 Verteilung der Aktivitätskonzentration von H-3 (Bq/l) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee im Juni 2007
(Spatial distribution of the activity concentration of tritium (Bq/l) in surface sea water of the western Baltic Sea in June 2007)

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 2.2.1-17 ist das Inventar in kBq/m² einiger ausgewählter Sedimentstationen der westlichen Ostsee bis in 16 cm Tiefe dargestellt. Die höchsten Werte mit bis zu 4,7 kBq/m² (Eckernförder Bucht) sind in den wasseraustauscharmen Buchten zu finden. Es zeigt sich, dass auch 20 Jahre nach dem Tschernobyl-Unfall noch beachtliche Depositionen gefunden werden können. Dabei wurden spezifische Aktivitäten von bis zu 142 Bq/kg Trockenmasse festgestellt. Die Inventare hängen stark von der Feinkörnigkeit der Sedimente ab. Da-

bei sind die in diesem Teil der Ostsee gefundenen Inventare an Cs-137 wesentlich geringer als z. B. im Finnischen oder Bottnischen Meerbusen, jedoch höher als in fast allen Gebieten des Weltmeeres mit Ausnahme der Irischen See.

Die Bestimmung künstlicher Radionuklide lässt sich auch zur Altersbestimmung von Sedimentkernen nutzen. In Abbildung 2.2.1-18 sind die Profile der spezifische Aktivitäten von Cs-137 und Pu-(239+240) in einem Kern aus der Kieler Förde im Jahr 2007 dargestellt. Klar erkennbar ist ein Cs-137-Maximum in der Schicht 6 bis 8 cm und ein Pu-(239+240)-Maximum in der Schicht 14 bis 16 cm. Legt man die Ereignisse des Tschernobyl-Unfalls 1986 und den Höhepunkt der atmosphärischen Kernwaffenversuche Anfang der 60er Jahre als jeweilige Quelle zu Grunde, ergeben sich für beide Parameter übereinstimmend Sedimentationsraten von 3,3 - 3,4 mm pro Jahr für diese Station.

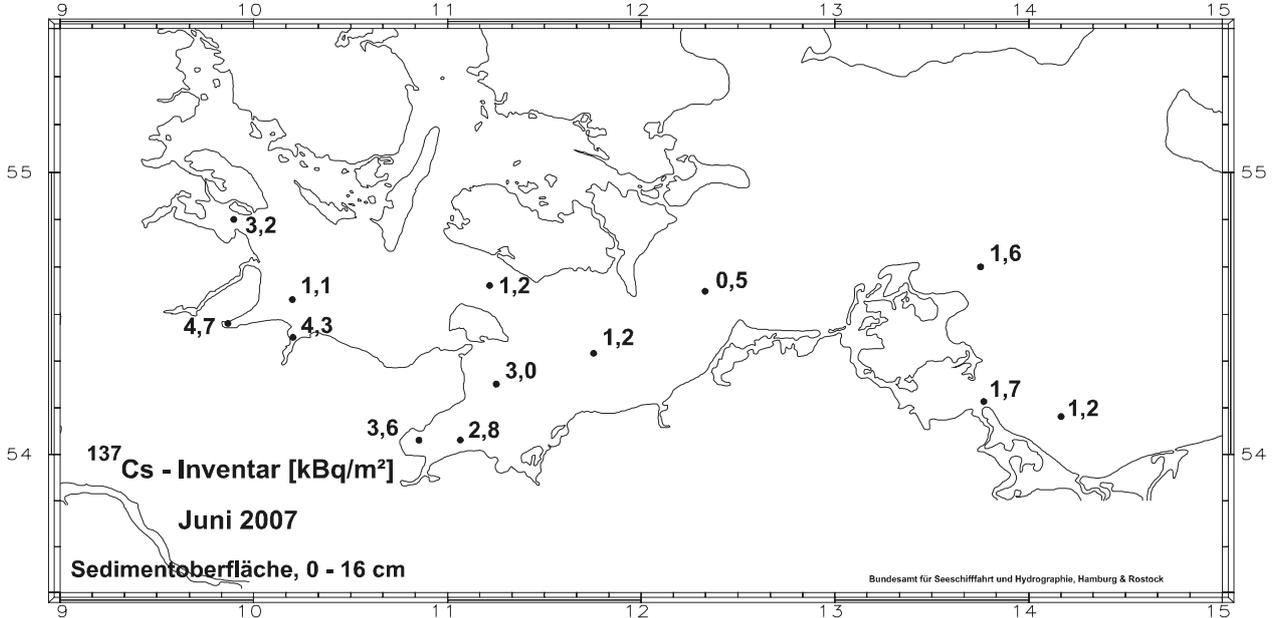


Abbildung 2.2.1-17 Cs-137 Inventar (kBq/m^2) in Sedimentkernen der westlichen Ostsee im Juni 2007. Das Inventar wird bis 16 cm Sedimenttiefe erfasst
(Cs-137 Inventory (kBq/m^2) in sediment cores of the western Baltic Sea in June 2007. The inventory is calculated down to 16 cm depth)

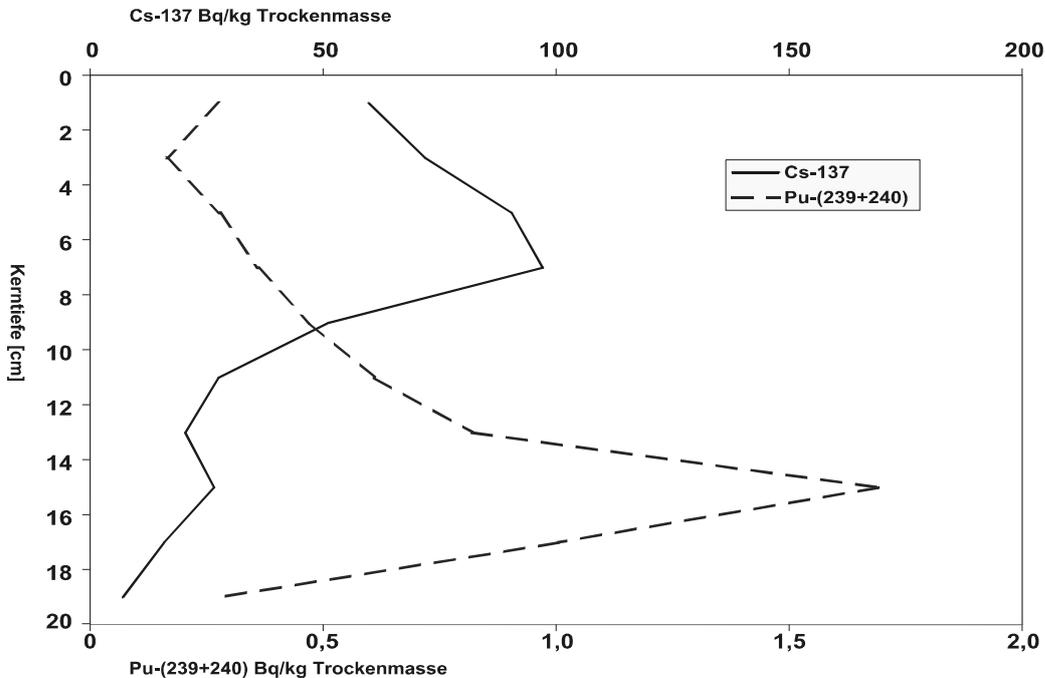


Abbildung 2.2.1-18 Profile der spezifische Aktivitäten von Cs-137 (Bq/kg TM) und Pu-(239+240) (Bq/kg TM) in einem Sedimentkern aus der Kieler Förde im Juni 2007
(Profiles of specific activity of Cs-137 (Bq/kg DW) and Pu-(239+240) (Bq/kg DW) in a sediment core from Kieler Förde in June 2007)

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 2007 berichtet.

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

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

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentproben aus 161 Gewässern - davon 84 Fließgewässer und 77 Seen bzw. Talsperren - mit insgesamt ca. 17.300 Messwerten ausgewertet. Für repräsentative Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen bzw. spezifischen Aktivitäten berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Weiterhin sind die Anzahl der Werte (N) und die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte stets derart berechnet worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit „<“ gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Damit stellen diese Mittelwerte obere Grenzen dar, die die tatsächlichen mittleren Aktivitätsgehalte eher überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung „nn“ angegeben. Tabelle 2.2.2-2 enthält die Auswertungen für Fließgewässer und Tabelle 2.2.2-3 die für Seen bzw. Talsperren. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte ausgewählter Entnahmestellen in den Abbildungen 2.2.2-1 bis 2.2.2-8 beispielhaft aufgezeigt.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2007 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasserproben wiesen H-3-Konzentrationen im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des RMP von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die H-3 aus kerntechnischen Anlagen eingeleitet wurde, betragen die Jahresmittelwerte höchstens 23 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit ebenfalls unter den Nachweisgrenzenvorgaben des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren - von H-3 abgesehen - im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht mehr nachweisbar. I-131 trat sporadisch auf mit Einzelkonzentrationen bis 0,03 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für 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 0,0002 und 0,08 Bq/l. Pu-238 wurde vereinzelt bis 0,0007 Bq/l bestimmt und Pu-(239+240) wurde nicht nachgewiesen.

In **Schwebstoffproben** lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 vorwiegend unter 100 - meist unter 50 Bq/kg TM. Höhere Werte für Cs-137 wurden wiederum von einzelnen Seen berichtet: z. B. Steinhuder Meer (Niedersachsen) mit 295 und Starnberger See (Bayern) mit 188 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 und Co-60 konnten in Mosel und Rhein nachgewiesen werden, wobei die Werte unter 5 Bq/kg TM lagen und damit unter der geforderten Nachweisgrenze des RMP. Für I-131 wurden Einzelwerte bis 30 Bq/kg TM gemessen (Mosel).

In **Sedimentproben** betragen die mittleren spezifischen Aktivitäten von Cs-137 meist bis 100 Bq/kg TM. In einzelnen Seen traten auch hier noch höhere mittlere Gehalte an Cs-137 auf: z. B. Schollener See (Sachsen-Anhalt) 258 und Schaalsee (Schleswig-Holstein) 160 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 - in Elbe, Jadebusen, Main und Mosel gemessen - lagen im Mittel deutlich unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Aus radiologischer Sicht ist der Gütezustand der Binnengewässer in 2007 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 Radionuklidgehalte - wie bei anderen Schadstoffen auch - mit der Korngrößenverteilung (siehe auch Teil A). Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und von nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet bzw. eingetragen werden.

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 μ Sv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<= 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 μ Sv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid K-40 für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 μ Sv/a deutlich darüber.

Insbesondere Cs-137 war auch 2007 in Sedimenten noch deutlich nachweisbar. Würde ein Sediment mit einem Cs-137-Gehalt von 100 Bq/kg TM bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad „Aufenthalt auf Spülfeldern“ für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11 μ Sv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Th nat und U nat bei typischen Gehalten von 500, 40 und 40 Bq/kg TM für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 28 μ Sv/a wesentlich höher.

Tabelle 2.2.2-1 Übersicht über die für 2007 insgesamt ausgewerteten Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI mit den jeweiligen maximalen Messwerten und den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten
(*Overview of all measuring results for surface water, suspended matter, and sediment evaluated in 2007, in accordance with the StrVG and REI, along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times*)

| Kompartiment | Nuklid | Anzahl der Werte | Maximalwert | Gewässer | Ort / KT-Anlage | Datum / Zeitraum | Überwachungsprogramm |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|----------------------|
| Oberflächenwasser (Bq/l) | G α -Aktivität | 191 | 0,461 | Ems, km 24,64 | Terborg | November | StrVG |
| | G β -Aktivität | 112 | 6,4 | Salzbach | Endlager Morsleben | Februar | REI |
| | H-3 | 1.767 | 7940 | Ems | KKE Emsland, Auslaufbauwerk | IV. Quartal | REI |
| | Co-60 | 1.716 | 0,024 | Rhein | KMK Müheim-Kärllich, Auslaufbauwerk | II. Quartal | REI |
| | Sr-90 | 318 | 0,030 | Weser, km 204,4 | Minden | 15.3. | StrVG |
| | I-131 | 483 | 0,072 | Weschnitz | KWB Biblis | 25.4. | REI |
| | Cs-137 | 1.627 | 0,076 | Arendsee | Arendsee | 1.8. | StrVG |
| | Pu-238 | 129 | 0,0011 | Elbe | GNS Gorleben | I. Halbjahr | REI |
| | Pu-(239+240) | 129 | 0,00019 | Kalter Bach | FS Rossendorf | I. Quartal | REI |
| | Sonstige | 5.605 | | | | | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Co-58 | 67 | 1,53 | Mosel, km 229,87 | Palzem | September | StrVG |
| | Co-60 | 548 | 4,95 | Mosel, km 229,87 | Palzem | Juni | StrVG |
| | I-131 | 209 | 30,3 | Mosel, km 196,0 | Trier | Oktober | StrVG |
| | Cs-137 | 548 | 470 | Steinhuder Meer | Wunstorf | IV. Quartal | StrVG |
| | Sonstige | 2.804 | | | | | |
| Sediment (Bq/kg TM) | G α -Aktivität | 4 | 560 | Hirschkanal | FZ Karlsruhe | IV. Quartal | REI |
| | G β -Aktivität | 4 | 1900 | Hirschkanal | FZ Karlsruhe | IV. Quartal | REI |
| | Co-58 | 94 | 0,72 | Rhein | KKP Philippsburg | II. Quartal | REI |
| | Co-60 | 1.107 | 42 | Hauptentwässerungskanal | FZ Jülich | 2.5. | REI |
| | Cs-137 | 1.107 | 285 | Tegernsee | Gmund | 24.9. | StrVG |
| | Pu-238 | 6 | 0,23 | Elbe | GNS Gorleben | 4.6. | REI |
| | Pu-(239 + 240) | 6 | 0,21 | Elbe | GNS Gorleben | 4.6. | REI |
| | Am-241 | 23 | 12,3 | Hirschkanal | FZ Karlsruhe | 2.4. | REI |
| | Sonstige | 5.810 | | | | | |

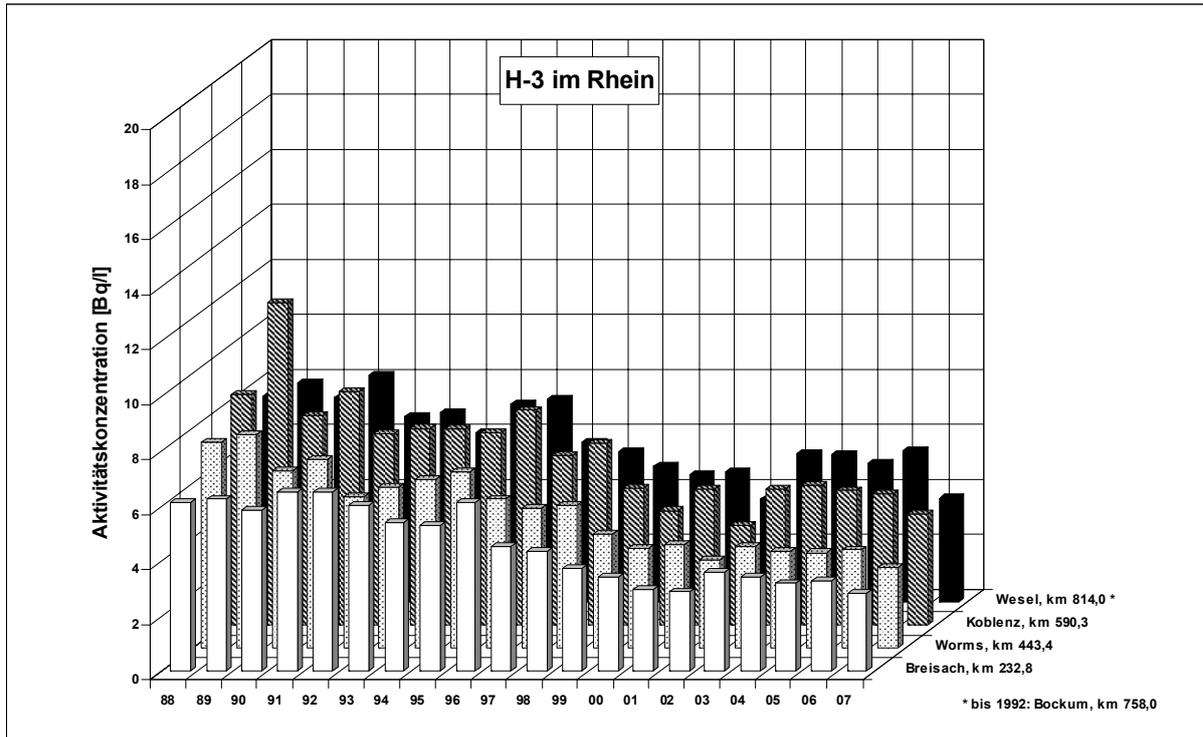


Abbildung 2.2.2-1 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser aus dem Rhein (Jahresmittelwerte)
 (Contents of tritium (Bq/l) in surface water from the Rhine - annual mean values)

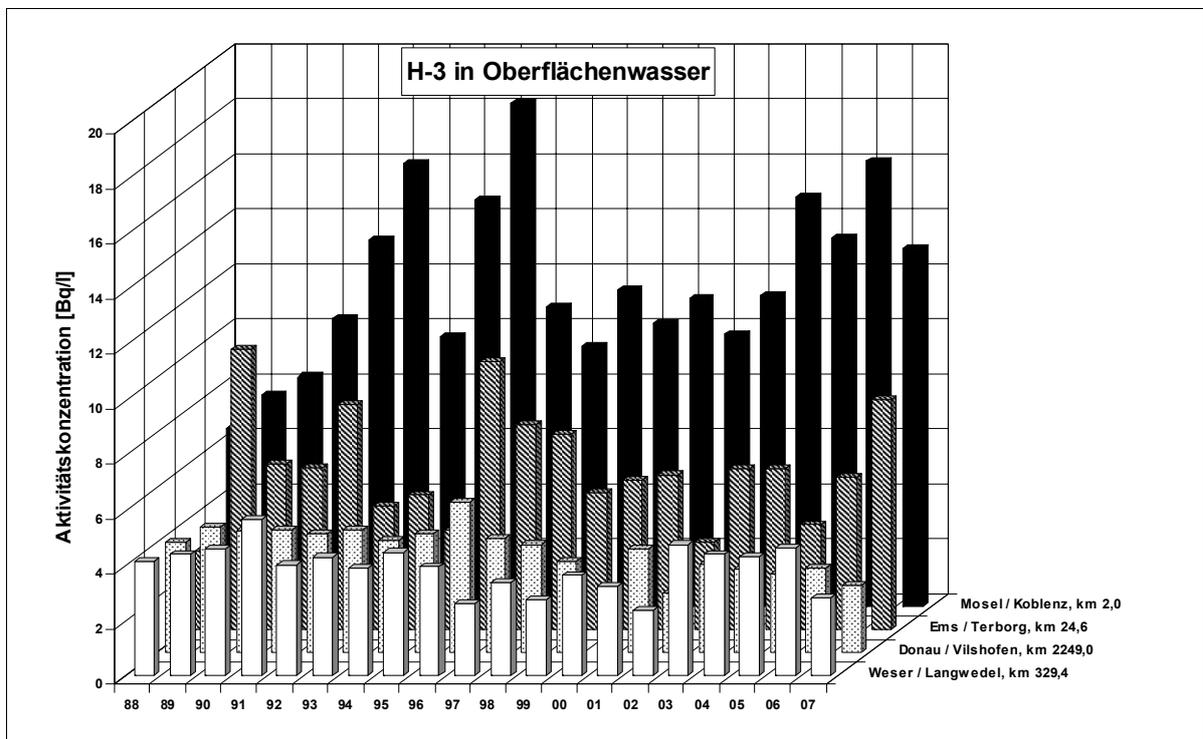


Abbildung 2.2.2-2 Tritiumgehalte (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer
 (Jahresmittelwerte)
 (Contents of tritium (Bq/l) in surface water from selected inland waters - annual mean values)

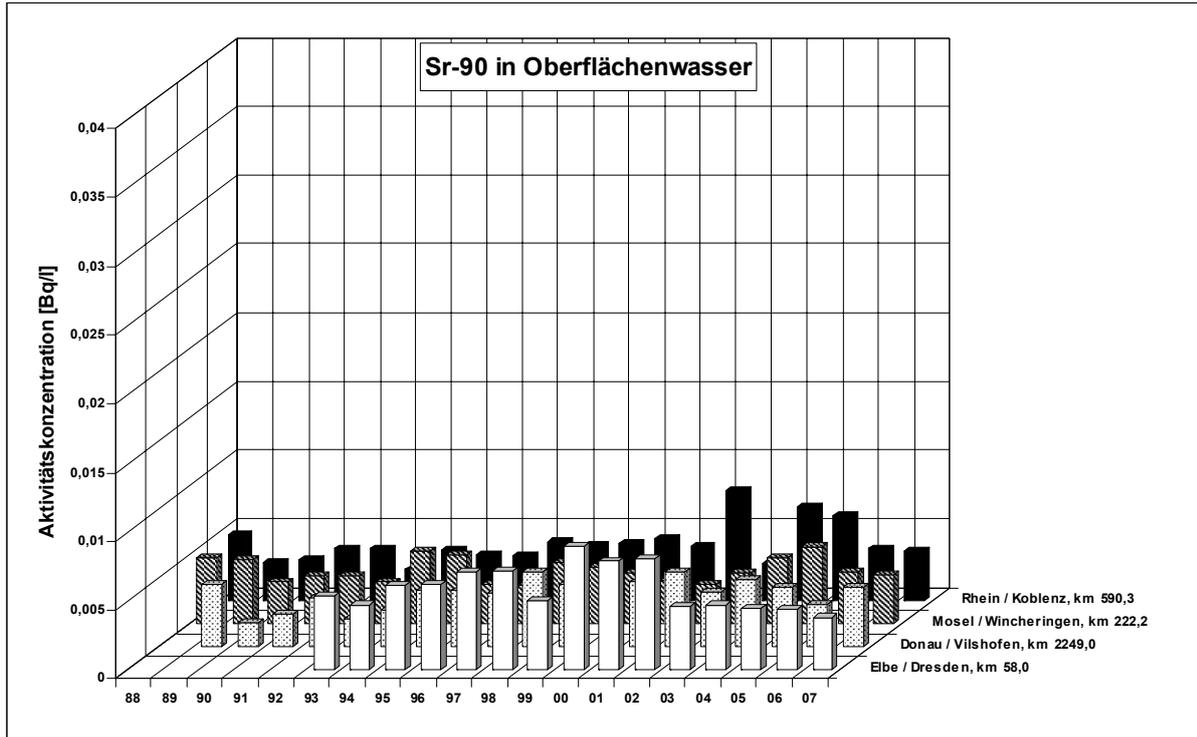


Abbildung 2.2.2-3 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Sr-90 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

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

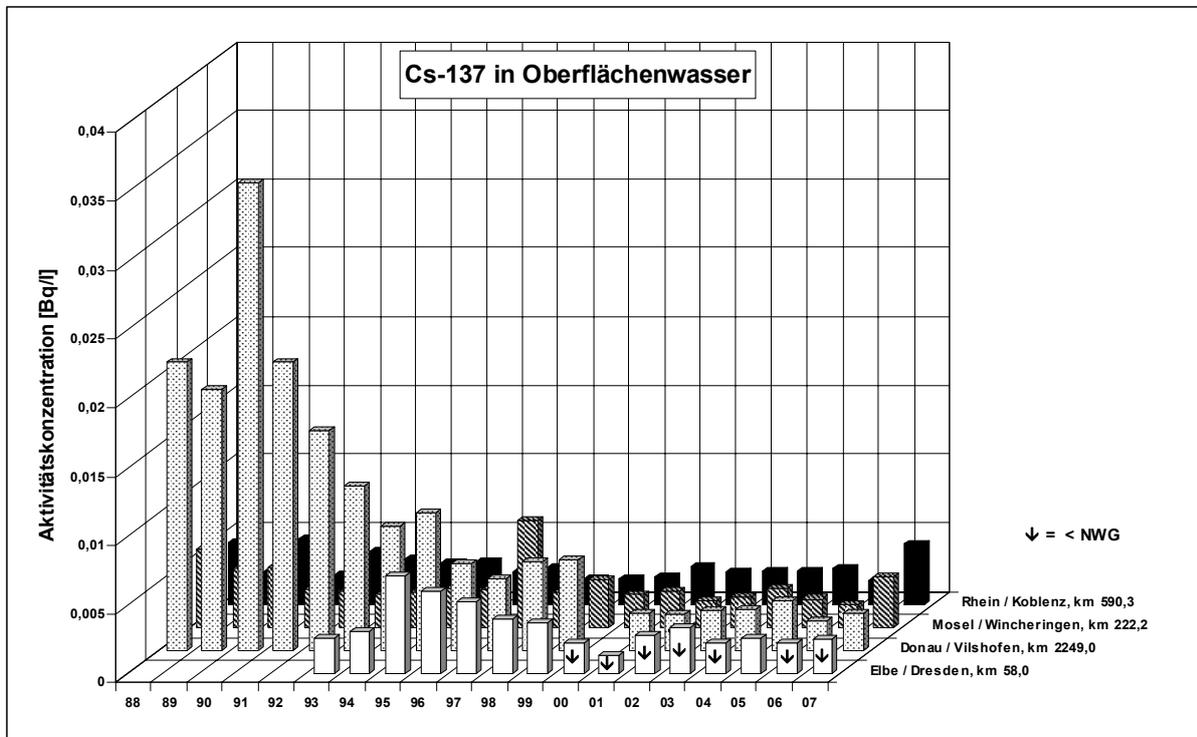


Abbildung 2.2.2-4 Aktivitätskonzentrationen (Bq/l) von Cs-137 in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

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

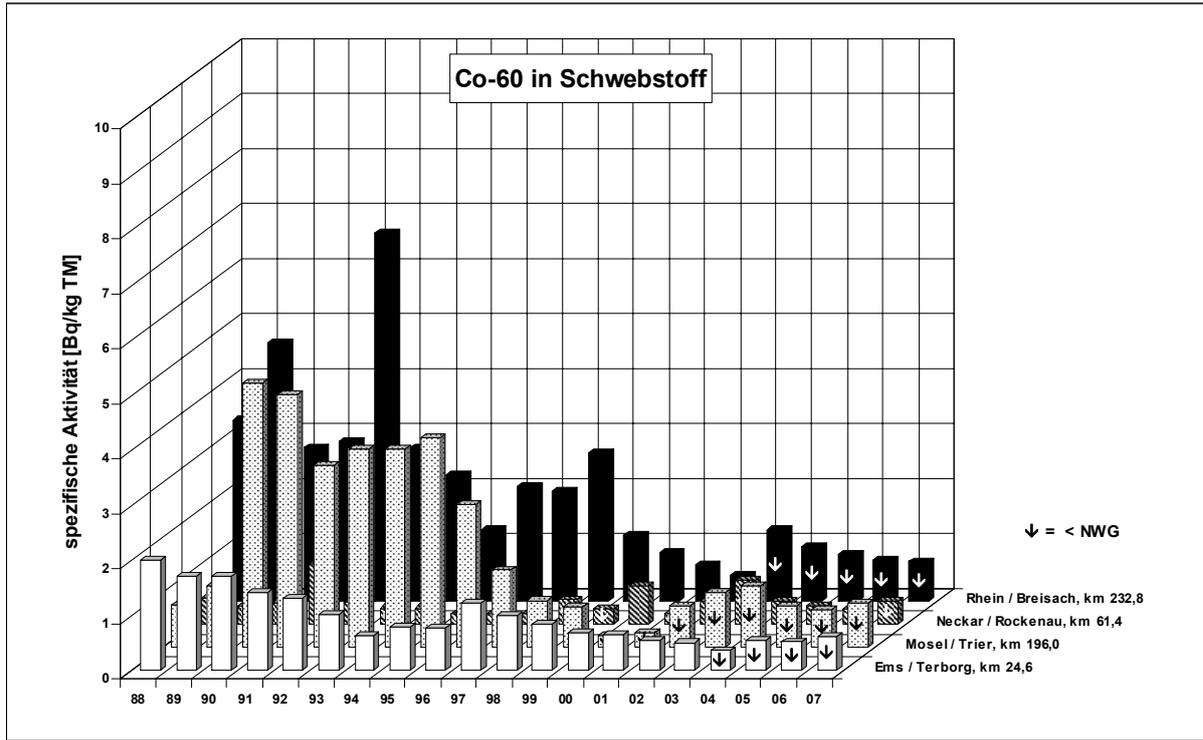


Abbildung 2.2.2-5 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Co-60 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

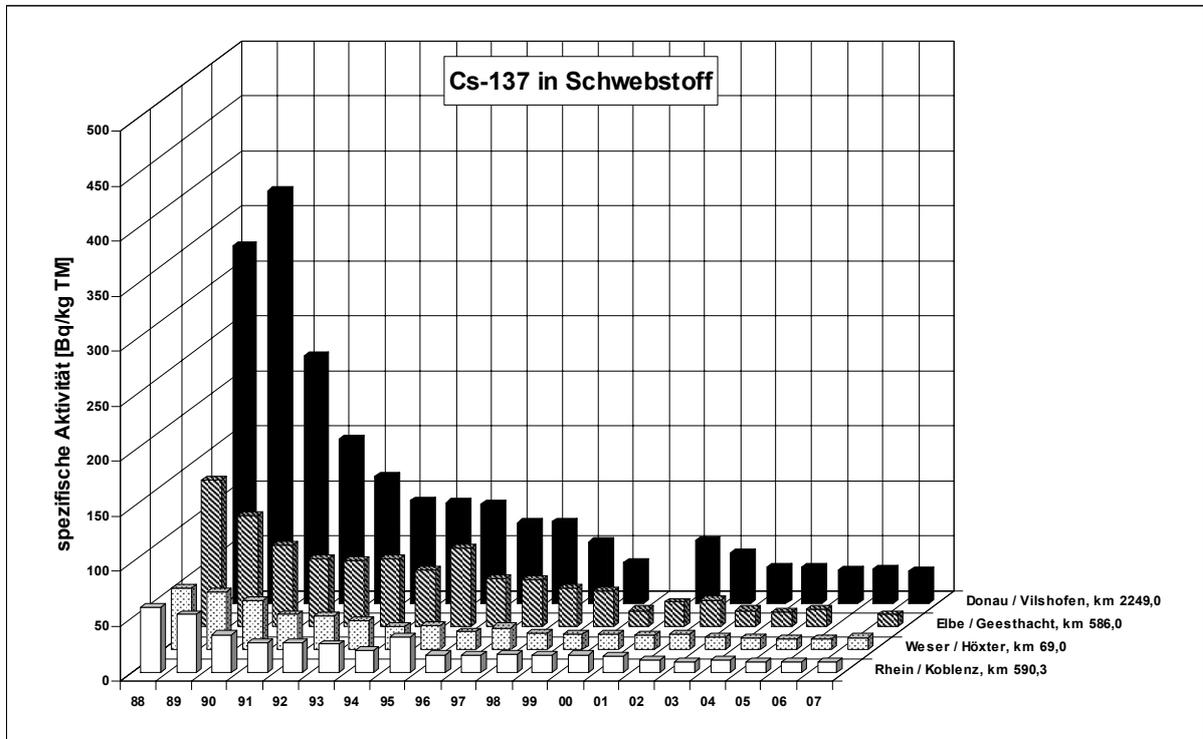


Abbildung 2.2.2-6 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
 (Cs-137 specific activities for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

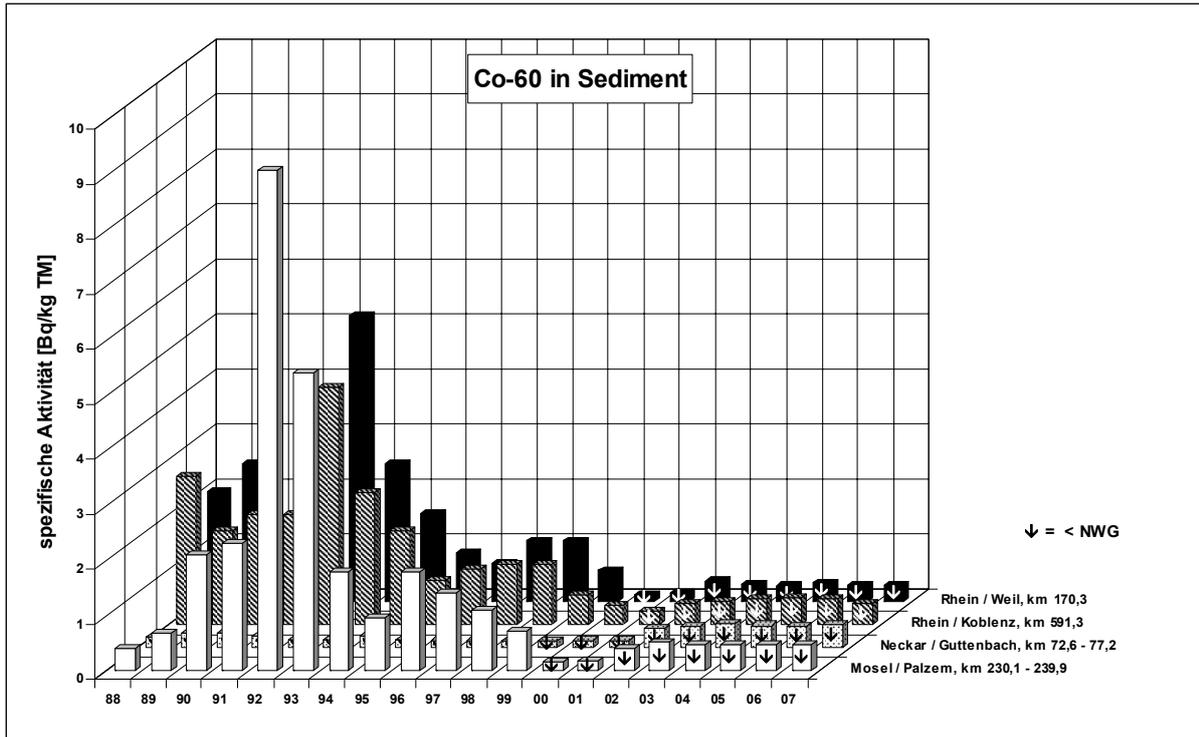


Abbildung 2.2.2-7 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Co-60 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Co-60 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)

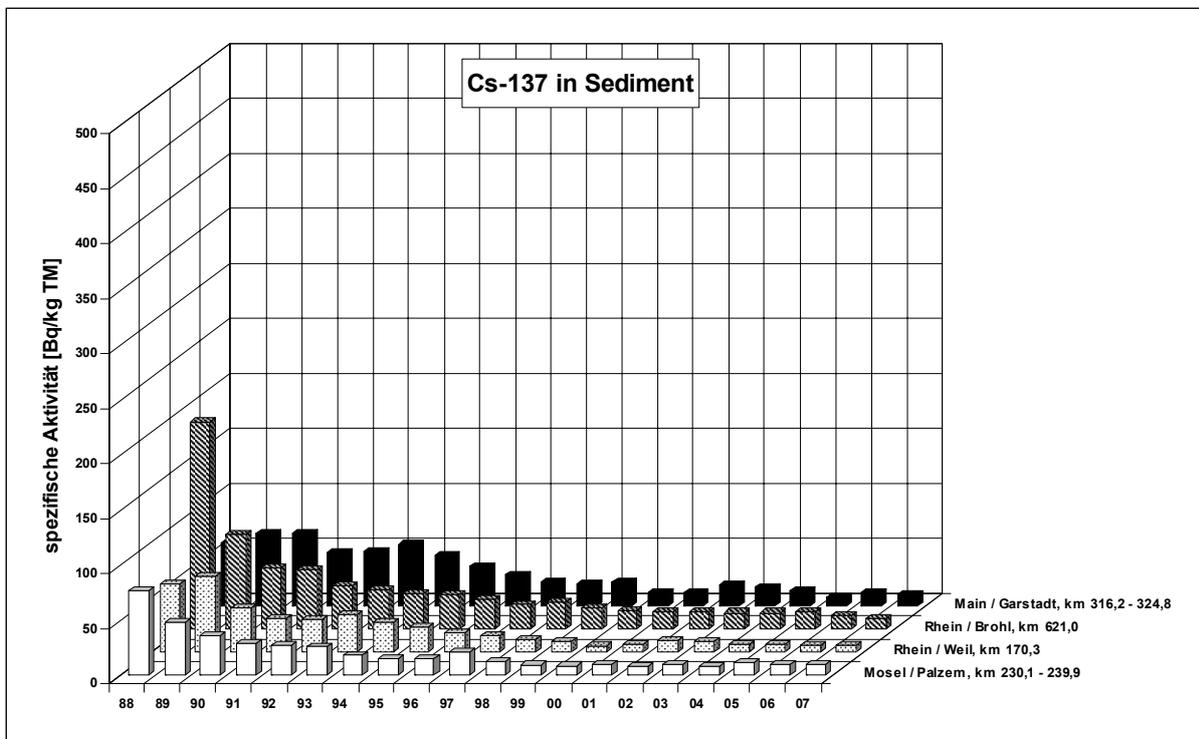


Abbildung 2.2.2-8 Spezifische Aktivitäten (Bq/kg TM) von Cs-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)
(Cs-137 specific activities for sediment samples in Bq/kg TM (from selected inland waters) annual mean values)

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

| GEWÄSSER Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmeort, Flusskilometer | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|-----------------------------|--------|--------------------------------------|----------------|---------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| RHEIN | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Weil, km 172,97 | 5 | 0 | 1,39 | 2,46 | 1,85 | 2,05 |
| | | Koblenz, km 590,3 | 12 | 0 | 1,76 | 7,12 | 4,04 | 4,74 |
| | | Wesel, km 814,0 | 12 | 0 | 2,00 | 6,03 | 3,77 | 5,49 |
| | Sr-90 | Weil, km 172,97 | 2 | 0 | 0,0035 | 0,0050 | 0,0043 | 0,0045 |
| | | Koblenz, km 590,3 | 4 | 0 | 0,0019 | 0,0046 | 0,0036 | 0,0038 |
| | | Wesel, km 814,0 | 4 | 0 | 0,0033 | 0,0035 | 0,0034 | 0,0034 |
| | Cs-137 | Weil, km 172,97 | 3 | 0 | 0,0039 | 0,0048 | 0,0042 | nn |
| | | Koblenz, km 590,3 | 11 | 5 | <0,0012 | 0,0068 | 0,0044 | 0,0017 |
| | | Wesel, km 814,0 | 12 | 6 | <0,0017 | <0,0038 | <0,0024 | <0,0020 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Co-58 | Koblenz, km 590,3 | - | - | - | - | - | 0,53 |
| | Co-60 | Weil, km 172,97 | 5 | 5 | <0,88 | <14 | nn | 2,54 |
| | | Koblenz, km 590,3 | 12 | 9 | <0,31 | <0,75 | <0,44 | <0,49 |
| | Cs-137 | Wesel, km 814,0 | 12 | 12 | <0,63 | <9,35 | nn | nn |
| | | Weil, km 172,97 | 5 | 1 | 5,83 | <13,8 | 8,6 | 11,7 |
| | | Koblenz, km 590,3 | 12 | 0 | 8,44 | 13,1 | 10,1 | 9,5 |
| | I-131 | Wesel, km 814,0 | 12 | 0 | 7,69 | 52,0 | 13,6 | 12,0 |
| | | Koblenz, km 590,3 | 10 | 0 | 3,76 | 15,0 | 8,2 | 9,3 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Weil, km 170,3 | 10 | 10 | <0,19 | <0,41 | nn | <0,31 |
| | | Worms, km 444,50-446,60 | 12 | 12 | <0,18 | <0,43 | nn | nn |
| | | Koblenz, km 591,3 | 3 | 3 | <0,37 | <0,39 | nn | nn |
| | | Düsseldorf, km 740,3-748,9 | 12 | 12 | <0,24 | <0,71 | nn | <0,47 |
| | Cs-137 | Weil, km 170,3 | 10 | 0 | 3,93 | 8,94 | 6,12 | 5,98 |
| | | Worms, km 444,50-446,60 | 12 | 4 | <0,19 | 10,2 | 3,4 | 4,0 |
| | | Koblenz, km 591,3 | 3 | 0 | 9,65 | 11,2 | 10,6 | 9,69 |
| | | Düsseldorf, km 740,3-748,9 | 12 | 0 | 1,64 | 14,5 | 8,0 | 9,2 |
| NECKAR | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Lauffen, km 125,2 | 12 | 0 | 5,13 | 53,3 | 17,2 | 19,8 |
| | | Rockenau, km 61,4 | 12 | 0 | 4,92 | 24,9 | 8,9 | 11,8 |
| | Sr-90 | Lauffen, km 125,2 | 4 | 0 | 0,0029 | 0,0055 | 0,0043 | 0,0055 |
| | | Rockenau, km 61,4 | 4 | 1 | <0,0015 | 0,0055 | 0,0048 | 0,0039 |
| | Cs-137 | Lauffen, km 125,2 | 12 | 9 | <0,0011 | <0,0047 | <0,0028 | <0,0031 |
| Rockenau, km 61,4 | | 12 | 5 | <0,0011 | 0,0059 | 0,0029 | <0,0021 | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Obertürkheim, km 189,5 | 4 | 0 | 8,78 | 10,4 | 9,7 | 8,8 |
| | | Rockenau, km 61,4 | 4 | 0 | 4,65 | 6,48 | 5,40 | 5,05 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Lauffen, km 125,2-130,1 | 11 | 0 | 5,38 | 10,5 | 7,6 | 12,0 |
| | | Neckarzimmern, km 85,8-86,2 | 6 | 0 | 7,12 | 9,27 | 8,42 | 6,94 |
| | | Guttenbach, km 72,0-77,2 | 13 | 0 | 0,63 | 17,2 | 7,0 | 5,80 |
| MAIN | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Wipfeld, km 316,1 | 9 | 0 | 1,20 | 38,5 | 10,3 | 16 |
| | | Eddersheim, km 15,3 | 12 | 0 | 1,22 | 7,86 | 3,33 | 4,4 |
| | Sr-90 | Wipfeld, km 316,1 | 2 | 1 | <0,0015 | 0,0031 | <0,0023 | 0,0038 |
| | | Eddersheim, km 15,3 | 4 | 0 | 0,0021 | 0,0073 | 0,0039 | 0,0041 |
| | Cs-137 | Wipfeld, km 316,1 | 8 | 2 | <0,0015 | 0,0065 | 0,0035 | <0,0030 |
| | | Eddersheim, km 15,3 | 12 | 4 | <0,0016 | 0,0048 | 0,0032 | <0,0019 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Hallstadt, km 388,3 | 4 | 0 | 19,0 | 30,1 | 22,9 | 22,8 |
| | | Garstadt, km 323,7 | 4 | 0 | 11,2 | 18,4 | 15,2 | 16,9 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Hallstadt, km 388,2 | 4 | 0 | 4,26 | 10,8 | 7,0 | 8,1 |
| | | Garstadt, km 316,2-324,8 | 8 | 0 | 3,43 | 20,1 | 11,5 | 12,9 |

| GEWÄSSER Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmeort, Flusskilometer | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|-----------------------------|--------|--------------------------------------|----------------|---------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| MOSEL | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Wincheringen, km 222,2 | 12 | 0 | 5,87 | 44,4 | 23,2 | 28,1 |
| | | Koblenz, km 2,0 | 12 | 0 | 5,32 | 20,0 | 13,0 | 16,2 |
| | Sr-90 | Wincheringen, km 222,2 | 3 | 0 | 0,0027 | 0,0047 | 0,0036 | 0,0038 |
| | | Koblenz, km 2,0 | 4 | 1 | <0,0015 | 0,0046 | 0,0041 | 0,0049 |
| | Cs-137 | Wincheringen, km 222,2 | 11 | 0 | 0,0019 | 0,0066 | 0,0037 | <0,0017 |
| Koblenz, km 2,0 | | 12 | 1 | 0,0013 | 0,0041 | 0,0023 | 0,0018 | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Co-58 | Perl, km 241,96 | 3 | 0 | 0,79 | 1,08 | 0,91 | 1,22 |
| | Co-60 | Perl, km 241,96 | 12 | 8 | <0,40 | 1,45 | <0,68 | <0,69 |
| | | Trier, km 196,3 | 11 | 11 | <0,29 | <1,81 | nn | nn |
| | Cs-137 | Perl, km 241,96 | 12 | 0 | 9,60 | 17,5 | 12,8 | 12,8 |
| | | Trier, km 196,3 | 11 | 0 | 9,09 | 22,9 | 12,6 | 12,3 |
| | I-131 | Perl, km 241,96 | 10 | 1 | <2,83 | 15,6 | 9,6 | 17,7 |
| Trier, km 196,3 | | 9 | 2 | <5,44 | 30,3 | 14,2 | 17,9 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Perl, km 239,7-242,0 | 7 | 7 | <0,42 | <0,61 | nn | nn |
| | | Trier, km 184,1-196,1 | 8 | 8 | <0,26 | <0,74 | nn | nn |
| | | Koblenz/Güls km 4,05 | 3 | 3 | <0,36 | <0,61 | nn | nn |
| | Cs-137 | Perl, km 239,7-242,0 | 7 | 0 | 9,70 | 18,8 | 14,1 | 14,0 |
| | | Trier, km 184,1-196,1 | 8 | 0 | 6,60 | 12,0 | 10,1 | 11,0 |
| | | Koblenz/Güls, km 4,05 | 3 | 0 | 10,3 | 13,6 | 12,0 | 11,1 |
| SAAR | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Kanzem, km 5,0 | 11 | 0 | 0,83 | 1,43 | 1,16 | 1,29 |
| | Sr-90 | Kanzem, km 5,0 | 3 | 0 | 0,0016 | 0,0037 | 0,0025 | 0,0030 |
| | | | Cs-137 | 11 | 5 | <0,0017 | 0,0039 | 0,0030 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Kanzem, km 5,0 | 11 | 0 | 13,0 | 20,4 | 15,7 | 15,3 |
| | I-131 | Kanzem, km 5,0 | - | - | - | - | - | < 13,2 |
| DONAU | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Ulm-Wiblingen 2590,8 | 4 | 4 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | | Regensburg, km 2381,3 | 12 | 0 | 1,13 | 2,47 | 1,51 | 1,79 |
| | | Vilshofen, km 2249,0 | 12 | 0 | 1,85 | 3,15 | 2,46 | 3,06 |
| | Sr-90 | Regensburg, km 2381,3 | 4 | 0 | 0,0031 | 0,0047 | 0,0037 | 0,0047 |
| | | Vilshofen, km 2249,0 | 4 | 1 | <0,0015 | 0,0049 | 0,0043 | 0,0031 |
| | Cs-137 | Ulm-Wiblingen 2590,8 | 4 | 4 | <0,0043 | <0,0094 | nn | nn |
| Regensburg, km 2381,3 | | 12 | 4 | <0,0011 | 0,0067 | 0,0036 | <0,0022 | |
| Vilshofen, km 2249,0 | | 12 | 5 | 0,0015 | <0,0046 | 0,0027 | 0,0022 | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Ulm-Wiblingen 2590,8 | 4 | 0 | 101 | 143 | 119 | 134 |
| | | Regensburg, km 2381,3 | 4 | 0 | 37,3 | 53,7 | 44,7 | 44,6 |
| | | Vilshofen, km 2249,0 | 12 | 0 | 20,1 | 34,5 | 30,1 | 32,2 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Ulm-Wiblingen 2590,8 | 4 | 0 | 89,5 | 114 | 103 | 64,5 |
| | | Regensburg, km 2379,1-2381,4 | 4 | 0 | 14,6 | 99,2 | 52,5 | 27,3 |
| | | Straubing, km 2326,7 | 4 | 0 | 45,4 | 51,3 | 47,8 | 40,8 |
| | | Grünau, km 2205,5 | 2 | 0 | 14,9 | 18,0 | 16,5 | 18,3 |
| ISAR | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Pullach, km 162,0 | 4 | 4 | <5,2 | <5,2 | nn | nn |
| | | Platting, km 9,1 | 4 | 4 | <5,2 | <5,2 | nn | <6,0 |
| | Cs-137 | Pullach, km 162,0 | 4 | 4 | <0,0050 | <0,0093 | nn | nn |
| | | Platting, km 9,1 | 4 | 4 | <0,0041 | <0,0062 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Pullach, km 162,0 | 4 | 0 | 11,4 | 31,2 | 23,7 | 20,4 |
| | | Platting, km 9,1 | 4 | 0 | 37,1 | 63,1 | 49,6 | 48,3 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Pullach, km 162,0 | 5 | 0 | 22,0 | 32,0 | 27,0 | 33,3 |
| | | Platting, km 9,1 | 4 | 0 | 4,04 | 23,8 | 14,0 | 5,03 |

| GEWÄSSER Kompartment | Nuklid | Probenentnahmeort, Flusskilometer | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|---------------------------------------|--------|--------------------------------------|------------------|------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| EMS | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Geeste, km 106,3 | 7 | 0 | 1,77 | 35,7 | 12,9 | 5,9 |
| | | Terborg, km 24,64 | 10 | 0 | 1,71 | 15,4 | 8,3 | 5,5 |
| | Co-60 | Terborg, km 24,64 | 9 | 8 | <0,0010 | <0,0031 | <0,0016 | <0,0015 |
| | | Sr-90 | Geeste, km 106,3 | 1 | 0 | 0,0070 | 0,0070 | 0,0070 |
| | Cs-137 | Terborg, km 24,64 | 3 | 0 | 0,0031 | 0,0060 | 0,0048 | 0,0049 |
| | | Geeste, km 106,3 | 7 | 4 | <0,0015 | 0,0101 | <0,0034 | <0,0023 |
| | | Terborg, km 24,64 | 9 | 0 | 0,0020 | 0,039 | 0,011 | 0,0056 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Co-60 | Geeste, km 106,3 | - | - | - | - | - | nn |
| | | Terborg, km 24,64 | 4 | 4 | <0,22 | <0,51 | nn | <0,51 |
| | Cs-137 | Geeste, km 106,3 | 3 | 0 | 19,9 | 23,3 | 21,6 | 12,5 |
| | | Terborg, km 24,64 | 4 | 0 | 2,80 | 3,91 | 3,21 | 4,54 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Herbrum, km 212,75 | 2 | 0 | 5,11 | 6,16 | 5,64 | - |
| WESER / UNTERWESER / JADEBUSEN | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Rinteln, km 163,2 | 12 | 0 | 2,03 | 8,95 | 5,02 | 7,8 |
| | | Langwedel, km 329,4 | 12 | 0 | 1,36 | 4,41 | 2,84 | 4,62 |
| | | Blexen, km 430,00 | 10 | 0 | 2,30 | 6,88 | 3,72 | 5,74 |
| | Sr-90 | Rinteln, km 163,2 | 4 | 0 | 0,0013 | 0,0043 | 0,0026 | 0,0049 |
| | | Langwedel, km 329,4 | 4 | 0 | 0,0029 | 0,0138 | 0,0063 | 0,0025 |
| | | Blexen, km 430,0 | 3 | 0 | 0,0016 | 0,0029 | 0,0024 | 0,0043 |
| | Cs-137 | Rinteln, km 163,2 | 12 | 3 | 0,0018 | 0,0062 | 0,0038 | 0,0029 |
| | | Langwedel, km 329,4 | 11 | 5 | <0,0014 | 0,0045 | 0,0035 | 0,0024 |
| | | Blexen, km 430,0 | 10 | 3 | <0,0019 | 0,0077 | 0,0049 | 0,0050 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Rinteln, km 163,2 | 4 | 0 | 8,91 | 11,2 | 9,9 | 10,2 |
| | | Langwedel, km 329,4 | 12 | 0 | 3,83 | 14,4 | 9,9 | 12,4 |
| | | Wilhelmshaven/Jadebusen | - | - | - | - | - | 4,28 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Wilhelmshaven/Vorhafen | 3 | 2 | <0,25 | <0,79 | <0,57 | 0,93 |
| | Cs-137 | Minden, km 204,40 | 3 | 0 | 5,13 | 24,7 | 12,9 | 31,0 |
| | | Bremen, km 373,97 | 2 | 0 | 8,10 | 8,96 | 8,53 | 11,7 |
| | | Wilhelmshaven/Vorhafen | 3 | 0 | 1,41 | 5,93 | 3,91 | 5,37 |
| ELBE | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Dresden, km 58,0 | 12 | 0 | 2,17 | 5,59 | 4,03 | 4,15 |
| | | Tangermünde, km 389,10 | 12 | 0 | 1,79 | 3,83 | 2,70 | 3,08 |
| | | Geesthacht, km 586,0 | - | - | - | - | - | 3,18 |
| | | HH (Bunthaus), km 609,8 | 4 | 0 | 1,72 | 2,88 | 2,51 | 2,51 |
| | Sr-90 | Cuxhaven, km 724,5 | 8 | 0 | 2,93 | 4,24 | 3,56 | 4,09 |
| | | Dresden, km 58,0 | 4 | 0 | 0,0033 | 0,0044 | 0,0038 | 0,0044 |
| | | Tangermünde, km 389,10 | 3 | 0 | 0,0018 | 0,0050 | 0,0035 | 0,0054 |
| | | HH (Bunthaus), km 609,8 | 4 | 0 | 0,0031 | 0,0038 | 0,0034 | 0,0035 |
| | Cs-137 | Cuxhaven, km 724,5 | 2 | 0 | 0,0039 | 0,0040 | 0,0040 | 0,0096 |
| | | Dresden, km 58,0 | 12 | 8 | <0,0017 | 0,0048 | <0,0025 | <0,0022 |
| | | Tangermünde, km 389,10 | 11 | 4 | <0,0026 | 0,0074 | 0,0053 | <0,0045 |
| | | Geesthacht, km 586,0 | - | - | - | - | - | <0,0061 |
| | | HH (Bunthaus), km 609,8 | 4 | 2 | <0,0019 | 0,0029 | <0,0023 | 0,0042 |
| | | Cuxhaven, km 724,5 | 8 | 6 | 0,0028 | <0,0036 | <0,0032 | <0,0035 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Dresden, km 58,0 | 12 | 0 | 18,5 | 29,2 | 22,5 | 21,4 |
| | | Geesthacht, km 586,0 | 3 | 0 | 9,37 | 14,0 | 11,0 | - |
| | | HH (Bunthaus), km 609,8 | 4 | 0 | 10,1 | 20,6 | 14,3 | 16,0 |
| | | Cuxhaven, km 726,3 | 2 | 1 | 0,23 | <0,51 | <0,37 | 0,23 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Dresden, km 58,0 | 5 | 0 | 21,1 | 27,1 | 24,5 | 18,9 |
| | | Arneburg, km 403,5 | 4 | 0 | 12,1 | 41,1 | 21,7 | 34,8 |
| | | HH (Bunthaus), km 609,8 | 4 | 0 | 21,7 | 32,5 | 25,7 | 24,3 |
| | | Cuxhaven, km 726,3 | 4 | 0 | 2,07 | 5,04 | 3,50 | - |

| GEWÄSSER Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmeort, Flusskilometer | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|-----------------------------|----------------------------|---|----------------|---------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| ODER | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Eisenhüttenstadt, km 553,20 | 10 | 0 | 0,86 | 1,32 | 1,10 | 1,28 |
| | | Schwedt, km 690,55 | 12 | 0 | 0,91 | 1,15 | 1,02 | 1,14 |
| | Sr-90 | Eisenhüttenstadt, km 553,20 | 3 | 0 | 0,0047 | 0,0057 | 0,0053 | 0,0040 |
| | | Schwedt, km 690,55 | 4 | 0 | 0,0037 | 0,0134 | 0,0070 | 0,0048 |
| | Cs-137 | Eisenhüttenstadt, km 553,20 | 9 | 2 | 0,0018 | 0,0067 | 0,0036 | <0,0023 |
| Schwedt, km 690,55 | | 12 | 2 | <0,0014 | 0,0107 | 0,0045 | <0,0023 | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Eisenhüttenstadt, km 553,20 | 4 | 0 | 19,2 | 24,8 | 20,9 | 18,9 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Hohensaaten, km 667,5 | 3 | 0 | 16,8 | 90,6 | 42,0 | 20,3 |
| SPREE | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Berlin-Sophienwerder, km 0,60 | 4 | 4 | <2,18 | <2,32 | nn | nn |
| | | Berlin-Schöneweide, km 27,2 | 12 | 0 | 0,69 | 1,64 | 0,94 | 1,11 |
| | Sr-90 | Berlin-Schöneweide, km 27,2 | 4 | 0 | 0,0025 | 0,0041 | 0,0033 | 0,0046 |
| | | Berlin-Sophienwerder, km 0,60 | 4 | 1 | 0,0008 | 0,0020 | 0,0014 | 0,0017 |
| | Cs-137 | Berlin-Schöneweide, km 27,2 | 12 | 6 | <0,0012 | 0,0083 | <0,0032 | <0,0020 |
| Cs-137 | | Berlin-Schöneweide, km 27,2 | 10 | 0 | 2,23 | 30,1 | 19,5 | 29,8 |
| | Schwebstoffe (Bq/kg TM) | Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal) | 4 | 0 | 2,15 | 6,86 | 4,23 | 7,7 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Berlin-Schöneweide, km 27,2 | - | - | - | - | - | - |
| | | Berlin, km 9,20 (Einmündung Landwehrkanal) | 4 | 0 | 10,4 | 30,2 | 23,3 | 22,7 |
| HAVEL | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Zehdenick, km 15,1 | 12 | 0 | 0,78 | 1,27 | 1,01 | 1,17 |
| | Sr-90 | Zehdenick, km 15,1 | 4 | 0 | 0,0035 | 0,0042 | 0,0038 | 0,0042 |
| | | | Cs-137 | 12 | 1 | <0,0015 | 0,0086 | 0,0059 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Zehdenick, km 15,1 | 4 | 0 | 46,8 | 62,4 | 55,1 | 61,8 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Zehdenick, km 15,1 | 4 | 0 | 29,0 | 37,7 | 33,4 | 32,2 |
| SAALE | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Halle/Planena, km 104,5 | 8 | 0 | 0,92 | 1,38 | 1,13 | 1,27 |
| | | Camburg, km 187,0 | 4 | 4 | <3,4 | <3,9 | nn | nn |
| | Sr-90 | Halle/Planena, km 104,5 | 3 | 0 | 0,0030 | 0,0036 | 0,0032 | 0,0034 |
| | | Camburg, km 187,0 | 4 | 0 | 0,0041 | 0,0058 | 0,0052 | 0,0056 |
| | Cs-137 | Halle/Planena, km 104,5 | 6 | 5 | <0,0011 | <0,0030 | <0,0019 | <0,0021 |
| Camburg, km 187,0 | | 4 | 4 | <0,019 | <0,021 | nn | nn | |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Halle/Planena, km 104,5 | 4 | 0 | 10,7 | 12,1 | 11,3 | 10,8 |
| | | Camburg, km 187,0 | 4 | 0 | 18,0 | 36,4 | 31,5 | 29,4 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Halle/Planena, km 105,5 | 3 | 0 | 9,64 | 10,9 | 10,2 | 12,3 |
| | | Dorndorf-Steudnitz, km 192,0 | 4 | 0 | 14,8 | 20,4 | 18,5 | 17,2 |
| PEENE | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Anklam, km 96,1 | 12 | 0 | 0,86 | 1,23 | 0,97 | 1,12 |
| | Sr-90 | Anklam, km 96,1 | 4 | 0 | 0,0017 | 0,0096 | 0,0049 | 0,0029 |
| | | | Cs-137 | 12 | 4 | <0,0018 | 0,0093 | 0,0037 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Anklam, km 96,1 | 4 | 0 | 17,6 | 52,8 | 32,5 | 30,6 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Anklam, km 96,1 | 4 | 0 | 25,2 | 41,2 | 31,8 | 27,9 |
| TRAVE / UNTERTRAVE | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Travemünde, km 26,9 | 10 | 0 | 1,16 | 1,59 | 1,40 | 1,49 |
| | Sr-90 | Travemünde, km 26,9 | 3 | 0 | 0,0038 | 0,0041 | 0,0040 | 0,0062 |
| | | | Cs-137 | 10 | 2 | <0,0022 | 0,0178 | 0,0098 |

| GEWÄSSER Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmeort, Flusskilometer | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|----------------------------------|--------|--|----------------|------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Travemünde, km 26,9 | 2 | 0 | 40,2 | 44,3 | 42,3 | 23,3 |
| NORD-OSTSEE-KANAL | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal | 12 | 0 | 1,27 | 1,78 | 1,46 | 1,50 |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0017 | 0,0061 | 0,0039 | 0,0036 |
| | Cs-137 | | 12 | 1 | <0,004 | 0,0277 | 0,014 | 0,0084 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal | 4 | 0 | 27,8 | 58,1 | 38,6 | 32,2 |

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

| LAND / Gewässer Kompartiment | Nuklid | Proben- entnahmeort | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|-------------------------------------|--------|------------------------|-------------|------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Langenargen | 8 | 8 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | | Nonnenhorn | 4 | 4 | <5,2 | <5,2 | nn | nn |
| | Cs-137 | Langenargen | 8 | 8 | <0,0034 | <0,0069 | nn | nn |
| | | Nonnenhorn | 4 | 4 | <0,0063 | <0,0077 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Nonnenhorn | 4 | 1 | <0,83 | 4,00 | 3,17 | 4,48 |
| BAYERN / Chiemsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Seeon-Seebruck | 4 | 4 | <5,2 | <5,2 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0031 | 0,0067 | 0,0048 | 0,0060 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0059 | <0,0106 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Seeon-Seebruck | 4 | 0 | 35,1 | 64,7 | 50,3 | 47,5 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Seeon-Seebruck | 3 | 0 | 6,26 | 22,4 | 14,8 | 14,7 |
| Starnberger See | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Starnberg | 4 | 4 | <5,2 | <5,2 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,078 | 0,0127 | 0,0094 | 0,0124 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0042 | <0,0098 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Starnberg | 4 | 0 | 145 | 260 | 188 | 226 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Starnberg | 4 | 0 | 79,6 | 103 | 94 | 19,3 |
| BERLIN / Müggelsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | PE-Stelle 41035 | 4 | 4 | <2,18 | <2,36 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0027 | 0,0034 | 0,0031 | 0,0036 |
| | Cs-137 | | 4 | 1 | <0,0017 | 0,0031 | 0,0023 | 0,0018 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | PE-Stelle 41035 | 4 | 0 | 0,98 | 2,51 | 1,61 | 2,01 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | PE-Stelle 41035 | 4 | 0 | 40,9 | 51,5 | 45,7 | 24,5 |
| Stößensee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Siemenswerder | 4 | 4 | <2,18 | <2,36 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0030 | 0,0035 | 0,0033 | 0,0037 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0014 | <0,0023 | nn | 0,0028 |

| LAND / Gewässer Kompartiment | Nuklid | Proben- entnahmeort | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|---|--------|------------------------|-------------|------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Siemenswerder | 4 | 0 | 1,86 | 12,0 | 4,9 | 6,0 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Siemenswerder | 4 | 0 | 74,2 | 150 | 111 | 93 |
| BRANDENBURG / Stechlinsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Neuglobsow | 4 | 4 | <5,51 | <6,38 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,013 | 0,020 | 0,016 | 0,017 |
| | Cs-137 | | 4 | 0 | 0,006 | 0,009 | 0,008 | 0,0070 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Neuglobsow | 4 | 0 | 7,50 | 13,0 | 10,5 | 9,1 |
| Neuendorfer See | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Alt-Schadow | 4 | 4 | <7,4 | <8,4 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,004 | 0,005 | 0,005 | 0,0045 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0059 | 0,021 | nn | <0,005 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Alt-Schadow | 3 | 0 | 20 | 25 | 23 | 24,3 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Alt-Schadow | 4 | 0 | 0,69 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| HESSEN / Marbach-Talsperre | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Erbach | 4 | 4 | <5,44 | <7,00 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 2 | <0,009 | 0,014 | <0,011 | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,004 | <0,006 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Erbach | 4 | 0 | 15,9 | 20,8 | 18,3 | 19,3 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Erbach | 4 | 0 | 8,63 | 15,2 | 11,7 | 15,9 |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Lüssow | 4 | 4 | <4,28 | <4,85 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 2 | 0,0022 | <0,0074 | <0,0047 | <0,0054 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Lüssow | 3 | 0 | 4,11 | 19,6 | 9,3 | 5,15 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Lüssow | 4 | 0 | 2,39 | 15,0 | 8,1 | 5,08 |
| Schweriner See | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Schwerin | 4 | 4 | <4,44 | <4,73 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0022 | 0,0054 | 0,0041 | 0,0050 |
| | Cs-137 | | 4 | 1 | 0,0043 | 0,0064 | 0,0053 | 0,0073 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Schwerin | 4 | 0 | 46,0 | 120 | 78 | 72,6 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Schwerin | 4 | 0 | 44,6 | 64,8 | 54,2 | 61,7 |
| NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Osterode am Harz | 4 | 2 | 1,2 | <1,6 | <1,5 | 1,2 |
| | Sr-90 | | 4 | 0 | 0,0014 | 0,0028 | 0,0022 | 0,0023 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0008 | <0,0012 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Osterode am Harz | 4 | 0 | 24 | 59 | 42 | 46 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Osterode am Harz | 4 | 0 | 44 | 61 | 52 | 50 |
| Steinhuder Meer | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Wunstorf | 4 | 0 | 1,1 | 1,6 | 1,4 | <1,6 |
| | Cs-137 | | 4 | 0 | 0,0062 | 0,011 | 0,008 | 0,006 |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Wunstorf | 3 | 0 | 220 | 470 | 295 | 320 |

| LAND / Gewässer Kompartiment | Nuklid | Proben- entnahmeort | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|--------|------------------------|-------------|------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Wunstorf | 4 | 0 | 70 | 220 | 183 | 168 |
| NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Möhnesee | 4 | 1 | <3,00 | 5,66 | 4,80 | nn |
| | Sr-90 | | 1 | 0 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,0031 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0023 | <0,0037 | nn | nn |
| Dreilägerbach-Talsperre | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Roetgen | 4 | 4 | <10 | <10 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0017 | <0,0042 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Roetgen | 4 | 0 | 5,2 | 6,6 | 5,7 | 7,1 |
| RHEINLAND-PFALZ / Laacher See | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Maria Laach | 4 | 4 | <1,8 | <3,1 | nn | <2,7 |
| | Cs-137 | | 4 | 0 | 0,031 | 0,033 | 0,032 | 0,033 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Maria Laach | 4 | 0 | 85 | 130 | 107 | 103 |
| SACHSEN / Talsperre Pöhl | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Thoßfell | 4 | 4 | <3,0 | <5,3 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0055 | <0,0067 | nn | nn |
| Schwebstoff (Bq/kg TM) | Cs-137 | Thoßfell | 4 | 0 | 55,3 | 59,2 | 56,4 | - |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Thoßfell | 4 | 0 | 11,9 | 34,8 | 22,1 | 34,3 |
| SACHSEN-ANHALT / Arendsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Arendsee | 3 | 3 | <5,0 | <5,0 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 0 | 0,055 | 0,076 | 0,067 | 0,073 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Arendsee | 4 | 0 | 4,64 | 36,2 | 15,8 | 27,6 |
| Schollener See | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Schollene | 4 | 4 | <5,0 | <5,0 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 1 | <0,0105 | 0,0314 | 0,0240 | 0,0298 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Schollene | 4 | 0 | 245 | 266 | 258 | 232 |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Seedorf | 4 | 4 | <10 | <10 | nn | nn |
| | Sr-90 | | 4 | 3 | <0,010 | 0,010 | <0,010 | 0,012 |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,006 | <0,013 | nn | 0,009 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Seedorf | 4 | 0 | 149 | 175 | 160 | 178 |
| Wittensee | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Gr. Wittensee | 4 | 4 | <10 | <10 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,006 | <0,042 | nn | <0,009 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Cs-137 | Gr. Wittensee | 4 | 0 | 15,8 | 23,8 | 18,4 | 12,5 |
| THÜRINGEN / Talsperre Schmalwasser | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Tambach- Dietharz | - | - | - | - | - | nn |
| | Cs-137 | | - | - | - | - | - | nn |
| Talsperre Deesbach | | | | | | | | |
| Oberflächenwasser (Bq/l) | H-3 | Deesbach | 3 | 3 | <3,5 | <4,0 | nn | |
| | Cs-137 | | 3 | 3 | <0,018 | <0,019 | 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*)

Dieses Kapitel enthält die Auswertung der Ergebnisse der Immissionsüberwachung des aquatischen Nahbereichs kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) aus dem Jahr 2007. In die Auswertung wurden insgesamt ca. 7.100 Einzelwerte von Messungen an Wasser- und Sedimentproben einbezogen; sie erfolgte wie im vorigen Kapitel beschrieben. Die Auswertungen für repräsentative Entnahmestellen sind in Tabelle 2.2.3-1 aufgeführt.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in Oberflächenwasserproben aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte in Einzelfällen nachweisbar. Erhöhte Tritium-Konzentrationen (H-3) wurden in Proben gemessen, die direkt an Auslaufbauwerken genommen wurden: Die Werte betragen hier im Mittel bis zu 4.700 Bq/l in der Ems (KKW Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber rasch wieder zurück (siehe auch Kapitel 2.2.2). Die Aktivitätskonzentrationen anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l oder waren wegen der Vorbelastung aus anderen Quellen nicht explizit aufzeigbar. Dies gilt insbesondere für Sr-90 und Cs-137 als Folge des Kernwaffen-Fallouts und des Reaktorunfalls in Tschernobyl, sowie auch für I-131, das auf nuklearmedizinische Anwendungen zurückgeführt wurde. Einzelne Bestimmungen von Pu-238 und Pu-(239+240) ließen wegen der niedrigen Werte von unter ca. 0,001 Bq/l signifikante Auswirkungen der jeweiligen Anlagen im Vorfluter nicht erkennen. Andere Transurane wurden in Oberflächenwasser nicht nachgewiesen.

In Sedimentproben – und vereinzelt Schwebstoffproben - aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren spezifischen Aktivitäten der anlagentypischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In einigen direkt an Ausläufen entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Co-60 gemessen: bis 24 Bq/kg TM in der Weser (KKW Würgassen) und 35 Bq/kg TM im Hauptentwässerungskanal des FZ Jülich. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 (siehe oben) waren Auswirkungen dieses Radionuklids von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzuzeigen. Für Alpha-Strahler wurden im Hirschkanal (FZ Karlsruhe) etwas erhöhte mittlere Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität ($G\alpha$) mit 478 und für Am-241 mit 5,6 Bq/kg TM im Mittel gemessen. Pu-238 und Pu-(239+240) lagen bei wenigen durchgeführten Bestimmungen unter 0,3 Bq/kg TM. Auch in Sedimenten wurden andere Transurane nicht nachgewiesen.

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Konzentrationen traten z. B. als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in Proben aus der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis ca. 29 Bq/l. Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich auf dem „Trinkwasser-Pfad“ für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 eine effektive Dosis zu ca. 0,4 μ Sv/a. Für Kleinkinder (\leq 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,6 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 μ Sv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ca. 0,1 bzw. 0,2% ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 24 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus der Weser (KKW Würgassen) 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. 7,5 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 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|--------|------------------------------|-------------|---------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| RHEIN / KKW Beznau und KKW Leibstadt (Schweiz) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Aare-Einmündung | 4 | 4 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | | vor KKW Leibstadt | 4 | 4 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | | nach KKW Leibstadt | 4 | 4 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | Co-60 | vor Aare-Einmündung | 4 | 4 | <0,0054 | <0,0089 | nn | nn |
| | | vor KKW Leibstadt | 4 | 4 | <0,0185 | <0,0255 | nn | nn |
| | | nach KKW Leibstadt | 4 | 4 | <0,0153 | <0,0333 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Aare-Einmündung | 4 | 4 | <0,0055 | <0,0078 | nn | nn |
| | | vor KKW Leibstadt | 4 | 4 | <0,0184 | <0,0263 | nn | nn |
| nach KKW Leibstadt | | 4 | 4 | <0,0156 | <0,0344 | nn | nn | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Aare-Einmündung | 3 | 3 | <0,249 | <0,457 | nn | nn |
| | | vor KKW Leibstadt | 3 | 3 | <0,338 | <0,524 | nn | <0,379 |
| | | nach KKW Leibstadt | 3 | 2 | 0,239 | <0,697 | <0,482 | nn |
| | Cs-137 | vor Aare-Einmündung | 3 | 0 | 3,98 | 4,21 | 4,11 | 4,98 |
| | | vor KKW Leibstadt | 3 | 0 | 4,09 | 6,79 | 5,42 | 6,14 |
| | | nach KKW Leibstadt | 3 | 0 | 3,60 | 6,44 | 4,77 | 4,06 |
| RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Weil | 12 | 12 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | | Neuf Brisach | 12 | 12 | <8,0 | <8,0 | nn | nn |
| | Co-60 | Weil | 12 | 12 | <0,0159 | <0,0305 | nn | nn |
| | | Neuf Brisach | 12 | 12 | <0,0103 | <0,0348 | nn | nn |
| | Cs-137 | Weil | 12 | 12 | <0,0125 | <0,0235 | nn | nn |
| | | Neuf Brisach | 12 | 12 | <0,0105 | <0,0305 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Neuenburg/Grissheim km 206,5 | 3 | 3 | <0,328 | <0,414 | nn | nn |
| | | Breisach, km 232,0 | 3 | 3 | <0,440 | <0,656 | nn | <0,35 |
| | Cs-137 | Neuenburg/Grissheim km 206,5 | 3 | 0 | 1,23 | 3,36 | 2,11 | 2,86 |
| | | Breisach, km 232,0 | 3 | 0 | 3,04 | 4,78 | 3,88 | 3,86 |
| RHEIN / HIRSCHKANAL / Forschungszentrum Karlsruhe | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | Gα | Hirschkanal | 52 | 34 | 0,010 | <0,046 | <0,029 | 0,020 |
| | Gβ | Hirschkanal | 52 | 8 | 0,051 | 0,167 | 0,089 | 0,076 |
| | H-3 | Hirschkanal | 62 | 35 | 2,13 | <8,0 | <4,0 | <5,6 |
| | Co-60 | Hirschkanal | 4 | 4 | <0,0088 | <0,0202 | nn | nn |
| | Cs-137 | Hirschkanal | 4 | 4 | <0,0093 | <0,0167 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Gα | Hirschkanal | 4 | 0 | 359 | 560 | 478 | 520 |
| | Gβ | Hirschkanal | 4 | 0 | 1420 | 1900 | 1750 | 1250 |
| | Co-60 | Hirschkanal | 8 | 8 | <0,305 | <3,27 | nn | <1,89 |
| | Cs-137 | Hirschkanal | 8 | 0 | 21,6 | 192 | 123 | 230 |
| | Am-241 | Hirschkanal | 7 | 1 | 0,891 | 12,3 | 5,6 | 19,3 |
| RHEIN / KKP Philippsburg | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 14 | 10 | 3,2 | <8,0 | <6,8 | <7,1 |
| | | Auslaufbauwerke I u. II | 28 | 9 | 4,4 | 134 | 23 | 32 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 7 | 7 | <0,0016 | <0,032 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerke I u. II | 14 | 14 | <0,0016 | <0,033 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 7 | 7 | <0,0014 | <0,032 | nn | nn |
| Auslaufbauwerke I u. II | | 14 | 14 | <0,0012 | <0,033 | nn | nn | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-58 | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | <0,58 |
| | | Auslaufbauwerk | 1 | 0 | 0,716 | 0,716 | 0,716 | 0,97 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 3 | 3 | <0,546 | <0,819 | nn | <0,64 |
| | | Auslaufbauwerk | 3 | 0 | 0,819 | 2,47 | 1,43 | 1,99 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 12,0 | 15,3 | 13,2 | 12,2 |
| Auslaufbauwerk | | 3 | 0 | 9,99 | 13,3 | 11,6 | 11,2 | |
| RHEIN / KWB Biblis | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 2 | 4,40 | <9,46 | 6,31 | <9,1 |
| | | Auslaufbauwerke A u. B | 16 | 0 | 10,5 | 340 | 113 | 54 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,020 | <0,033 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerke A u. B | 16 | 16 | <0,022 | <0,036 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,018 | <0,033 | nn | nn |
| Auslaufbauwerke A u. B | | 16 | 16 | <0,022 | <0,038 | nn | nn | |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|------------------------|------------------------|-------------|--------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 2 | <0,46 | <0,56 | nn | |
| | | nach Auslaufbauwerk | 3 | 2 | <0,35 | <0,66 | <0,46 | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 9,80 | 10,3 | 10,1 | |
| | | nach Auslaufbauwerk | 3 | 0 | 17,0 | 39,0 | 24,7 | 30 |
| RHEIN / KMK Mühlheim-Kärlich (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 4 | <5,8 | 9,9 | <6,9 | <7,9 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 4 | 3,2 | 7,5 | <5,7 | <8,2 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,012 | <0,024 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 7 | <0,012 | 0,024 | <0,017 | <0,018 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,011 | <0,020 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,011 | <0,022 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 2 | <0,54 | <0,64 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 1,1 | 1,4 | 1,3 | 2,5 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 13 | 14 | 14 | 13 |
| | | Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 5,4 | 6,8 | 6,1 | 7,4 |
| NECKAR / GKN Neckarwestheim | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 12 | 5 | 3,2 | 8,5 | 5,2 | <6,5 |
| | | Auslaufbauwerk | 12 | 0 | 4,8 | 131 | 66 | 101 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 12 | 12 | <0,0066 | <0,047 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 12 | 12 | <0,0184 | <0,046 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 12 | 12 | <0,0067 | <0,064 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 12 | 12 | <0,0166 | <0,062 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 2 | <0,578 | <0,793 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,324 | <0,571 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 6,49 | 6,68 | 6,59 | 7,58 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 2,22 | 10,8 | 6,6 | 5,33 |
| NECKAR / KWO Obrigheim (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 6 | <7,1 | <10 | <9 | 14,8 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 1 | <7,47 | 270 | 85 | 21,0 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0056 | <0,021 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 4 | 0,0038 | <0,022 | <0,011 | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0053 | <0,021 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0049 | <0,020 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 2 | <0,366 | <0,607 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 2 | <0,591 | 1,26 | <0,90 | <0,92 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 0,654 | 0,874 | 0,764 | 0,93 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 1,50 | 13,2 | 7,5 | 7,0 |
| MAIN / KKG Grafenrheinfeld | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <5,0 | <10 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 0 | 32 | 400 | 143 | 126 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,033 | <0,047 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,031 | <0,046 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,038 | <0,062 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,037 | <0,057 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <1,94 | <2,14 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <1,98 | <2,54 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 18,4 | 30,6 | 25,7 | 26 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 26,3 | 32,6 | 28,6 | 27 |
| MAIN / GUSTAVSEE / Versuchsatomkraftwerk Kahl (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | <5,3 |
| | | Auslauf | - | - | - | - | - | <4,7 |
| | Co-60 | Gustavsee/Kahl a. Main | 2 | 2 | <1,4 | <1,9 | nn | - |
| | | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | nn |
| | Cs-137 | Auslauf | - | - | - | - | - | nn |
| | | Gustavsee/Kahl a. Main | 4 | 4 | <0,014 | <0,046 | nn | - |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | nn |
| | | Auslauf | - | - | - | - | - | nn |
| | Gustavsee/Kahl a. Main | 4 | 4 | <0,012 | <0,063 | nn | - | |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|------------------|-----------------------|-------------|---------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | 8,41 |
| | | nach Auslaufbauwerk | - | - | - | - | - | 6,27 |
| MAIN / KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser(Bq/l) | | | a | | | | | |
| Sediment (Bq/kg GR) (GR= Glührück- stand) | | | a | | | | | |
| MOSEL / KKW Cattenom | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Palzem, km 230 | 10 | 0 | 10 | 50 | 29 | a |
| | Co-60 | | 10 | 10 | <0,012 | <0,029 | nn | a |
| | Cs-137 | | 10 | 10 | <0,012 | <0,029 | nn | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Palzem, km 230 | 1 | 0 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | a |
| | Cs-137 | | 1 | 0 | 12 | 12 | 12 | a |
| DONAU / KRB Gundremmingen | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <2,69 | <7,77 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk I | 8 | 0 | 101 | 235 | 176 | 164 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0026 | <0,047 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk I | 8 | 4 | 0,0054 | <0,047 | <0,025 | <0,028 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0025 | <0,063 | nn | nn |
| | Auslaufbauwerk I | 8 | 6 | <0,0029 | <0,062 | <0,029 | nn | |
| Sediment (Bq/kg) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,197 | <0,247 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 1,04 | 4,71 | 2,22 | 3,0 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 69,1 | 94,7 | 85,1 | 88 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 36,2 | 51,6 | 45,8 | 43 |
| ISAR / KKI Isar 1 und 2 | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <2,78 | <9,8 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 7 | <2,78 | 451 | 281 | 230 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0030 | <0,043 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <0,0025 | <0,044 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0051 | <0,0061 | nn | nn |
| | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0042 | <0,0069 | nn | nn | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,148 | <0,217 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,141 | <0,232 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 47,2 | 60,8 | 53,2 | 51 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 33,9 | 50,3 | 43,0 | 43 |
| ISAR / FRM II Forschungsneutronenquelle München | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | nach FRM II, km 130,3 | 9 | 3 | <3,58 | 49,5 | 27,0 | nn |
| | C-14 | | 8 | 7 | <0,10 | <10,0 | <4,2 | nn |
| | Co-60 | | 8 | 8 | <0,0023 | <0,049 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 4 | <0,0018 | <0,050 | nn | nn |
| | U-235 | | 2 | 2 | <0,069 | <0,070 | nn | nn |
| | Pu-238 | | 2 | 2 | <0,010 | <0,017 | nn | nn |
| | Am-241 | | 2 | 2 | <0,0091 | <0,0092 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | nach FRM II, km 124,6 | 4 | 4 | <0,11 | <0,30 | nn | nn |
| | Cs-137 | | 4 | 0 | 15,6 | 42,2 | 29,9 | 33 |
| | U-235 | | 1 | 0 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 1,3 |
| | Pu-238 | | 1 | 1 | <0,09 | <0,09 | nn | nn |
| | Am-241 | | 1 | 1 | <0,13 | <0,13 | nn | nn |
| EMS / KKE Emsland | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 5 | 1,3 | <7,0 | <4,3 | <5 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 0 | 2200 | 7940 | 4670 | 2660 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0039 | <0,044 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0068 | <0,039 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0034 | <0,012 | nn | nn |
| | Auslaufbauwerk | 4 | 3 | 0,0040 | <0,0084 | <0,0064 | nn | |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|--------|--|-------------|------|---|-----------|-------------------|-------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 84,7 | 4 | 4 | <0,19 | <0,32 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 106,3 | 4 | 4 | <0,44 | <0,69 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 84,7 | 4 | 0 | 13 | 16 | 14 | 26 |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 106,3 | 3 | 0 | 26 | 40 | 34 | 39 |
| 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 | <11 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0027 | <0,05 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0021 | <0,05 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Herstelle, km 47,2 | 2 | 2 | <1,3 | <1,9 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 14 | 34 | 24 | 18 |
| | | Wehrden, km 60,2 | 2 | 2 | <1,3 | <3,3 | nn | nn |
| | Cs-137 | Herstelle, km 47,2 | 2 | 0 | 7,6 | 18 | 13 | 19 |
| | | Auslaufbauwerk | 2 | 0 | 29 | 38 | 34 | 34 |
| | | Wehrden, km 60,2 | 2 | 0 | 7,0 | 14 | 11 | 14 |
| WESER / KWG Grohnde | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 1 | 1,0 | 8,92 | 4,4 | 8 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 0 | 36 | 110 | 59 | 61 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0057 | <0,046 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0048 | <0,041 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0043 | <0,0089 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0038 | <0,0087 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Grohnde, km 122 | 4 | 4 | <0,40 | <0,68 | nn | nn |
| | | Hameln, km 135 | 4 | 4 | <0,33 | <0,60 | nn | nn |
| | Cs-137 | Grohnde, km 122 | 4 | 0 | 11 | 16 | 14 | 14 |
| | | Hameln, km 135 | 4 | 0 | 9,1 | 15 | 12 | 15 |
| UNTERWESER / KKK Unterweser | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 4 | 2,8 | <10 | <6 | 6 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 1 | 6,9 | 66 | 34 | 18 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0067 | <0,050 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0047 | <0,050 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0056 | <0,0062 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,0042 | <0,0097 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 44,1 | 4 | 2 | 0,45 | 0,77 | <0,57 | 0,58 |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 60,0 | 4 | 2 | <0,33 | 0,40 | 0,36 | 0,44 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 44,1 | 4 | 0 | 8,8 | 10 | 9 | 11 |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 60,0 | 4 | 0 | 3,7 | 6,2 | 4,9 | 6,0 |
| RUR / Forschungszentrum Jülich | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Selhausen | 8 | 8 | <10 | <10 | nn | <10 |
| | | Jülich-Süd | 8 | 8 | <10 | <10 | nn | <10 |
| | 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 | <2,6 | <2,6 | nn | nn |
| | | Jülich-Süd | 2 | 2 | <2,5 | <2,5 | nn | nn |
| | Cs-137 | Selhausen | 2 | 0 | 22 | 25 | 24 | 20 |
| | | Jülich-Süd | 2 | 0 | 18 | 19 | 19 | 18 |
| GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | Gα | Retentionsanlage | 8 | 6 | <0,06 | <0,247 | <0,12 | <0,08 |
| | | Goorbach, unterhalb der Straßenkreuzung | 4 | 1 | <0,06 | 0,08 | 0,07 | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Retentionsanlage | 2 | 2 | <1,0 | <2,0 | nn | nn |
| | | Dinkel, nach Kläranlage Gronau | 2 | 2 | <1,2 | <1,2 | nn | nn |
| | Cs-137 | Retentionsanlage | 2 | 0 | 6,6 | 29 | 18 | 30 |
| | | Dinkel, nach Kläranlage Gronau | 2 | 0 | 15 | 18 | 17 | 30 |
| | U-238 | Dinkel, nach Kläranlage Gronau | 2 | 0 | 15 | 33 | 24 | - |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|--|--------|-------------------------------|-------------|------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| AHAUSER AA / Brennelement-Zwischenlager Ahaus | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | Gα | Ahauser Aa | 4 | 4 | <0,20 | <0,20 | nn | nn |
| | Rβ | | 4 | 4 | <0,11 | <0,11 | nn | nn |
| | H-3 | | 4 | 4 | <10 | <10 | nn | nn |
| | Co-60 | | 4 | 4 | <0,05 | <0,05 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Einleitung Moorbach | 4 | 4 | <1,2 | <1,9 | nn | nn |
| | | Ahauser Aa | 4 | 4 | <1,1 | <1,6 | nn | nn |
| | Cs-137 | Einleitung Moorbach | 4 | 0 | 13 | 28 | 20 | 22 |
| | | Ahauser Aa | 4 | 0 | 17 | 34 | 28 | 35 |
| ELBE / Forschungszentrum Geesthacht | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk, km 578,6 | 8 | 8 | <5,7 | <10 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 579,6 | 8 | 8 | <5,7 | <10 | nn | nn |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 578,6 | 8 | 8 | <0,014 | <0,030 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 579,6 | 8 | 8 | <0,014 | <0,030 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 578,6 | 8 | 8 | <0,014 | <0,036 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 579,6 | 8 | 8 | <0,016 | <0,045 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 578,6 | 6 | 6 | <0,29 | <1,6 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 579,6 | 6 | 6 | <0,30 | <2,2 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 578,6 | 6 | 5 | 0,37 | <2,3 | <1,0 | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 579,6 | 6 | 6 | <0,33 | <2,2 | nn | <0,87 |
| ELBE / KKK Krümmel | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <5,7 | <6,5 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <5,0 | <6,5 | nn | <6,4 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,0092 | <0,023 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,0067 | <0,024 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,012 | <0,025 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,0077 | <0,026 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,12 | <1,1 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,084 | <1,1 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 8 | 2 | 0,60 | 1,5 | 1,1 | 1,0 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 8 | 2 | 0,35 | <1,1 | 0,6 | <0,9 |
| ELBE / KBR Brokdorf | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 16 | 13 | <4,44 | 11,6 | <5,4 | <5,0 |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 0 | 8,25 | 39,7 | 24,9 | 21,6 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <0,0116 | <0,042 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <0,0101 | <0,035 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <0,0112 | <0,046 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 16 | 16 | <0,0116 | <0,043 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,84 | <1,7 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,68 | <1,1 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 1 | <0,96 | 4,9 | 2,8 | <2,1 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,69 | <1,1 | nn | <1,0 |
| ELBE / KKS Stade (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk, km 628,9 | 16 | 0 | 1,44 | 3,88 | 2,47 | 2,5 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 0 | 15 | 960 | 316 | 96 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 628,9 | 16 | 16 | <0,0010 | <0,016 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0055 | <0,021 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 628,9 | 16 | 6 | 0,0016 | <0,012 | 0,003 | 0,0026 |
| | | Auslaufbauwerk | 8 | 8 | <0,0049 | <0,022 | nn | nn |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk, km 654 | 4 | 4 | <0,28 | <0,57 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 660 | 4 | 4 | <0,27 | <0,50 | nn | <0,39 |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk, km 654 | 4 | 0 | 5,8 | 10 | 7,8 | 6,8 |
| | | nach Auslaufbauwerk, km 660 | 4 | 0 | 3,4 | 8,4 | 5,6 | 5,2 |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|---|-------------------------|----------------------------|-------------|----------|---|-----------|-------------------|---------|
| | | | | | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | N | <NWG | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| ELBE / KKB Brunsbüttel | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <4,81 | <5,9 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 24 | 21 | <4,81 | 15 | <6 | <6,0 |
| | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,0080 | <0,027 | nn | nn |
| | | Auslaufbauwerk | 24 | 24 | <0,0095 | <0,024 | nn | nn |
| | Sr-90 | vor Auslaufbauwerk | 12 | 0 | 0,0034 | 0,0048 | 0,0038 | 0,0044 |
| | | Auslaufbauwerk | 12 | 0 | 0,0032 | 0,0062 | 0,0040 | 0,0043 |
| Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 24 | 22 | 0,0074 | <0,032 | <0,017 | <0,016 | |
| | Auslaufbauwerk | 24 | 22 | 0,0078 | <0,027 | <0,017 | <0,017 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <1,2 | <4,1 | nn | nn |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 4 | <0,75 | <1,4 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslaufbauwerk | 4 | 0 | 1,7 | 6,2 | 3,7 | 3,3 |
| | | nach Auslaufbauwerk | 4 | 1 | <0,77 | 4,4 | 2,6 | 2,2 |
| ELBE / TBL / PKA Gorleben | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Schnackenburg, km 474,6 | 8 | 4 | 2,0 | <5,51 | <3,7 | 3,0 |
| | | Dömitz, km 504,4 | 8 | 3 | 1,0 | <4,85 | 2,7 | 2,5 |
| | Co-60 | Schnackenburg, km 474,6 | 8 | 8 | <0,0006 | <0,0129 | nn | nn |
| | | Dömitz, km 504,4 | 8 | 8 | <0,0006 | <0,0078 | nn | nn |
| | Cs-137 | Schnackenburg, km 474,6 | 12 | 6 | 0,0003 | <0,0108 | <0,0029 | <0,0030 |
| | | Dömitz, km 504,4 | 12 | 5 | 0,0003 | <0,0069 | 0,0006 | <0,0031 |
| | Pu-238 | Schnackenburg, km 474,6 | 2 | 1 | <0,0005 | 0,0011 | <0,0008 | nn |
| | | Dömitz, km 504,4 | 2 | 1 | <0,0005 | 0,0009 | <0,0007 | nn |
| Pu-(239 +240) | Schnackenburg, km 474,6 | 2 | 2 | <0,0005 | <0,0005 | 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 | <0,32 | <0,35 | nn | nn |
| | | Dömitz, km 504,4 | 4 | 4 | <0,15 | <0,44 | nn | nn |
| | Cs-137 | Schnackenburg, km 474,6 | 4 | 0 | 9,0 | 22 | 16 | 16 |
| | | Dömitz, km 504,4 | 4 | 0 | 1,1 | 14 | 5 | 18 |
| | Pu-238 | Schnackenburg, km 474,6 | 2 | 1 | <0,10 | 0,23 | <0,17 | nn |
| | | Dömitz, km 504,4 | 2 | 0 | 0,13 | 0,15 | 0,14 | nn |
| | Pu-(239 +240) | Schnackenburg, km 474,6 | 2 | 0 | 0,14 | 0,21 | 0,18 | nn |
| Dömitz, km 504,4 | | 2 | 1 | <0,095 | 0,16 | <0,13 | nn | |
| ELBE / KALTER BACH / WESENITZ / Forschungszentrum Rossendorf | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | Kalter Bach | 24 | 12 | <5,0 | 16 | <9 | 18,6 |
| | | Wesenitz, Dittersbach | 2 | 2 | <3,7 | <4,9 | nn | nn |
| | Co-60 | Kalter Bach | 24 | 15 | 0,0016 | <0,021 | <0,009 | 0,004 |
| | | Wesenitz, Dittersbach | 2 | 2 | <0,0065 | <0,0066 | nn | nn |
| | Cs-137 | Kalter Bach | 24 | 14 | <0,0014 | <0,021 | <0,009 | 0,007 |
| | | Wesenitz | 2 | 2 | <0,0053 | <0,0057 | nn | - |
| Pu-238 Pu-(239 +240) | Kalter Bach | 4 | 4 | <0,00001 | <0,00006 | nn | <0,00005 | |
| | Kalter Bach | 4 | 2 | <0,00001 | 0,00019 | <0,00009 | <0,00011 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Kalter Bach | 3 | 0 | 0,43 | 0,67 | 0,53 | 0,71 |
| | | Wesenitz | 2 | 2 | <0,36 | <0,44 | nn | nn |
| | | Elbe unterhalb d. Wesenitz | 2 | 2 | <0,27 | <0,29 | nn | nn |
| | Cs-137 | Kalter Bach | 3 | 0 | 5,7 | 5,9 | 5,8 | 7,8 |
| | | Wesenitz | 2 | 0 | 3,5 | 8,3 | 5,9 | 2,2 |
| | | Elbe unterhalb d. Wesenitz | 2 | 0 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 1,5 |
| ALLER / Endlager Morsleben | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Salzbach | 4 | 4 | <5,0 | <6,0 | nn | nn |
| | | nach Salzbach | 4 | 4 | <5,0 | <6,0 | nn | nn |
| | Co-60 | vor Salzbach | 4 | 4 | <0,005 | <0,007 | nn | nn |
| | | nach Salzbach | 4 | 4 | <0,005 | <0,008 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Salzbach | 4 | 4 | <0,005 | <0,006 | nn | nn |
| | | nach Salzbach | 4 | 4 | <0,005 | <0,007 | nn | nn |
| Gß | vor Salzbach | 12 | 0 | 0,37 | 0,48 | 0,41 | 0,42 | |
| | nach Salzbach | 12 | 0 | 0,36 | 0,51 | 0,45 | 0,49 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | Belsdorf | 1 | 1 | <0,24 | <0,24 | nn | nn |
| | | Schwanefeld | 1 | 1 | <0,25 | <0,25 | nn | nn |
| | Cs-137 | Belsdorf | 1 | 0 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 4,8 |
| | | Schwanefeld | 1 | 0 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 2,7 |

| GEWÄSSER/ KT-Anlage Kompartiment | Nuklid | Probenentnahmestelle | Anzahl 2007 | | Aktivitätskonzentration / spez. Aktivität | | | |
|---|--------|----------------------------|-------------|--------|---|-----------|-------------------|--------|
| | | | N | <NWG | Einzelwerte 2007 | | Jahresmittelwerte | |
| | | | | | min. Wert | max. Wert | 2007 | 2006 |
| HAVEL / KKR Rheinsberg (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | 50 m vor Auslauf | 5 | 5 | <4,99 | <9,2 | nn | nn |
| | | 50 m nach Auslauf | 5 | 5 | <4,99 | <9,2 | nn | nn |
| | Co-60 | 50 m vor Auslauf | 16 | 16 | <0,0018 | <0,016 | nn | nn |
| | | 50 m nach Auslauf | 16 | 16 | <0,0020 | <0,016 | nn | nn |
| | Cs-137 | 50 m vor Auslauf | 16 | 6 | 0,0020 | <0,015 | 0,008 | 0,007 |
| 50 m nach Auslauf | | 16 | 4 | 0,0030 | <0,016 | 0,006 | 0,0062 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | 50 m vor Auslauf | 2 | 2 | <0,118 | <0,15 | nn | nn |
| | | 50 m nach Auslauf | 2 | 2 | <0,145 | <0,149 | nn | nn |
| | Cs-137 | 50 m vor Auslauf | 2 | 0 | 14 | 17 | 16 | 16 |
| | | 50 m nach Auslauf | 2 | 0 | 2,9 | 5,2 | 4,1 | 3,6 |
| GREIFSWALDER BODDEN / KGR Greifswald (außer Betrieb) | | | | | | | | |
| Oberflächen- wasser (Bq/l) | H-3 | vor Auslauf | 16 | 16 | <4,47 | <5,0 | nn | <4,8 |
| | | nach Auslauf (Hafenbecken) | 16 | 16 | <4,47 | <5,0 | nn | <4,8 |
| | Co-60 | vor Auslauf | 16 | 16 | <0,0044 | <0,049 | nn | nn |
| | | nach Auslauf (Hafenbecken) | 16 | 16 | <0,0049 | <0,050 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslauf | 16 | 12 | 0,0148 | <0,055 | <0,036 | <0,040 |
| nach Auslauf (Hafenbecken) | | 16 | 10 | 0,0209 | 0,052 | <0,036 | <0,044 | |
| Sediment (Bq/kg TM) | Co-60 | vor Auslauf | 2 | 2 | <0,195 | <0,223 | nn | nn |
| | | nach Auslauf (Hafenbecken) | 2 | 2 | <0,188 | <0,249 | nn | nn |
| | Cs-137 | vor Auslauf | 2 | 0 | 3,73 | 5,91 | 4,82 | 8,0 |
| | | nach Auslauf (Hafenbecken) | 2 | 0 | 0,986 | 3,45 | 2,22 | 7,4 |

a Daten lagen nicht vor

nn nicht nachgewiesen / nachweisbar

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

In den Tabellen 2.2.4-1 bis 2.2.4-3 sind die von den Atomkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2007 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Im Jahr 2007 wurden aus dem Kontrollbereich des ERAM insgesamt 2,2 m³ Abwasser abgegeben (Vorjahr: 5,2 m³).

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 1,0 GBq bzw. 1,5 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 200 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 6 TBq.

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

Tabelle 2.2.4-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2007 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)*
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in Germany in the year 2007 - summation values, tritium and alpha sources)

| Radionuklid Atomkraftwerk | Spalt und Aktivierungs- produkte (außer Tritium) | Tritium | α -Strahler |
|---|--|---------|--------------------|
| | | | |
| Siedewasserreaktoren | | | |
| VAK Kahl ¹ | nn | nn | nn |
| KWL Lingen ¹ | 1,4 E07 | 4,2 E08 | 2,2 E04 |
| KWW Würgassen ¹ | 1,8 E07 | 7,5 E10 | 1,6 E05 |
| KKB Brunsbüttel | 3,9 E08 | 3,8 E11 | nn |
| KKI Isar 1 | 4,8 E07 | 4,5 E11 | nn |
| KKP Philippsburg 1 | 1,2 E08 | 3,1 E11 | nn |
| KKK Krümmel | 6,4 E06 | 4,8 E11 | nn |
| KRB Gundremmingen | 9,0 E08 | 4,0 E12 | nn |
| Druckwasserreaktoren | | | |
| KWO Obrigheim ² | 2,9 E08 | 3,2 E11 | 1,8 E05 |
| KKS Stade ¹ | 1,2 E07 | 6,8 E12 | 1,6 E04 |
| KWB Biblis Block A | 6,7 E07 | 5,5 E12 | nn |
| KWB Biblis Block B | 6,8 E07 | 9,0 E12 | nn |
| GKN Neckarwestheim 1 | 1,1 E05 | 9,5 E12 | nn |
| KKU Unterweser | 1,5 E08 | 1,5 E13 | nn |
| KKG Grafenrheinfeld | 9,9 E07 | 1,9 E13 | nn |
| KWG Grohnde | 4,6 E06 | 2,4 E13 | nn |
| KKP Philippsburg 2 | 1,2 E08 | 1,4 E13 | nn |
| KMK Mülheim-Kärlich ¹ | 6,0 E06 | 2,9 E08 | nn |
| KBR Brokdorf | 1,1 E06 | 2,3 E13 | nn |
| KKI Isar 2 | 1,0 E07 | 2,2 E13 | nn |
| KKE Emsland | nn | 3,1 E13 | nn |
| GKN Neckarwestheim 2 | 6,1 E05 | 2,1 E13 | nn |
| KGR Greifswald Block 1 bis 5 ¹ | 1,8 E08 | 2,1 E09 | 2,5 E05 |
| KKR Rheinsberg ¹ | 3,7 E06 | 6,0 E05 | 2,5 E05 |

1 Anlage stillgelegt

2 Abgeschaltet, noch keine Stilllegungsgenehmigung erteilt

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unterhalb Nachweisgrenze)

* Druckfehlerkorrektur Oktober 2009

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

| Forschungszentrum | Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium) | | Tritium | | α -Strahler | |
|--|---|---------|---------|---------|--------------------|---------|
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| | Aktivität in Bq | | | | | |
| Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage) | 1,1 E07 | 2,0 E07 | 1,2 E11 | 1,6 E12 | 3,4 E06 | 1,3 E06 |
| Jülich | 1,3 E08 | 8,2 E07 | 5,6 E11 | 6,6 E11 | nn | nn |
| GKSS Geesthacht | 2,7 E07 | 2,3 E07 | 2,1 E09 | 3,6 E08 | 2,8 E04 | 2,6 E04 |
| Helmholtz-Zentrum Berlin | 2,8 E05 | 1,3 E05 | 2,0 E09 | 5,1 E08 | nn | nn |
| FRM I Garching | 4,1 E05 | nn | 1,8 E06 | nn | nn | nn |
| FRM II Garching | 3,3 E07 | 5,8 E07 | 4,3 E10 | 2,6 E09 | nn | nn |
| Rosendorf | 8,3 E05 | 4,4 E06 | 1,3 E08 | 1,8 E09 | 8,1 E04 | 1,5 E05 |

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unterhalb Nachweisgrenze)

Tabelle 2.2.4-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2007
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2007)

| Betrieb | α -Strahler |
|-------------------|--------------------|
| | Aktivität in Bq |
| ANF GmbH (Lingen) | nn |
| URENCO (Gronau) | 1,0 E03 |

nn nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unterhalb Nachweisgrenze)

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

| Radionuklid | Aktivität in Bq | |
|-------------------------------|-----------------|---------|
| | 2007 | 2006 |
| Tritium | 7,8 E03 | 4,0 E05 |
| Nuklidgemisch (außer Tritium) | 3,5 E02 | 8,4 E02 |

Da aus dem Forschungsbergwerk Asse betriebsmäßig keine Flüssigkeiten abgegeben werden, beschränkt sich die Emissionsüberwachung auf die Überwachung der Abluft. Diese wird regelmäßig auf ihren Gehalt an radioaktiven Stoffen untersucht.

2.3 Böden (Soil)

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

Die Wanderung der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort, wie sie in den nachfolgenden Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probennahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war wie auch in den Vorjahren im Jahr 2007 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 2007 wurden verschiedene Pflanzenproben gammaspektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

In Tabelle 2.3.1-4 sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in den Tabellen 2.3.1-5 und 2.3.1-6 zusammengestellt. In Tabelle 2.3.1-7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 2.3.1-5 bis 2.3.1-7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

**Tabelle 2.3.1-1 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)**

| Bundesland | Jahr | Entnahmetiefe (cm) | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|-------------------|------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Baden-Württemberg | 2005 | 0 - 10 | 12 | 35,7 | 116,0 | 7 | 2,5 | 6,9 |
| | 2006 | 0 - 10 | 11 | 41,8 | 121,6 | 7 | 1,4 | 3,0 |
| | 2007 | 0 - 10 | 9 | 31,7 | 69,2 | 6 | 1,5 | 2,5 |
| Bayern | 2005 | 0 - 10 | 19 | 87,1 | 358,0 | 17 | 5,8 | 10,6 |
| | 2006 | 0 - 10 | 19 | 91,0 | 304,3 | 17 | 4,7 | 9,1 |
| | 2007 | 0 - 10 | 20 | 101,1 | 389,6 | 17 | 5,5 | 14,7 |
| Berlin | 2005 | 0 - 10 | 4 | 14,8 | 21,0 | 1 | 2,0 | - |
| | 2006 | 0 - 10 | 4 | 9,1 | 18,1 | 1 | 0,7 | - |
| | 2007 | 0 - 10 | 4 | 9,8 | 16,6 | 1 | 0,7 | - |
| Brandenburg | 2005 | 0 - 10 | 7 | 17,9 | 58,0 | 2 | 2,5 | 2,6 |
| | 2006 | 0 - 10 | 7 | 24,3 | 69,0 | 4 | 3,8 | 7,6 |
| | 2007 | 0 - 10 | 9 | 18,6 | 52,0 | 4 | 2,4 | 4,0 |
| Bremen | 2005 | 0 - 10 | 1 | 23,5 | - | 1 | 1,2 | - |
| | 2006 | 0 - 10 | 1 | 5,5 | - | 1 | 0,5 | - |
| | 2007 | 0 - 10 | 2 | 15,4 | 29,1 | - | - | - |
| Hamburg | 2005 | 0 - 10 | 1 | 10,1 | - | - | - | - |
| | 2006 | 0 - 10 | 1 | 8,9 | - | - | - | - |
| | 2007 | 0 - 10 | 1 | 3,8 | - | - | - | - |

| Bundesland | Jahr | Entnahmetiefe (cm) | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|------------------------|------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Hessen | 2005 | 0 - 10 | 2 | 23,1 | 28,9 | - | | |
| | 2006 | 0 - 10 | 2 | 13,7 | 15,2 | - | | |
| | 2007 | 0 - 10 | 2 | 22,8 | 28,6 | - | | |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2005 | 0 - 10 | 8 | 20,0 | 83,1 | 4 | 0,7 | 0,8 |
| | 2006 | 0 - 10 | 9 | 16,8 | 60,1 | 4 | 0,7 | 1,2 |
| | 2007 | 0 - 10 | 10 | 11,5 | 31,0 | 3 | 0,9 | 1,8 |
| Niedersachsen | 2005 | 0 - 10 | 13 | 28,8 | 71,5 | 4 | 9,1 | 17,6 |
| | 2006 | 0 - 10 | 9 | 31,0 | 127,0 | 4 | 2,4 | 3,1 |
| | 2007 | 0 - 10 | 14 | 24,4 | 51,3 | 9 | 1,9 | 3,3 |
| Nordrhein-Westfalen | 2005 | 0 - 10 | 20 | <11,7 | 29,3 | 6 | 4,1 | 17,8* |
| | 2006 | 0 - 10 | 20 | 12,8 | 30,8 | 5 | 1,9 | 5,5 |
| | 2007 | 0 - 10 | 14 | 12,6 | 26,1 | 4 | 2,3 | 6,9 |
| Rheinland-Pfalz | 2005 | 0 - 10 | 7 | 21,2 | 26,4 | 4 | 1,3 | 1,7 |
| | 2006 | 0 - 10 | 8 | 19,3 | 27,9 | 3 | 1,3 | 1,8 |
| | 2007 | 0 - 10 | 7 | 16,3 | 20,2 | 3 | 0,8 | 1,1 |
| Saarland | 2005 | 0 - 10 | 2 | 14,3 | 20,8 | 2 | 1,7 | 1,8 |
| | 2006 | 0 - 10 | 2 | 11,7 | 14,8 | 2 | 14,6 | 18,6 |
| | 2007 | 0 - 10 | 4 | 25,0 | 40,8 | 2 | 1,8 | 1,8 |
| Sachsen | 2005 | 0 - 10 | 6 | 13,9 | 34,8 | 5 | 1,2 | 2,6 |
| | 2006 | 0 - 10 | 6 | 15,1 | 38,4 | 5 | 1,1 | 2,1 |
| | 2007 | 0 - 10 | 8 | 12,1 | 39,3 | 5 | 1,0 | 2,1 |
| Sachsen-Anhalt | 2005 | 0 - 10 | 1 | 15,4 | - | a | | |
| | 2006 | 0 - 10 | 1 | 36,6 | - | a | | |
| | 2007 | 0 - 10 | a | | | a | | |
| Schleswig-Holstein | 2005 | 0 - 10 | 8 | 16,3 | 28,0 | 6 | 1,3 | 2,0 |
| | 2006 | 0 - 10 | 8 | 15,5 | 27,1 | 6 | 1,3 | 2,1 |
| | 2007 | 0 - 10 | 8 | 14,6 | 22,9 | 6 | 1,2 | 1,5 |
| Thüringen | 2005 | 0 - 10 | 6 | 24,7 | 37,7 | 3 | 1,2 | 1,7 |
| | 2006 | 0 - 10 | 6 | 24,8 | 32,0 | 3 | 1,6 | 1,8 |
| | 2007 | 0 - 10 | 7 | 23,6 | 32,8 | 3 | 1,5 | 2,0 |

a Messwerte lagen nicht vor

* Der Sr 90 Wert ist nicht repräsentativ für die Gesamtauswertung in diesem Bereich
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 | 2005 | 0 - 30 | 11 | 25,1 | 78,5 | a | | |
| | 2006 | 0 - 30 | 8 | 26,4 | 96,0 | 1 | 3,5 | - |
| | 2007 | 0 - 30 | 8 | 23,9 | 73,3 | - | | |
| Bayern | 2005 | 0 - 30 | 25 | 25,9 | 147,0 | 3 | 2,8 | 5,8 |
| | 2006 | 0 - 30 | 25 | 28,5 | 179,9 | 3 | 5,6 | 12,1 |
| | 2007 | 0 - 30 | 30 | 30,5 | 199,3 | 3 | 6,5 | 12,9 |
| Berlin | 2005 | 0 - 30 | 2 | 7,7 | 9,2 | 1 | 1,3 | - |
| | 2006 | 0 - 30 | 2 | 6,9 | 7,9 | 1 | 0,7 | - |
| | 2007 | 0 - 30 | 2 | 7,0 | 8,3 | 1 | 1,2 | - |
| Brandenburg | 2005 | 0 - 30 | 9 | 11,3 | 28,0 | 3 | 0,8 | 1,5 |
| | 2006 | 0 - 30 | 9 | 8,9 | 21,0 | 3 | 0,6 | 0,9 |
| | 2007 | 0 - 30 | 9 | 10,8 | 27,0 | 3 | 0,5 | 0,6 |
| Bremen | 2005 | 0 - 30 | 2 | 7,4 | 10,6 | 1 | 0,7 | - |
| | 2006 | 0 - 30 | 2 | 5,0 | 8,2 | 1 | 1,1 | - |
| | 2007 | 0 - 30 | 3 | 13,4 | 26,0 | 2 | 0,9 | 0,9 |
| Hamburg | 2005 | 0 - 30 | 1 | 7,6 | - | 1 | 0,9 | - |
| | 2006 | 0 - 30 | 1 | 7,1 | - | 1 | 0,9 | - |
| | 2007 | 0 - 30 | 1 | 6,0 | - | 1 | 0,8 | - |
| Hessen | 2005 | 0 - 30 | 6 | 10,6 | 18,3 | 2 | 1,3 | 1,5 |
| | 2006 | 0 - 30 | 6 | 11,0 | 20,4 | 2 | 0,7 | 1,2 |
| | 2007 | 0 - 30 | 6 | 9,5 | 15,4 | 2 | 0,7 | 0,8 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2005 | 0 - 30 | 7 | 11,1 | 26,9 | 2 | 1,0 | 1,4 |
| | 2006 | 0 - 30 | 7 | 9,5 | 17,5 | 2 | 1,1 | 1,9 |
| | 2007 | 0 - 30 | 7 | 9,0 | 19,2 | 2 | 1,0 | 1,7 |
| Niedersachsen | 2005 | 0 - (25/30) | 27 | 11,4 | 37,8 | 7 | 3,7 | 13,5 |
| | 2006 | 0 - (25/30) | 22 | 13,0 | 53,9 | 10 | 1,3 | 2,1 |
| | 2007 | 0 - (25/30) | 28 | 9,8 | 18,7 | 9 | 1,0 | 1,4 |
| Nordrhein-Westfalen | 2005 | 0 - 30 | 19 | 8,9 | 20,9 | 5 | 1,1 | 2,6 |
| | 2006 | 0 - 30 | 20 | 8,8 | 16,4 | 5 | 2,0 | 5,5 |
| | 2007 | 0 - 30 | 12 | 9,8 | 19,1 | 5 | 1,3 | 3,2 |
| Rheinland-Pfalz | 2005 | 0 - (25/30) | 6 | 8,3 | 16,0 | 2 | 1,3 | 1,8 |
| | 2006 | 0 - (25/30) | 7 | 8,7 | 17,3 | 3 | 0,5 | 0,5 |
| | 2007 | 0 - (25/30) | 8 | 7,4 | 16,2 | 2 | 0,6 | 0,8 |
| Saarland | 2005 | 0 - 30 | 1 | 10,2 | - | a | | |
| | 2006 | 0 - 30 | 1 | 8,6 | - | a | | |
| | 2007 | 0 - 30 | 1 | 12,5 | - | a | | |
| Sachsen | 2005 | 0 - 30 | 6 | 9,4 | 21,2 | a | | |
| | 2006 | 0 - 30 | 6 | 8,5 | 19,6 | a | | |
| | 2007 | 0 - 30 | 7 | 9,1 | 24,5 | a | | |
| Sachsen-Anhalt | 2005 | 0 - 30 | 12 | 12,9 | 48,1 | 5 | 0,5 | 0,8 |
| | 2006 | 0 - 30 | 13 | 12,4 | 25,7 | 5 | <0,6 | 0,9 |
| | 2007 | 0 - 30 | 15 | 24,0 | 97,1 | 5 | <0,5 | 0,6 |

| Bundesland | Jahr | Entnahmetiefe (cm) | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|--------------------|------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Schleswig-Holstein | 2005 | 0 - 30 | 5 | 8,5 | 11,1 | a | | |
| | 2006 | 0 - 30 | 5 | 8,0 | 11,9 | a | | |
| | 2007 | 0 - 30 | 5 | 7,3 | 10,3 | a | | |
| Thüringen | 2005 | 0 - 30 | 6 | 9,9 | 14,7 | 2 | 1,3 | 1,3 |
| | 2006 | 0 - 30 | 7 | 10,3 | 16,1 | 2 | 1,2 | 1,2 |
| | 2007 | 0 - 30 | 6 | 9,5 | 13,2 | 2 | 1,2 | 1,2 |

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

**Tabelle 2.3.1-3 Radioaktive Kontamination von Waldböden
 (Radioactive contamination of forest soil)**

| Bundesland | Jahr | Entnahmetiefe (cm) | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|---------------------|------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Hessen | 2005 | 0 - 10 | 4 | 35,8 | 60,6 | 2 | 2,8 | 4,7 |
| | 2006 | 0 - 10 | 3 | 17,4 | 33,7 | 1 | 0,8 | - |
| | 2007 | 0 - 10 | 4 | 33,5 | 67,7 | 2 | 3,4 | 6,1 |
| Niedersachsen | 2005 | 0 - 10 | 2 | 95,8 | 170,0 | a | | |
| | 2006 | 0 - 10 | 2 | 22,0 | 23,1 | a | | |
| | 2007 | 0 - 10 | 2 | 39,6 | 78,6 | a | | |
| Nordrhein-Westfalen | 2005 | 0 - 10 | 6 | 46,7 | 138,0 | a | | |
| | 2006 | 0 - 10 | 6 | 63,5 | 204,0 | a | | |
| | 2007 | 0 - 10 | 2 | 109,5 | 173,0 | 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 FM | | | | | |
|-------------------|------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Baden-Württemberg | 2005 | 19 | < 0,6 | 7,7 | 8 | 0,4 | 1,1 |
| | 2006 | 17 | < 0,5 | 1,6 | 8 | 0,7 | 1,9 |
| | 2007 | 10 | < 0,4 | 1,8 | 5 | 0,3 | 0,5 |
| Bayern | 2005 | 71 | < 1,1 | 15,6 | 26 | 0,6 | 1,6 |
| | 2006 | 89 | < 0,9 | 15,2 | 33 | 0,7 | 1,7 |
| | 2007 | 57 | < 0,6 | 5,5 | 29 | 0,6 | 1,5 |
| Berlin | 2005 | 2 | 0,8 | 1,1 | 1 | 0,6 | - |
| | 2006 | 2 | 0,5 | 0,8 | 1 | 0,2 | - |
| | 2007 | 3 | 0,3 | 0,4 | 1 | 0,6 | - |
| Brandenburg | 2005 | 16 | < 0,7 | 4,0 | 5 | 0,4 | 0,6 |
| | 2006 | 17 | < 2,0 | 17,0 | 8 | 0,5 | 1,2 |
| | 2007 | 17 | < 1,2 | 6,5 | 9 | 0,4 | 0,7 |
| Bremen | 2005 | 2 | 0,7 | 1,4 | 1 | 0,08 | - |
| | 2006 | 2 | 0,3 | 0,4 | 1 | 0,7 | - |
| | 2007 | 2 | 0,2 | 0,2 | 1 | 0,4 | - |

| Bundesland | Jahr | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|----------------------------|------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Hamburg | 2005 | 1 | < 0,2 | - | a | | |
| | 2006 | 1 | 0,2 | - | a | | |
| | 2007 | 2 | < 0,2 | 0,3 | a | | |
| Hessen | 2005 | 15 | < 0,4 | 2,0 | 8 | 0,6 | 1,1 |
| | 2006 | 15 | < 0,5 | 2,3 | 8 | 0,6 | 1,0 |
| | 2007 | 15 | < 0,2 | < 0,3 | 8 | 0,4 | 1,1 |
| Mecklenburg- Vorpommern | 2005 | 25 | < 0,5 | 4,3 | 12 | 0,2 | 0,4 |
| | 2006 | 25 | < 0,4 | 7,6 | 12 | 0,2 | 0,4 |
| | 2007 | 20 | < 0,3 | 3,1 | 8 | 0,7 | 3,0 |
| Niedersachsen | 2005 | 56 | < 1,4 | 13,0 | 20 | 0,4 | 1,7 |
| | 2006 | 39 | < 0,7 | 6,2 | 20 | 0,2 | 0,5 |
| | 2007 | 44 | < 1,6 | 16,3 | 21 | < 0,2 | 0,9 |
| Nordrhein- Westfalen | 2005 | 19 | < 0,2 | 0,5 | 8 | 0,6 | 2,6 |
| | 2006 | 21 | < 0,3 | 0,5 | 9 | 0,2 | 0,3 |
| | 2007 | 21 | < 0,2 | 0,5 | 9 | < 0,3 | 0,7 |
| Rheinland-Pfalz | 2005 | 8 | < 0,4 | 1,0 | 5 | 0,5 | 0,8 |
| | 2006 | 9 | < 0,2 | 0,4 | 4 | 0,5 | 1,1 |
| | 2007 | 14 | < 0,3 | 0,6 | 7 | 0,6 | 0,8 |
| Saarland | 2005 | 2 | < 0,2 | < 0,2 | 1 | 0,2 | - |
| | 2006 | 2 | < 0,2 | < 0,2 | 1 | 0,2 | - |
| | 2007 | 4 | < 0,5 | < 0,5 | 2 | 0,9 | 1,4 |
| Sachsen-Anhalt | 2005 | 14 | < 0,4 | 2,0 | 7 | 0,2 | 0,4 |
| | 2006 | 14 | < 0,4 | 1,8 | 7 | 0,4 | 0,9 |
| | 2007 | 11 | < 0,4 | 0,8 | 5 | 0,2 | 0,4 |
| Sachsen | 2005 | 20 | < 0,6 | 10,3 | 10 | 0,3 | 0,5 |
| | 2006 | 20 | < 0,4 | 3,3 | 10 | 0,2 | 0,5 |
| | 2007 | 14 | < 0,3 | 1,6 | 6 | 0,4 | 0,7 |
| Schleswig- Holstein | 2005 | 21 | < 0,2 | 0,5 | 11 | 0,4 | 0,6 |
| | 2006 | 21 | < 0,2 | 0,5 | 11 | 0,4 | 0,7 |
| | 2007 | 22 | < 0,2 | 0,7 | 12 | 0,4 | 0,7 |
| Thüringen | 2005 | 12 | < 0,1 | 0,3 | 6 | 0,3 | 0,4 |
| | 2006 | 12 | < 0,2 | 0,7 | 6 | 1,4 | 2,6 |
| | 2007 | 17 | < 0,2 | 1,9 | 5 | 0,2 | 0,4 |

a Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2.3.1-5 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)
(Radioactive contamination of some feedstuffs - inland production)

| Futtermittel | Jahr | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|-----------------------------------|------|-----------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | Cs-137 | | | Sr-90 | | |
| | | N | Mittelwert | max. Wert | N | Mittelwert | max. Wert |
| Mais u. Maissilagen | 2005 | 251 | < 0,5 | 6,6 | 1 | 0,02 | - |
| | 2006 | 256 | < 0,5 | 6,8 | 1 | 0,04 | - |
| | 2007 | 246 | < 0,5 | 6,9 | - | | |
| Futterrüben | 2005 | 27 | < 0,4 | 1,1 | - | | |
| | 2006 | 37 | < 1,1 | 25,7 | - | | |
| | 2007 | 29 | < 0,5 | 1,8 | - | | |
| Futtergetreide | 2005 | 147 | < 0,2 | 0,9 | - | | |
| | 2006 | 141 | < 0,2 | 1,1 | - | | |
| | 2007 | 148 | < 0,2 | 2,0 | - | | |
| Grünfütterpflanzen (ohne Mais) | 2007 | 6 | < 13,2* | 76,2** | - | | |
| Futterkartoffeln | 2005 | 70 | < 0,5 | 3,6 | - | | |
| | 2006 | 76 | < 0,4 | 1,6 | - | | |
| | 2007 | 83 | < 0,6 | 5,6 | - | | |
| Erbsen | 2005 | 4 | < 0,2 | < 0,2 | - | | |
| | 2006 | 3 | < 0,3 | 0,7 | - | | |
| | 2007 | 5 | < 0,1 | < 0,2 | - | | |
| Raps | 2005 | 7 | < 0,3 | 0,5 | - | | |
| | 2006 | 22 | < 0,2 | 0,7 | - | | |
| | 2007 | 46 | < 0,2 | 0,5 | - | | |
| Ölkuchen/ Ölschrote | 2005 | 3 | < 0,3 | 0,3 | - | | |
| | 2006 | 5 | < 0,3 | 0,4 | - | | |
| | 2007 | 1 | < 0,1 | - | - | | |

- Messung / Angabe nicht erforderlich

* Der Mittelwert ohne den Maximalwert: <0,7 Bq/kg TM; höchster Wert 2,0 Bq/kg TM

** Der Wert ist im IMIS „nicht repräsentativ“ gesetzt

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 | 2005 | 8 | < 0,15 | < 0,24 |
| | 2006 | 8 | < 0,21 | < 0,5 |
| | 2007 | 6 | < 0,20 | < 0,4 |
| Mais, Maisprodukte | 2005 | 19 | < 0,20 | < 0,68 |
| | 2006 | 17 | < 0,21 | 0,5 |
| | 2007 | 11 | < 0,38 | 1,5 |
| Heu, Cobs | 2006 | 5 | < 0,5 | < 0,6 |
| | 2007 | 3 | < 3,6 | 10,0 |

| Futtermittel | Jahr | N | Aktivität in Bq/kg TM | |
|----------------------|------|----|-----------------------|-----------|
| | | | Cs-137 | |
| | | | Mittelwert | max. Wert |
| Maniok, Tapioka | 2005 | 2 | < 0,2 | < 0,3 |
| | 2006 | a | a | a |
| | 2007 | 2 | < 0,2 | < 0,2 |
| Ölkuchen, Ölschrote | 2005 | 75 | < 0,4 | 1,0 |
| | 2006 | 91 | < 0,3 | 1,3 |
| | 2007 | 53 | < 0,4 | 1,5 |
| Sonnenblumen | 2007 | 2 | < 0,2 | < 0,2 |
| Leguminosen, Lupinen | 2005 | 2 | < 0,6 | 0,6 |
| | 2006 | a | | |
| | 2007 | a | | |
| Fischmehl | 2005 | 1 | 0,3 | - |
| | 2006 | 1 | 0,2 | - |
| | 2007 | a | | |
| Kraffuttermischung | 2006 | 2 | 1,3 | 2,4 |
| | 2007 | a | | |
| Tiernebenprodukte | 2005 | a | | |
| | 2006 | a | | |
| | 2007 | a | | |
| Kartoffeleiweiß | 2005 | 2 | < 0,21 | 0,35 |
| | 2006 | a | | |
| | 2007 | a | | |
| Molkenpulver | 2005 | 1 | 0,5 | - |
| | 2006 | 1 | < 0,3 | - |
| | 2007 | 2 | 0,5 | 0,7 |
| Citrustrester | 2005 | 7 | < 0,3 | < 0,3 |
| | 2006 | 1 | < 0,2 | - |
| | 2007 | 1 | < 0,4 | - |

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 | 2005 | 114 | < 15,9 | 665,7 |
| | 2006 | 109 | < 13,4 | 632,0 |
| | 2007 | 108 | < 11,3 | 449,3 |
| Nadeln | 2005 | 55 | < 44,0 | 751,0 |
| | 2006 | 51 | < 50,1* | 1.398,0** |
| | 2007 | 54 | < 32,8* | 823,8** |

| Pflanzenindikator | Jahr | N | Aktivität in Bq/kg TM | |
|-------------------|------|-----|-----------------------|-----------|
| | | | Cs-137 | |
| | | | Mittelwert | max. Wert |
| Gras | 2005 | 113 | < 18,6 | 364,0 |
| | 2006 | 106 | < 20,8* | 759,0** |
| | 2007 | 100 | < 20,9* | 586,0** |
| Farne (Thüringen) | 2005 | 3 | < 203,1 | 607,0 |
| | 2006 | 2 | 239,6 | 466,0 |
| | 2007 | 2 | 86,3 | 172,0 |

* Der Wert ist nicht repräsentativ für die Gesamtauswertung in diesem Bereich

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Nadeln: 2006: <23,1; 2007: <17,8

Mittelwert ohne den höchsten Wert bei Gras: 2006: <10,6; 2007: <15,2

** Der Wert ist nicht repräsentativ

2.3.2 Boden und Bewuchs in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (Soil and vegetation from the surroundings of nuclear facilities)

In der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation in Bezug auf Radioaktivität im Boden nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt, wobei die aktuellen Aktivitätskonzentrationen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 2.3.2-1 und 2.3.2-2 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

**Tabelle 2.3.2-1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of the soil in the vicinity of nuclear power plants)**

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------|------|------------|------|----------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 8 | 9,2 | 6 | 9,1 | 8 | 10,0 (4,5 - 18,0) |
| | Pu-238 | 7 | < 0,87 | 4 | < 1,1 | 3 | < 0,04 (0,01 - 0,1) |
| | Pu-(239+240) | 7 | < 0,57 | 4 | < 0,6 | 3 | 0,2 (0,04 - 0,4) |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 8 | 8,3 | 8 | 8,7 | 8 | 7,9 (2,2 - 11,0) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 8 | 10,4 | 8 | 11,3 | 8 | 8,4 (2,3 - 12,0) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 8 | 14,6 | 8 | 12,5 | 8 | 12,3 (0,6 - 23,0) |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 8 | 24,3 | 9 | 20,9 | 8 | 21,1 (9,6 - 37,2) |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 4 | 10,8 | 4 | 14,4 | 4 | 14,1 (7,2 - 20,3) |
| TRIGA Heidelberg | Cs-137 | 2 | b 14,9; 15,6 | 2 | 15,5 | a | |
| BAYERN | | | | | | | |
| VAK Kahl | Cs-137 | 2 | 25,0 | 2 | 8,6 | 2 | 11,3 (8,9 - 13,8) |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 10 | 41,0 | 8 | 29,5 | 10 | 37,2 (21,0 - 65,0) |
| KKI Isar | Cs-137 | 12 | 42,8 | 12 | 40,8 | 12 | 46,2 (10,0 - 94,0) |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 10 | 6,4 | 10 | 5,5 | 10 | 5,4 (4,7 - 6,8) |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|--------------|------|-------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| Forschungsreaktor München | Cs-137 | 4 | 19,8 | 4 | 52,6 | 4 | 62,0 (31,0 - 86,0) |
| Framatome ANP Erlangen KWU | Cs-137 | 4 | 15,7 | 4 | 22,8 | 4 | 19,7 (6,3 - 44,0) |
| | Pu-238 | 2 | 0,23 | 2 | b 0,05; 0,23 | 2 | b < 0,09; < 0,09 |
| | Pu-(239+240) | 2 | 1,7 | 4 | < 0,09 | 4 | < 0,13 (< 0,08-0,22) |
| | U-235 | 4 | < 1,45 | 4 | < 0,43 | 4 | 0,36 (0,17 - 0,6) |
| | U-238 | 4 | 21,2 | 4 | 6,8 | 4 | 7,9 (2,6 - 12,0) |
| | Am-241 | 4 | < 0,28 | 4 | < 0,07 | 4 | < 0,08 (< 0,05 - < 0,1) |
| | Framatome ANP Karlstein KWU | Cs-137 | 1 | 7,0 | 2 | 12,9 | 2 |
| | Pu-238 | 1 | < 0,036 | 2 | < 0,1 | 2 | < 0,1 (< 0,08 - 0,13) |
| | Pu-(239+240) | 1 | < 0,051 | 2 | < 0,14 | 2 | < 0,13 (< 0,1 - < 0,16) |
| | U-235 | 1 | 0,21 | 2 | 0,33 | 2 | 0,2 (0,2 - 0,3) |
| | U-238 | 1 | 5,9 | 2 | 7,0 | 2 | 5,2 (3,8 - 6,6) |
| SBWK Karlstein | Gesamt- α | a | | a | | a | |
| BERLIN | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | 8 | 17,2 | 9 | 13,1 | 6 | 13,6 (6,9 - 19,8) |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | 16 | 6,5 | 8 | 8,4 | 8 | 8,3 (5,6 - 13,0) |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 10 | 8,8 | 10 | 7,5 | 10 | 6,8 (4,8 - 8,9) |
| Nuklearbetriebe Hanau ^d | Gesamt- α Asche | 8 | 280 | a | | a | |
| | Rest- β Asche | a | a | a | | a | |
| | Pu-(239+240) Asche | 4 | < 0,08 | a | | a | |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | 8 | 4,2 | 6 | 5,6 | 8 | 10,4 (2,1 - 15,0) |
| | U-235 | a | | a | | a | |
| Zwischenlager Nord | Cs-137 | 24 | < 4,6 | 18 | < 5,2 | 12 | 9,5 (0,5 - 21,0) |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | 14 | 9,5 | 8 | 10,8 | 8 | 9,9 (2,9 - 18,0) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| KKU Unterweser | Cs-137 | 12 | 21,1 | 12 | 16,9 | 12 | 16,0 (4,1 - 46,0) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 10 | 10,5 | 10 | 11,0 | 10 | 14,6 (5,5 - 42,0) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKE Emsland | Cs-137 | 10 | 15,1 | 10 | 13,8 | 10 | 16,1 (2,2 - 30,0) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| Zwischenlager Gorleben | Cs-137 | 26 | 31,5 | 26 | 27,3 | 26 | 28,8 (8,0 - 64,0) |
| | Sr-90 | 4 | 2,6 | 3 | 3,0 | 4 | 5,0 (2,8 - 6,5) |
| | Pu-238 | 2 | <0,12 | 2 | <0,08 | 2 | 0,3 (0,2 - 0,3) |
| | Pu-(239+240) | 2 | <0,12 | 2 | <0,07 | 2 | < 0,1 (< 0,09 - < 0,1) |
| FMRB Braunschweig | Cs-137 | 4 | 16,4 | a | | a | |
| | Gesamt- α | a | | a | | a | |
| Schacht Konrad II ^c | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| Advanced Nuclear Fuels Lin- gen | Cs-137 | 12 | 8,5 | 12 | <9,9 | a | |
| | U-234 | a | | a | | a | |
| | U-235 | a | | a | | a | |
| | U-238 | a | | a | | a | |
| Forschungsbergwerk Asse | Cs-137 | 4 | 9,7 | 2 | 11,0 | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 10 | 7,7 | 10 | 7,0 | 10 | 7,7 (4,2 - 12,2) |
| | Sr-90 | 6 | 1,2 | 6 | 1,4 | 6 | 1,0 (0,7 - 1,4) |
| KWW Würgassen | Cs-137 | 20 | 19,3 | 20 | 19,4 | 20 | 13,2 (6,3 - 39,6) |
| THTR Uentrop | Cs-137 | 8 | 20,5 | 8 | 32,9 | 8 | 19,3 (5,4 - 43,5) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| Zwischenlager Ahaus | Cs-137 | 5 | 8,2 | 5 | 9,5 | 5 | 6,7 (5,6 - 7,5) |
| | Sr-90 | 5 | 0,6 | 5 | 0,4 | 5 | 0,5 (0,3 - 0,9) |
| UAG Gronau | U-238 | 10 | <0,2 | 10 | <0,2 | 10 | < 0,2 (< 0,2 - < 0,2) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 4 | 7,4 | 4 | 10,3 | 4 | 10,5 (3,3 - 18,6) |
| KKW Cattenom (Frankreich) | Cs-137 | a | | a | | a | |
| SACHSEN | | | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | 16 | 6,6 | 16 | 8,2 | 16 | 7,3 (2,2 - 18,4) |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 7 | 7,5 | 8 | 7,9 | a | |
| | Sr-90 | 4 | 0,2 | 4 | 0,3 | a | |
| | Gesamt- β | 4 | 620 | 4 | 605 | a | |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | | | |
| GKSS Geesthacht | Cs-137 | 5 | 12,9 | 10 | 11,8 | 10 | 10,7 (4,4 - 18,0) |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|----------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKB Brunsbüttel | Sr-90 | 1 | 0,4 | 2 | 0,4 | 2 | 0,3 (0,2 - 0,3) |
| | Cs-137 | 6 | 20,4 | 8 | 25,9 | 8 | 24,7 (7,9 - 44,0) |
| | Sr-90 | 2 | b 0,9; 3,3 | 2 | b 0,9; 3,9 | 2 | b 0,9; 3,1 |
| KKK Krümmel | Cs-137 | 6 | 6,6 | 12 | 6,4 | 12 | 6,6 (3,6 - 10,5) |
| | Sr-90 | 3 | 0,5 | 6 | 0,6 | 6 | 0,8 (0,6 - 1,0) |
| KBR Brokdorf | Cs-137 | 8 | 15,1 | 16 | < 17,4 | 16 | 14,3 (3,4 - 27,0) |
| | Sr-90 | 4 | 2,1 | 8 | 1,9 | 8 | 1,7 (0,6 - 3,0) |

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

d Die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe Hanau wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen

**Tabelle 2.3.2-2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of vegetation in the vicinity of nuclear power plants)**

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | Aktivität in Bq/kg FM | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|-----------------------|------------|------|------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 6 | 1,4 | 6 | 0,15* | 6 | < 0,16 (< 0,1 - < 0,2) |
| | Pu-238 | 4 | < 0,03 | 4 | < 0,17* | a | |
| | Pu-(239+240) | 4 | < 0,04 | 4 | < 0,09* | a | |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 8 | < 0,7 | 9 | < 0,31* | 4 | < 0,27 (< 0,2 - < 0,3) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 8 | < 0,4 | 8 | < 0,14* | 4 | < 0,40 (< 0,3 - < 0,5) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 8 | 1,9 | 8 | < 0,18* | 4 | < 0,48 (0,38 - 0,65) |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 8 | 2,9 | 9 | 0,9* | a | |
| KKW Fessenheim (Frank- reich) | Cs-137 | 4 | 0,7 | 4 | 0,15* | a | |
| TRIGA Heidelberg | Cs-137 | 2 | b 1,6; 0,7 | 2 | 0,06* | a | |
| BAYERN | | | | | | | |
| VAK Kahl | Cs-137 | 2 | < 0,26 | 2 | 0,06* | 2 | < 0,56 (< 0,5 - 0,62) |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 10 | < 1,7 | 8 | < 0,35 | 10 | < 0,23 (0,03 - 0,47) |
| KKI Isar | Cs-137 | 12 | 1,13 | 12 | 0,42 | 12 | 0,46 (0,05 - 1,8) |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | Aktivität in Bq/kg FM | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------|-----------------------|------------|---------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 10 | <0,49 | 10 | < 0,31 | 10 | < 0,29 (< 0,07 - < 0,53) |
| Forschungsreaktor Mün- chen | Cs-137 | 4 | 8,8 | 4 | 0,82 | 4 | 4,05 (0,81 - 12,0) |
| Framatome ANP Erlangen KWU | Cs-137 | 4 | < 1,53 | 4 | <1,17 | 4 | < 0,45 (0,19 - 0,87) |
| | Pu-238 | 2 | < 0,03 | 2 | < 0,03 | 2 | < 0,08 (< 0,03 - < 0,12) |
| | Pu-(239+240) | 2 | < 0,04 | 4 | < 0,05 | 4 | < 0,04 (< 0,01 - < 0,11) |
| | U-235 | 4 | < 0,03 | 4 | < 0,06 | 4 | < 0,04 (< 0,01 - < 0,07) |
| | U-238 | 4 | 0,24 | 4 | < 0,05 | 4 | < 0,13 (< 0,03 - 0,41) |
| | Am-241 | 4 | < 0,04 | 4 | < 0,04 | 4 | < 0,02 (< 0,01 - < 0,05) |
| | Framatome ANP Karlstein KWU | Cs-137 | 1 | < 0,38 | 2 | < 0,4 * | 2 |
| Pu-238 | | 1 | < 0,094 | 2 | < 0,06* | 2 | b < 0,02; < 0,07 * |
| Pu-(239+240) | | 1 | < 0,1 | 2 | < 0,09* | 2 | b < 0,02; < 0,11 * |
| U-235 | | 1 | < 0,053 | 2 | < 0,04* | 2 | b < 0,03; < 0,05 * |
| U-238 | | 1 | 0,039 | 2 | < 0,06* | 2 | b 0,01; 0,4 * |
| Am-241 | | 1 | < 0,016 | 2 | < 0,05* | 2 | b < 0,01; < 0,05 * |
| SBWK Karlstein | | Gesamt- α | a | | a | | a |
| BERLIN | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | 8 | <2,1 | 8 | < 0,54 | 6 | < 0,5 (< 0,3 - 0,71) |
| | Sr-90 | 1 | 0,15 | | | 1 | 0,63 |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | 8 | 3,5 | 8 | 1,09 * | 8 | 1,26 (0,09 - 3,5) |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 10 | <0,4 | 10 | < 0,28* | 10 | < 0,20 (< 0,1 - 0,42) |
| Nuklearbetriebe Hanau ^e | Gesamt- α Asche | 4 | < 160 | a | | a | |
| | Rest- β Asche | a | | a | | a | |
| | Pu-(239+240) Asche | 1 | < 0,1 | a | | a | |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | 8 | <2,2 | 10 | < 0,29 | 8 | < 0,25(< 0,08 -0,74) |
| Zwischenlager Nord | Cs-137 | 24 | <0,8 | 18 | < 0,32* | 12 | 0,20 (0,06 - 0,45) |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | 14 | <0,8 | 8 | < 0,12 | 8 | < 0,41(< 0,05 - 2,0) |
| KKU Unterweser | Cs-137 | 12 | <0,9 | 12 | < 0,11 | 12 | < 1,3 (0,07 - 4,7) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 10 | < 1,1 | 10 | < 0,53 | 10 | < 0,25(< 0,16-< 0,35) |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | Aktivität in Bq/kg FM | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|------------|------|-------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| Zwischenlager Grohnde | Cs-137 | 10 | d < 2,6 | 1 | 1,88 | 1 | < 0,24 |
| KKE Emsland | Cs-137 | 10 | < 1,2 | 10 | 0,58 | 10 | < 0,66 (0,20 - 1,5) |
| Zwischenlager Lingen | Cs-137 | 8 | d < 2,8 | a | a | a | |
| Zwischenlager Gorleben | Cs-137 | 20 | < 9,2 | 20 | < 2,36 | 20 | < 5,93 (< 0,31 - 31,0) |
| | Sr-90 | 4 | 7,7 | 4 | 2,21 | 4 | 2,9 (1,1 - 6,8) |
| FMRB Braunschweig | Cs-137 | 2 | 1,1 | a | | a | |
| Schacht Konrad II c | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| | Gesamt- α | a | | a | | a | |
| Advanced Nuclear Fuels Lingen | Cs-137 | 4 | 0,9 | 4 | < 1,03 | a | |
| | Pu-238 d | 1 | < 0,01 | 1 | < 0,0011 | a | |
| | Pu-(239+240) d | 1 | < 0,01 | 1 | < 0,0011 | a | |
| | U-234 d | 2 | b 0,028; 0,085 | 6 | 0,046 | 1 | 2,1* |
| | U-234 | 4 | 0,44 | | | | |
| | U-235 d | 2 | b 0,002; < 0,012 | 6 | < 0,004 | 1 | < 5,4* |
| | U-235 | 4 | < 0,03 | | | | |
| | U-238 d | 2 | b 0,028; 0,067 | 6 | 0,046 | 1 | 2,3* |
| | U-238 | 4 | 0,44 | | | | |
| Forschungsbergwerk Asse | Cs-137 | 4 | < 0,2 | 2 | < 0,22 | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 8 | < 0,3 | 9 | < 0,63 | 10 | < 0,23* (0,03 - 0,06) |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KWW Würgassen | Cs-137 | 10 | < 0,5 | 10 | < 0,14 * | 12 | < 0,3* (0,07 - 0,78) |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| THTR Uentrop | Cs-137 | 8 | < 1,0 | 8 | < 0,49* | 8 | < 0,76* (0,5 - 2,66) |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| Zwischenlager Ahaus | Cs-137 | 9 | < 1,6 | 10 | 0,28 * | 11 | 0,21* (0,04 - 0,44) |
| | Sr-90 | 8 | 1,0 | 9 | 0,32* | 10 | 0,33* (0,03 - 0,65) |
| UAG Gronau | U-238 | 6 | < 0,4 | 5 | < 0,4 | 4 | < 0,3* (< 0,3 - < 0,3) |
| | Uran | 12 | < 0,39 | 12 | < 0,19* | 12 | < 0,16* (0,05 - < 0,23) |
| | Fluor (mg/kg TM) | 12 | < 1,8 | 12 | < 2,0 | 12 | < 1,6 (< 1,5 - 2,3) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 4 | < 0,5 | 4 | < 0,37 | 4 | < 0,17 (< 0,08 - 0,24) |
| SACHSEN | | | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | 16 | < 1,5 | 16 | < 0,24* | 16 | < 0,27* (0,05 - 0,7) |

| LAND / Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg TM | | Aktivität in Bq/kg FM | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|-----------------------|------------|------|-----------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 8 | < 0,6 | 8 | < 0,3 | a | |
| | Gesamt-β | 4 | 1150 | 4 | 270 | a | |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | | | |
| GKSS Geesthacht | Cs-137 | 4 | 1,0 | 8 | < 0,25 | 8 | < 0,38 (0,19 - 0,58) |
| KKB Brunsbüttel | Cs-137 | 4 | < 0,2 | 8 | < 0,08 | 8 | < 0,13 (0,06 - 0,24) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| KKK Krümmel | Cs-137 | 4 | 0,6 | 8 | < 0,12 | 8 | 0,26 (0,03 - 0,78) |
| | Sr-90 | 3 | 2,2 | 6 | 0,43 | 6 | 0,49 (0,38 - 0,56) |
| KBR Brokdorf | Cs-137 | 6 | 0,9 | 14 | < 0,17 | 14 | < 0,27 (<0,08 - 0,57) |
| | Sr-90 | a | | a | | | |

- a Messwerte lagen nicht vor
- b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte
- c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme.
- d Bq/kg Feuchtmasse (FM)
- e Die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe Hanau wurden im Laufe des Jahres 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen
- * In Bq/kg TM angegebene Messwerte wurden mit dem Faktor 0,2 in Bq/kg FM umgerechnet. Nachweisgrenzen wurden nicht umgerechnet

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

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

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

Die von den amtlichen Messstellen der Länder im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz im Jahr 2007 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.1-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Cs-137, Sr-90 und Tritium.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 45 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 liegen ausschließlich unterhalb der bei den Messungen ermittelten Nachweisgrenzen (NWG) von 0,78 mBq/l bis 19 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte liegt bei <5,9 mBq/l (2006: <4,5 mBq/l, einziger Messwert 2006: 4,0 mBq/l).

In 59% der gemessenen Proben konnte Sr-90 mit Aktivitätskonzentrationen von 0,21 mBq/l bis 27 mBq/l (2006: 0,33 bis 24 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 2,0 mBq/l (2006: <1,4 mBq/l).

In fünf Proben wurde Tritium mit Werten von 1,2 Bq/l bis 1,6 Bq/l bestimmt, die gefundenen Nachweisgrenzen liegen zwischen 1,5 Bq/l und 10 Bq/l. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die derzeitige Tritiumkonzentration im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegt (Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim).

Trinkwasser

Die Überwachung von Roh- und Reinwässern wurde an 76 bzw. 79 Probenentnahmestellen vorgenommen.

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

Für Cs-137 liegen fast alle Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,27 mBq/l bis 85 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen bei 4,2 und 8,0 mBq/l (2006: 42 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <7,3 mBq/l (2006: <6,3 mBq/l).

In 40% der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,80 mBq/l und 8,0 mBq/l (2006: 0,85 und 11 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 3,4 mBq/l (2006: 4,0 mBq/l). Diese Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss auf Oberflächenwässer, oberflächennahe Grundwässer und damit auch auf die Trinkwässer.

Im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser wurden auch alpha-spektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die Messwerte für die Uranisotope liegen in dem für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bekannten Schwankungsbereich von bis zu 0,2 Bq/l. Konzentrationen von Plutoniumisotopen konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition sehr gering. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 und Sr-90 von jeweils 8 mBq/l zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 700 Liter für den Erwachsenen (Alter über 17 Jahre) Ingestionsdosen von 0,000073 bzw. 0,000157 (2006: 0,00038 bzw. 0,00021) Millisievert pro Jahr, bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserverzehr von 340 Liter für den Säugling (0 bis 1 Jahr) von 0,000057 bzw. 0,00063 Millisievert pro Jahr.

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

| | Nuklid | 2007 | | | | | | 2006 |
|----------------------------|--------|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---|---------|----------|
| | | Anzahl gesamt | Anzahl <NWG | Minimal- wert ^a | Maximal- wert ^a | Mittel- einzel- wert ^a | Median | Median |
| Grundwasser (mBq/l) | | | | | | | | |
| | K-40 | 88 | 43 | 30 | 830 | 240 | < 150 | 120 |
| | Cs-137 | 88 | 88 | | | | < 5,9 | < 4,5 |
| | Sr-90 | 46 | 27 | 0,21 | 27 | | 2,0 | < 1,4 |
| | H-3 | 49 | 44 | 1.200 | 1.600 | | < 3.700 | < 1.900 |
| Trinkwasser (mBq/l) | | | | | | | | |
| Rohwasser | K-40 | 93 | 49 | 29 | 350 | | 150 | < 130 |
| | Cs-137 | 97 | 93 | 2,4 | 3,3 | | < 5,7 | < 5,9 |
| | Sr-90 | 46 | 18 | 0,055 | 9,0 | 4,0 | < 3,5 | 4,0 |
| | H-3 | 36 | 27 | 470 | 7.400 | | 4.500 | < 10.000 |
| Reinwasser | K-40 | 232 | 138 | 14 | 1.300 | | < 140 | 140 |
| | Cs-137 | 231 | 229 | 4,2 | 8,0 | | < 7,3 | < 6,3 |
| | Sr-90 | 72 | 29 | 0,80 | 8,0 | 3,6 | < 3,4 | 4,0 |
| | H-3 | 55 | 49 | 520 | 6.200 | | < 4.000 | < 2.100 |

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

2.4.2 Grundwasser und Trinkwasser in der Umgebung 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 2007 ermittelten Messwerte sind in Tabelle 2.4.2-1 zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Co-60, K-40, Cs-137, Sr-90 und Tritium, sowie - wenn vorhanden - Rest-Beta- und Gesamt-Alpha-Aktivität.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 129 Grundwassermessstellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen sechs Messwerte über den angegebenen Nachweisgrenzen von 0,36 mBq/l bis 62 mBq/l (2006: 0,37 bis 63 mBq/l). Die Messwerte reichen von 0,70 mBq/l bis 34 mBq/l, der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <20 mBq/l (2006: <21 mBq/l).

Die Werte für die Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (75% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 2,1 mBq/l und 70 mBq/l (2006: 2,5 bis 13 mBq/l). Der Median liegt bei 2,9 mBq/l (2006: 4,6 mBq/l).

Die Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,010 Bq/l und 0,073 Bq/l (2006: 0,024 bis 0,048 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von <0,070 Bq/l (2006: <0,070 Bq/l).

Die Rest-Beta-Aktivitätskonzentrationen wurden in 24 Proben gemessen. Alle Werte lagen unter den gefundenen Nachweisgrenzen (2006: 0,043 bis 0,088 Bq/l). Der Median aller Werte beträgt <0,13 Bq/l (2006: <0,10 Bq/l).

In 17% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 1,1 Bq/l bis 280 Bq/l nachgewiesen (2006: 0,92 Bq/l bis 170 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei <7,4 Bq/l (2006: <7,3 Bq/l). Einzelwerte liegen teilweise deutlich über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag in der Größenordnung zwischen 1 Bq/l und 2 Bq/l.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen bis 280 Bq/l (2006: 170 Bq/l) wurden an einer Probenentnahmestelle auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich gemessen. Auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf traten Maximalwerte bis zu 34 Bq/l auf. Bei diesen Stichproben wurden auch Co-60-Kontaminationen von bis zu 0,096 Bq/l (2006: 0,066 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Aktivitätskonzentrationen 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.

Trinkwasser

Im Jahr 2007 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Schachtanlage Asse miteinander gerechnet) Messwerte von 40 Rohwasser- und 24 Reinwasser-Entnahmestellen beprobt.

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

Für Cs-137 wurden keine Messwerte oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,20 mBq/l bis 69 mBq/l (2006: keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <9,9 mBq/l (2006: <11 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Sr-90 liegen zwischen 0,30 mBq/l und 6,3 mBq/l (2006: 0,36 bis 4,2 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 4,7 mBq/l (2006: 4,2 mBq/l).

In 5 von 74 gemessenen Proben wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 1,3 Bq/l und 59 Bq/l (2006: 6,1 bis 62 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <5,7 Bq/l (2006: <6,4 Bq/l). Die über den derzeitigen Aktivitätskonzentrationen im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zurückzuführen, das durch H-3-Emissionen kerntechnischer Anlagen geringfügig beeinflusst ist. Alle H-3-Werte oberhalb 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weist 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.

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachtanlage Asse festgestellten Radionuklide im Rohwasser (zur Trinkwassergewinnung) sind natürlichen Ursprungs oder im Fall von Sr-90 eine Folge des globalen Fallouts der oberirdischen Kernwaffenversuche.

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

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

| | Nuklid | 2007 | | | | | | 2006 |
|---------------------------|---------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|---------|
| | | Anzahl gesamt ^a | Anzahl <NWG | Minimal- wert ^b | Maximal- wert ^b | Mittel- wert ^b | Median | Median |
| Grundwasser (Bq/l) | | | | | | | | |
| | K-40 | 156 | 98 | 0,015 | 55 | | < 0,43 | < 0,46 |
| | Co-60 | 388 | 381 | 0,029 | 0,096 | | < 0,030 | < 0,031 |
| | Cs-137 | 223 | 217 | 0,0007 | 0,034 | | < 0,020 | < 0,021 |
| | H-3 | 406 | 338 | 1,1 | 280 | | < 7,0 | < 7,3 |
| | Sr-90 | 20 | 5 | 0,0021 | 0,070 | 0,0088 | 0,0029 | 0,0046 |
| | R-Beta | 24 | 24 | | | | < 0,13 | < 0,1 |
| | G-Alpha | 43 | 35 | 0,010 | 0,073 | | < 0,070 | 0,07 |
| Trinkwasser (Bq/l) | | | | | | | | |
| Rohwasser | K-40 | 82 | 51 | 0,021 | 0,95 | | <0,19 | < 0,42 |
| | Co-60 | 113 | 113 | | | | <0,015 | < 0,022 |
| | Cs-137 | 101 | 101 | | | | <0,012 | < 0,018 |
| | H-3 | 123 | 101 | 1,1 | 9,6 | | <4,7 | < 5,0 |
| | Sr-90 | 31 | 17 | 0,00027 | 0,10 | | 0,0023 | < 0,02 |
| | G-Alpha | 6 | 0 | 0,014 | 0,047 | 0,030 | 0,027 | 0,028 |
| Reinwasser | K-40 | 60 | 47 | 0,045 | 0,63 | | < 0,15 | < 0,18 |
| | Co-60 | 66 | 66 | | | | < 0,012 | < 0,013 |
| | Cs-137 | 66 | 66 | | | | < 0,011 | < 0,011 |
| | H-3 | 74 | 69 | 1,3 | 59 | | < 5,7 | < 6,4 |
| | Sr-90 | 16 | 10 | 0,00030 | 0,0063 | | 0,0047 | 0,0042 |

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

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

2.4.3 Milch und Milchprodukte
(Milk and milk products)

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cs-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2006 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In Tabelle 2.4.3-1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre dargestellt. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammel tanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen „<“ gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 2.4.3-1 angegeben sind, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt wurden. Abbildung 2.4.3-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2007.

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.

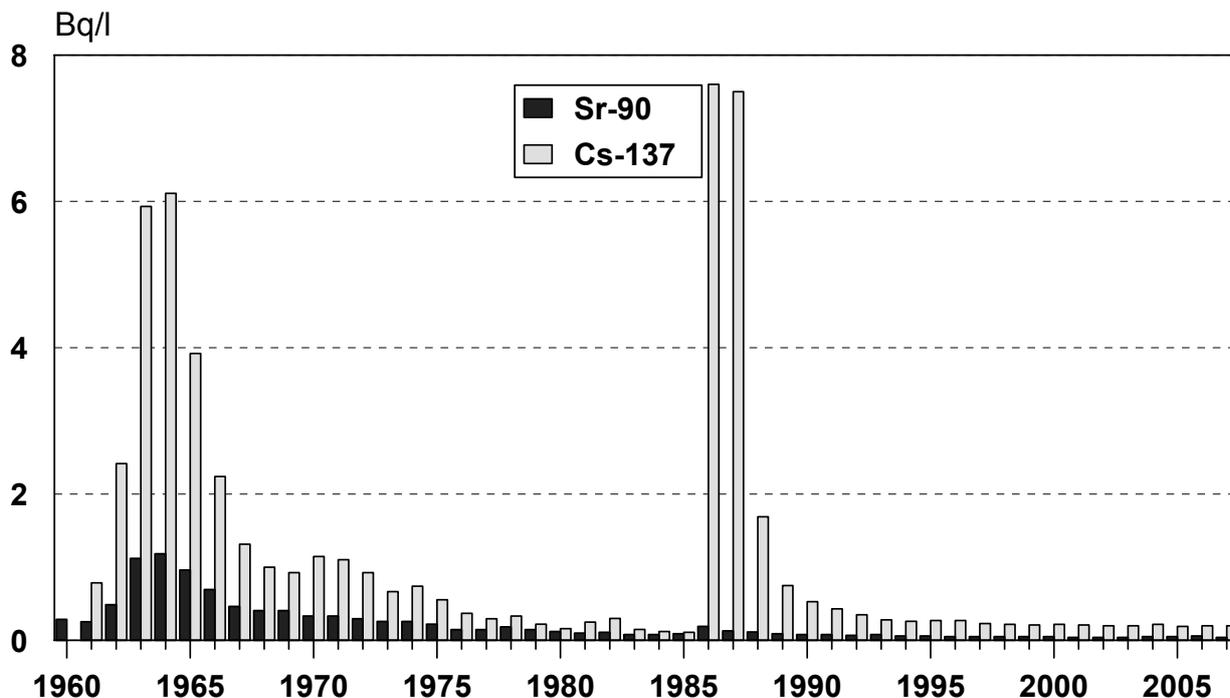


Abbildung 2.4.3-1 Jahresmittelwerte der Sr-90 und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland
(Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)

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 | 2005 | 25 | <0,05 | 79 | <0,13 |
| | 2006 | 32 | 0,05 | 80 | <0,13 |
| | 2007 | 30 | 0,07 (0,02 - 0,16) | 81 | <0,14 (<0,04 - 0,37) |

| Bundesland | Jahr | Sr-90 (Bq/l) | | Cs-137 (Bq/l) | |
|----------------------------|------|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | N | Mittelwert (Bereich) |
| Bayern | 2005 | 87 | 0,11 | 295 | <0,20 |
| | 2006 | 88 | 0,13 | 253 | <0,22 |
| | 2007 | 43 | 0,05 (0,02 - 0,18) | 244 | < 0,20 (0,02 - 056) |
| Berlin | 2005 | 13 | 0,02 | 24 | <0,45 |
| | 2006 | 12 | 0,02 | 29 | <0,90 |
| | 2007 | 12 | 0,02 (0,01 - 0,03) | 25 | < 0,73 (<0,02 - 3,6) |
| Brandenburg | 2005 | 12 | 0,04 | 37 | <0,29 |
| | 2006 | 12 | 0,04 | 36 | <0,28 |
| | 2007 | 16 | 0,03 (0,02 - 0,04) | 53 | < 0,24 (< 0,08 - 0,5) |
| Bremen | 2005 | 12 | <0,02 | 12 | <0,33 |
| | 2006 | 12 | <0,02 | 12 | 0,58 |
| | 2007 | 12 | 0,02 (0,01 - 0,04) | 12 | 0,69 (0,26 - 1,29) |
| Hamburg | 2005 | 12 | 0,02 | 12 | <0,15 |
| | 2006 | 12 | 0,07 | 12 | <0,14 |
| | 2007 | 12 | 0,02 (0,01 - 0,03) | 12 | < 0,16 (<0,09 - <0,18) |
| Hessen | 2005 | 17 | 0,04 | 40 | <0,09 |
| | 2006 | 20 | 0,07 | 43 | <0,07 |
| | 2007 | 19 | 0,05 (0,02 - 0,11) | 43 | < 0,07 (0,02 - <0,15) |
| Mecklenburg- Vorpommern | 2005 | 26 | 0,03 | 50 | <0,14 |
| | 2006 | 24 | 0,03 | 48 | <0,18 |
| | 2007 | 13 | 0,03 (0,01 - 0,08) | 52 | < 0,19 (0,04 - 1,87) |
| Niedersachsen | 2005 | 81 | 0,04 | 213 | <0,24 |
| | 2006 | 91 | 0,04 | 213 | <0,25 |
| | 2007 | 61 | 0,03 (0,02 - 0,05) | 209 | < 0,25 (< 0,06 - 1,1) |
| Nordrhein-Westfalen | 2005 | 41 | 0,04 | 132 | <0,11 |
| | 2006 | 44 | 0,05 | 135 | <0,11 |
| | 2007 | 29 | 0,04 (0,01 - 0,13) | 112 | < 0,12 (< 0,03 - 0,34) |
| Rheinland-Pfalz | 2005 | 17 | 0,04 | 34 | <0,07 |
| | 2006 | 21 | 0,04 | 36 | <0,08 |
| | 2007 | 22 | 0,04 (0,03 - 0,05) | 38 | < 0,06 (0,02 - < 0,13) |
| Saarland | 2005 | 12 | <0,05 | 12 | <0,20 |
| | 2006 | 12 | <0,05 | 12 | <0,20 |
| | 2007 | 12 | < 0,03 (< 0,02 - 0,07) | 15 | < 0,19 (< 0,19 - < 0,2) |
| Sachsen | 2005 | 12 | 0,03 | 24 | <0,09 |
| | 2006 | 12 | 0,03 | 24 | <0,08 |
| | 2007 | 12 | 0,03 (0,02 - 0,04) | 56 | < 0,09 (0,04 - < 0,45) |

| Bundesland | Jahr | Sr-90 (Bq/l) | | Cs-137 (Bq/l) | |
|----------------------------|------|--------------|----------------------|---------------|-----------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | N | Mittelwert (Bereich) |
| Sachsen-Anhalt | 2005 | 12 | <0,02 | 36 | <0,44 |
| | 2006 | 12 | <0,02 | 36 | <0,21 |
| | 2007 | 12 | <0,02 (<0,02 - 0,04) | 72 | <0,37 (<0,09 - 4,36) |
| Schleswig-Holstein | 2005 | 32 | 0,05 | 96 | <0,14 |
| | 2006 | 34 | 0,04 | 94 | <0,12 |
| | 2007 | 22 | 0,04 (0,02 - 0,06) | 94 | <0,13 (<0,05 - 0,54) |
| Thüringen | 2005 | 16 | 0,02 | 33 | <0,09 |
| | 2006 | 16 | 0,02 | 28 | <0,09 |
| | 2007 | 12 | 0,02 (0,01 - 0,02) | 36 | <0,10 (<0,08 - <0,11) |
| Bundesrepublik (gesamt) | 2005 | 427 | <0,05 | 1129 | <0,19 |
| | 2006 | 454 | <0,06 | 1091 | <0,20 |
| | 2007 | 339 | <0,04 (0,01 - 0,18) | 1154 | <0,20 (<0,01 - 4,36) |

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 | 1154 | <0,31 | <0,01 | 4,36 | <0,01 |
| Milchpulver | 5 | <0,11 | <0,04 | <0,16 | <0,04 |
| Käse | 5 | <0,3 | <0,1 | <0,4 | <0,1 |
| Importe | | | | | |
| Käse | 70 | <0,22 | <0,04 | 1,09 | <0,04 |
| Frischkäse | 5 | <0,12 | <0,08 | <0,29 | <0,1 |
| Schafskäse | 10 | <0,22 | <0,06 | <0,35 | <0,07 |
| Ziegenkäse | 4 | <0,2 | <0,09 | <0,2 | <0,1 |
| Lakenkäse | 5 | <0,2 | <0,06 | <0,2 | <0,08 |

2.4.4 Milch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Milk from the surroundings of nuclear facilities)

Wie bei Boden und Bewuchs ist die Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im Jahre 1986 geprägt. Die aktuellen Aktivitätskonzentrationen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind in Tabelle 2.4.4-1 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit Orten, die nicht in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen, in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

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

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/l | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|------|----------------------|
| | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert (Bereich) | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 2 | <0,05 (<0,05 - <0,05) | 1 | 0,05 |
| | Sr-90 | 2 | 0,03 (0,03 - 0,04) | 1 | 0,02 |
| | I-131 (nur Bereich) | 2 | <0,008 - <0,012 | 1 | <0,008 |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/l | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------|----------------------|-------------------|
| | | 2006 | | | 2007 | | |
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 4 | <0,05 | (< 0,03-0,07) | 4 | <0,05 | (< 0,04 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 4 | 0,02 | (0,01 - 0,02) | 4 | 0,02 | (0,01 - 0,02) |
| | I-131 (nur Bereich) | 10 | | < 0,006 - < 0,01 | 10 | | < 0,007 - < 0,009 |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 4 | <0,05 | (< 0,04-< 0,06) | 4 | <0,04 | (0,03 - < 0,05) |
| | Sr-90 | 4 | 0,02 | (0,01 - 0,03) | 4 | 0,02 | (0,02 - 0,03) |
| | I-131 (nur Bereich) | 10 | | < 0,005 - < 0,009 | 10 | | < 0,007 - < 0,009 |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 4 | < 0,04 | (< 0,02 - 0,05) | 3 | <0,04 | (< 0,02 - 0,09) |
| | Sr-90 | 4 | 0,02 | (0,02 - 0,02) | 3 | 0,02 | (0,009 - 0,03) |
| | I-131 (nur Bereich) | 11 | | < 0,007 - < 0,012 | 10 | | < 0,005 - < 0,011 |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 9 | <0,05 | (< 0,03 - 0,08) | 8 | <0,05 | (0,02 - < 0,10) |
| | Sr-90 | 5 | 0,03 | (0,02 - 0,04) | 5 | 0,04 | (0,02 - 0,05) |
| | I-131 (nur Bereich) | 11 | | < 0,006 - < 0,011 | 11 | | < 0,005 - < 0,009 |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 8 | <0,04 | (< 0,03 - < 0,08) | 7 | <0,04 | (< 0,03 - < 0,05) |
| | Sr-90 | 4 | 0,02 | (0,01 - 0,03) | 4 | 0,05 | (0,02 - 0,12) |
| | I-131 (nur Bereich) | 10 | | < 0,004 - < 0,012 | 10 | | < 0,005 - < 0,009 |
| BAYERN | | | | | | | |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 4 | 0,04 | (0,02 - 0,1) | 6 | 0,03 | (0,01 - 0,03) |
| | Sr-90 | 4 | <0,01 | (< 0,01 - 0,02) | 6 | 0,01 | (< 0,01 - 0,01) |
| | I-131 (nur Bereich) | 15 | | < 0,003 - < 0,01 | 18 | | < 0,008 - < 0,01 |
| KKI Isar | Cs-137 | 6 | 0,07 | (0,04 - 0,13) | 4 | 0,07 | (0,03 - 0,1) |
| | Sr-90 | 6 | <0,01 | (< 0,01 - < 0,02) | 4 | < 0,01 | (< 0,01 - < 0,01) |
| | I-131 (nur Bereich) | 16 | | < 0,006 - < 0,01 | 12 | | < 0,009 - < 0,01 |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 6 | < 0,08 | (< 0,05 - < 0,13) | 6 | <0,15 | (< 0,04 - < 0,22) |
| | Sr-90 | 6 | <0,03 | (< 0,01 - 0,05) | 6 | < 0,01 | (< 0,01 - < 0,02) |
| | I-131 (nur Bereich) | 18 | | < 0,003 - < 0,01 | 18 | | < 0,004 - < 0,01 |
| FRM II | Cs-137 | 2 | 0,13 | (0,1 - 0,16) | 2 | <0,08 | (0,08 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 2 | <0,02 | (< 0,2 - 0,2) | 2 | < 0,02 | (0,01 - < 0,02) |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | 4 | <0,08 | (< 0,07 - < 0,09) | 4 | <0,10 | (< 0,09 - < 0,13) |
| | Sr-90 | 4 | 0,03 | (0,02 - 0,03) | 4 | 0,02 | (0,02 - 0,02) |
| | I-131 (nur Bereich) | a | | | a | | |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 10 | < 0,07 | (< 0,02 - < 0,16) | 10 | <0,05 | (< 0,01 - < 0,12) |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/l | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------|----------------------|-------------------|
| | | 2006 | | | 2007 | | |
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| | Sr-90 | 7 | 0,02 | (0,008 - 0,05) | 10 | 0,02 | (0,003 - 0,01) |
| | I-131 (nur Bereich) | 25 | < 0,004 - < 0,01 | | 30 | < 0,004 - < 0,011 | |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | 2 | < 0,16 | (< 0,10 - 0,22) | 4 | < 0,13 | (< 0,08 - 0,22) |
| | Sr-90 | 2 | 0,02 | (0,02 - 0,02) | 4 | < 0,02 | (0,009 - < 0,02) |
| | I-131 (nur Bereich) | a | | | a | | |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | a | | | a | | |
| | Sr-90 | a | | | a | | |
| | I-131 (nur Bereich) | a | | | a | | |
| KKU Unterweser | Cs-137 | 4 | < 0,07 | (< 0,04 - 0,12) | 4 | < 0,07 | (< 0,06 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 4 | 0,05 | (0,04 - 0,6) | 4 | 0,04 | (0,02 - 0,05) |
| | I-131 (nur Bereich) | 12 | < 0,005 - < 0,09 | | 12 | < 0,006 - < 0,025 | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 4 | < 0,07 | (< 0,06 - < 0,07) | 4 | < 0,06 | (0,03 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 4 | 0,03 | (0,02 - 0,06) | 4 | 0,03 | (0,02 - 0,04) |
| | I-131 (nur Bereich) | 12 | < 0,003 - < 0,011 | | 12 | < 0,004 - < 0,017 | |
| KKE Emsland | Cs-137 | 4 | < 0,08 | (0,06 - 0,12) | 4 | < 0,08 | (0,06 - 0,11) |
| | Sr-90 | 4 | 0,03 | (0,03 - 0,04) | 4 | 0,03 | (0,02 - 0,03) |
| | I-131 (nur Bereich) | 11 | < 0,004 - < 0,026 | | 12 | < 0,004 - < 0,012 | |
| Zwischenlager Gorleben | Cs-137 | 23 | 0,46 | (0,09 - 1,0) | 24 | 0,34 | (0,11 - 0,67) |
| | Sr-90 | 11 | 0,05 | (0,03 - 0,08) | 12 | 0,04 | (0,02 - 0,06) |
| Schacht Konrad II b | Cs-137 | a | | | a | | |
| | Sr-90 | a | | | a | | |
| | I-131 (nur Bereich) | a | | | a | | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 4 | < 0,2 | (< 0,1 - < 0,2) | 4 | < 0,04 | (< 0,04 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 4 | 0,03 | (0,02 - 0,03) | 4 | 0,03 | (0,03 - 0,04) |
| | I-131 (nur Bereich) | 38 | < 0,006 - < 0,01 | | 38 | < 0,004 - < 0,01 | |
| KWW Würgassen | Cs-137 | a | | | a | | |
| | Sr-90 | a | | | a | | |
| THTR Uentrop | Cs-137 | a | | | a | | |
| | Sr-90 | a | | | a | | |
| UAG Gronau | Uran (Bq/l) | 10 | < 0,23 | (< 0,23 - < 0,23) | 12 | < 0,23 | (< 0,23 - < 0,23) |
| | Fluor (mq/l) | 10 | < 0,42 | (< 0,42 - < 0,42) | 12 | < 0,42 | (< 0,42 - < 0,42) |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/l | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|------|--------------------------|
| | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert (Bereich) | N | Mittelwert (Bereich) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 4 | < 0,10 (< 0,08 - < 0,11) | 2 | < 0,08 (< 0,08 - 0,08) |
| | Sr-90 | a | | a | |
| | I-131 (nur Bereich) | a | | a | |
| SACHSEN | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | 3 | < 0,06 (< 0,06 - 0,07) | 2 | < 0,05 (0,07 - < 0,94) |
| | Sr-90 | 1 | 0,04 | 1 | 0,03 |
| | I-131 (nur Bereich) | 2 | < 0,05 - < 0,05 | 2 | < 0,08 - < 0,08 |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 4 | < 0,24 (< 0,1 - 0,43) | a | |
| | Sr-90 | a | | a | |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | |
| GKSS Geesthacht | Cs-137 | 4 | < 0,09 (< 0,07 - < 0,14) | 4 | < 0,14 (< 0,12 - 0,16) |
| | Sr-90 | 4 | 0,04 (0,02 - 0,05) | 4 | 0,04 (0,04 - 0,06) |
| | I-131 (nur Bereich) | 12 | < 0,006 - < 0,009 | 12 | < 0,007 - < 0,01 |
| KKB Brunsbüttel | Cs-137 | 4 | 0,06 (0,02 - 0,09) | 4 | < 0,08 (< 0,05 - 0,12) |
| | Sr-90 | 4 | 0,04 (0,03 - 0,05) | 4 | 0,03 (0,03 - 0,04) |
| | I-131 (nur Bereich) | 32 | < 0,008 - < 0,01 | 32 | < 0,007 - < 0,01 |
| KKK Krümmel | Cs-137 | 8 | 0,08 (0,04 - 0,17) | 8 | < 0,09 (0,03 - 0,23) |
| | Sr-90 | 8 | 0,03 (0,01 - 0,06) | 8 | 0,03 (0,02 - 0,06) |
| | I-131 (nur Bereich) | 23 | < 0,006 - < 0,01 | 24 | < 0,007 - < 0,01 |
| KBR Brokdorf | Cs-137 | 8 | < 0,04 (0,02 - 0,08) | 8 | < 0,07 (< 0,03 - < 0,13) |
| | Sr-90 | 8 | 0,03 (0,03 - 0,04) | 8 | 0,03 (0,02 - 0,07) |
| | I-131 (nur Bereich) | 24 | < 0,007 - < 0,01 | 24 | < 0,007 - < 0,01 |

a Messwerte liegen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

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 2007 dargestellt. Bei der Auswertung der Daten wird im Allgemeinen nicht zwischen Fischarten unterschieden. Die Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich, wo es nicht ausdrücklich angeführt wird, immer auf die Feuchtmasse (FM). Soweit nicht anders ausgewiesen, werden bei Fischen, Krusten- und Schalentieren die Aktivitätswerte im Fleisch bestimmt. Die statistische Auswertung wird nach dem Verfahren nach „Helsel und Cohn“ [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der im Vergleich zur Normalverteilung oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Verteilungen zu Lognormalverteilungen wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet. Die hier angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte. Ermittelte statistische Kennzahlen sind neben den Anzahlen N und nn der Medianwert, minimaler und maximaler Wert.

Für die Auswertung der Daten aus dem Süßwasserbereich nach dem IMIS-Routineprogramm werden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst: Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg zu „Norddeutschland“; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen zu „Mitteldeutschland“, sowie Baden-Württemberg und Bayern zu „Süddeutschland“. Für diese Regionen wurden, aufgeteilt nach Gewässertypen, statistische Auswertungen der jährlich zusammengefassten Werte der spezifischen Aktivität von Cs-137 und Sr-90 durchgeführt.

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Binnenseen Nord- und Süddeutschlands (Abbildung 2.4.5-1) waren 2007 nur noch etwa eine halbe Größenordnung höher als die aus Fischteichen und aus Fließgewässern (Tabelle 2.4.5-1).

Tabelle 2.4.5-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2007)
(*Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2007*)

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

| Gewässer | Region | 2007 | | | | | 2006 |
|------------------------------|-------------------|---|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| | | spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
| Binnenseen | Süddeutschland | 30 | 2 | 0,11 | 68 | 0,86 | 0,74 |
| | Mitteldeutschland | 12 | 3 | < 0,14 | 190 | 13 | 0,15 |
| | Norddeutschland | 49 | 3 | < 0,13 | 36 | 1,9 | 2,2 |
| Fischteiche | Süddeutschland | 25 | 4 | 0,096 | 1,3 | 0,22 | 0,17 |
| | Mitteldeutschland | 26 | 6 | 0,068 | 1,2 | 0,17 | 0,13 |
| | Norddeutschland | 11 | 3 | < 0,1 | 0,89 | 0,27 | 0,63 |
| Fließgewässer | Süddeutschland | 9 | 4 | < 0,1 | 0,49 | 0,14 | 0,12 |
| | Mitteldeutschland | 31 | 14 | < 0,1 | 4,7 | 0,18 | 0,11 |
| | Norddeutschland | 7 | 3 | < 0,14 | 0,89 | 0,25 | 0,36 |
| nicht spezifizierte Gewässer | Süddeutschland | 3 | 2 | < 0,2 | 0,13 | < 0,2 | < 0,18 |
| | Mitteldeutschland | 5 | 1 | 0,12 | 1,7 | 0,57 | |
| | Norddeutschland | 0 | 0 | | | | |

Auffällig ist die für die Region „Mitteldeutschland“ berichtete höhere mittlere Cs-137-Aktivität. Die Erhöhung geht auf sieben Messwerte aus dem Arendsee und dem Schollener See in Sachsen-Anhalt zurück. Die höchsten Werte stammen darin von Flußbarschproben (190 Bq/kg: Arendsee; 45 Bq/kg: Schollener See), d. h. von Fischen, deren starke Cs-Anreicherung bekannt ist. Die Cs-137-Werte der anderen Fischproben dieser beiden Seen zeigen ebenfalls erhöhte Werte, die zwischen 7 und 35 Bq/kg liegen. Fischproben aus diesen beiden Seen wurden 2007 zum ersten Mal gemessen und berichtet. Bei diesen Seen ist auch die Cs-137-Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser etwa eine Größenordnung höher als in Seen in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Schleswig-Holstein und Niedersachsen (vgl. Kap. 2.2.2 in [2]). Zum Vergleich sei darauf hingewiesen, dass im Stechlinsee und im Ellbogensee (Brandenburg) in den vergangenen Jahren ähnlich hohe Cs-137-Werte im Fisch beobachtet wurden (siehe Kapitel 2.4.2). Der in Binnenseen Süddeutschlands verzeichnete Maximalwert von 68 Bq/kg geht auf eine Welsprobe aus dem recht kleinen Schreckensee in der Oberpfalz (Baden-Württemberg) zurück, der schon direkt nach dem Tschernobyl-Unfall durch hohe Cs-137-Werte im Fisch auffiel. Zur Bewertung solcher Werte wird die Abschätzung der möglichen Strahlenexposition herangezogen. Bei einem angenommenen Jahresverzehr von 10 kg Fischfleisch mit dem Maximalwert von 190 Bq/kg ergibt sich eine Dosis von 12 µSv/a, was etwa 0,6% der natürlichen Strahlenexposition entspricht.

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abbildung 2.4.5-2), was vermutlich darauf zurückzuführen war, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abbildung 2.4.5-2 und 2.4.5-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2.4.5-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 1999 (vgl. Abbildung 2.4.5-4) Forellen niedriger kontaminiert waren als Karpfen, ab 2000 jedoch ist der Unterschied nicht mehr signifikant.

Tabelle 2.4.5-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2007)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2007)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

| Fisch | 2007 | | | | | 2006 |
|----------|------|----|------------------------------------|-----------|------------|------------|
| | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| | | | spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM | | | |
| Forellen | 43 | 13 | 0,096 | 0,89 | 0,18 | 0,11 |
| Karpfen | 32 | 8 | 0,068 | 1,7 | 0,19 | 0,21 |

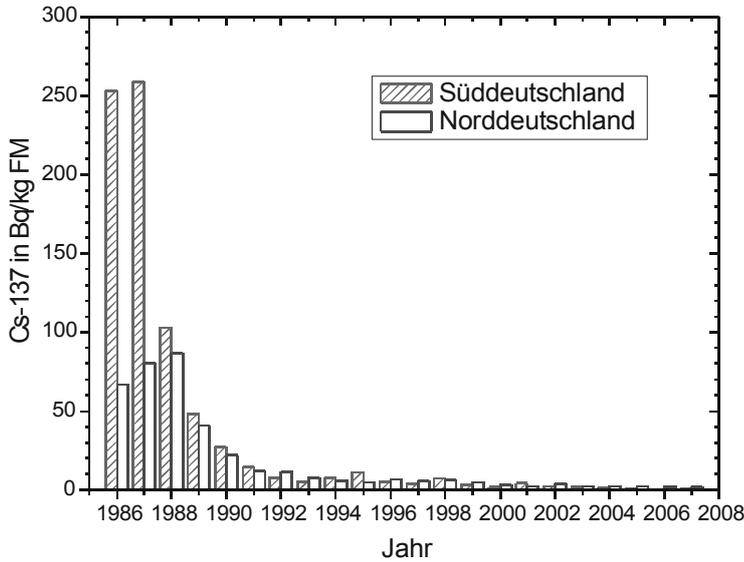


Abbildung 2.4.5-1
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from lakes in Bq/kg WW)

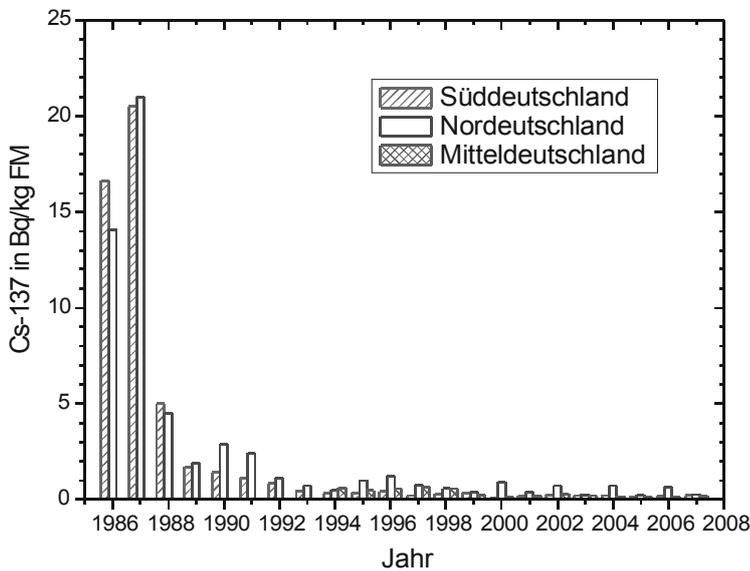


Abbildung 2.4.5-2
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms in Bq/kg WW)

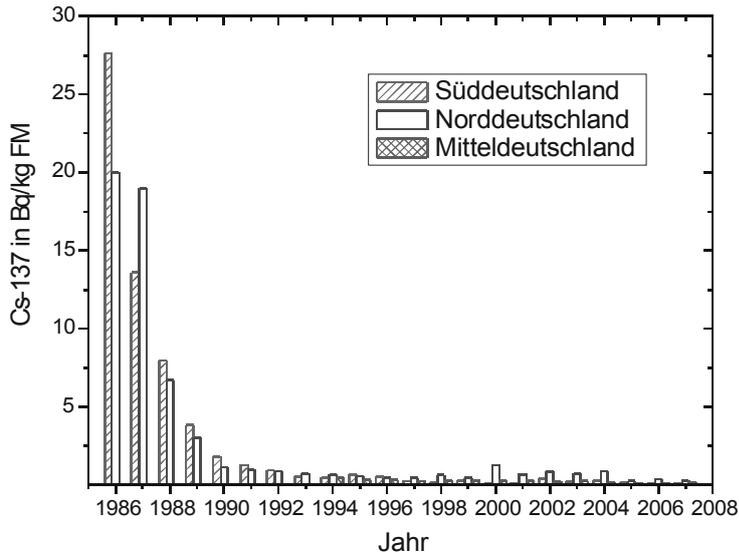


Abbildung 2.4.5-3
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from rivers in Bq/kg WW)

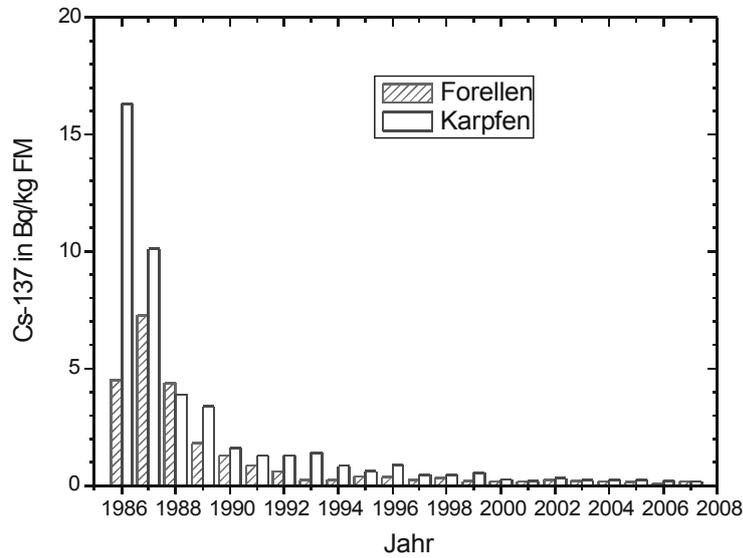


Abbildung 2.4.5-4
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in trout and carp in Bq/kg WW)

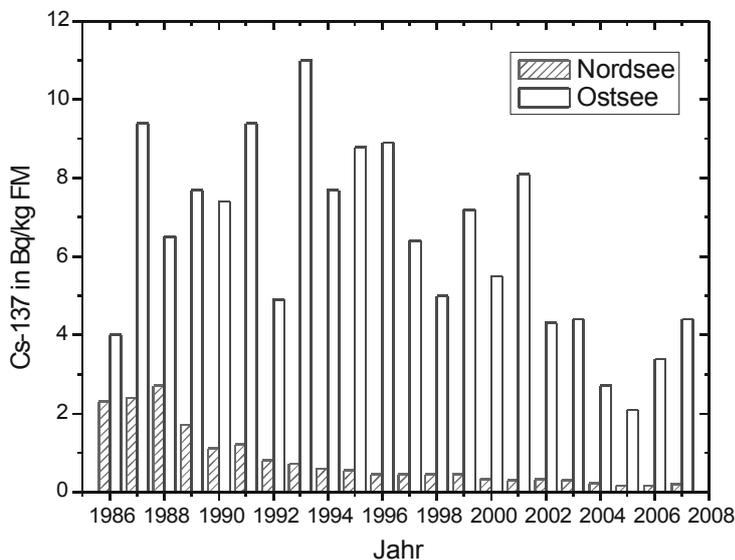


Abbildung 2.4.5-5
Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee in Bq/kg FM
(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas in Bq/kg WW)

In Tabelle 2.4.5-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt. Darin sowie in Abbildung 2.4.5-5 wurden rückwirkend für das Jahr 2006 Werte nachgetragen, in denen die verspätet erfolgten Messungen bei der Leitstelle berücksichtigt wurden. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2007 die Cs-137-Werte nahezu unter dem Maximalwert von 0,6 Bq/kg, im Median bei etwa 0,19 Bq/kg. Darin befindliche drei höhere Werte, zwischen 2,6 und 5,2 Bq/kg FM, sind vermutlich eher der Ostsee bzw. dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee zuzu-rechnen.

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zur mittleren Cs-137-Aktivität schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig die Cs-137-Aktivität im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abbildung 2.4.5-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherer Cs-137-Aktivität aus der östlichen Ostsee von Jahr zu Jahr schwanken kann.

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelen- und Miesmuschel-fleisch wiesen eine mittlere Cs-137-Aktivität von weniger als 0,14 Bq/kg auf; vgl. Tabelle 2.4.5-3. Die meisten der Einzelwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die im Jahr 2007 für Proben aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tabelle 2.4.5-4) lagen bei 0,14 Bq/kg (Süßwasserfisch), 0,11 Bq/kg (Seefisch) und <0,12 Bq/kg (Fischereierzeugnisse); für Krusten- und Schalentiere wurden keine signifikanten Werte gefunden.

Tabelle 2.4.5-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2007)
(*Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2007*)
Messungen der Bundesländer

| Gewässer | Probenart | 2007 | | | | | 2006 |
|------------------------------------|--------------|------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM | | | | | | | |
| Nordsee | Fische | 35 | 9 | 0,053 | 5,2 | 0,19 | 0,15 |
| | Garnelen | 13 | 13 | < 0,12 | < 0,16 | < 0,13 | < 0,15 |
| | Miesmuscheln | 13 | 12 | < 0,11 | 0,20 | < 0,14 | < 0,1 |
| Ostsee | Fische | 31 | 1 | < 0,11 | 14 | 4,4 | 2,4 |

Tabelle 2.4.5-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2007)
(*Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2007*)

| Probenart | 2007 | | | | | 2006 |
|------------------------------------|------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| spez. Cs-137-Aktivität in Bq/kg FM | | | | | | |
| Süßwasserfisch | 30 | 15 | < 0,04 | 5,0 | 0,14 | 0,21 |
| Seefisch | 116 | 50 | 0,046 | 7,7 | 0,11 | 0,10 |
| Krusten- u. Schalentiere | 14 | 14 | < 0,1 | < 0,23 | < 0,15 | < 0,16 |
| Fischereierzeugnisse | 25 | 24 | 0,11 | < 0,13 | < 0,12 | |

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 doppelt so groß war wie bei Fließgewässern bzw. Fischteichen. Die mittleren Sr-90-Werte von Fischen haben sich gegenüber dem Vorjahr nicht signifikant geändert. In der Bewertung ist generell zu beachten, dass schon leichte Änderungen der geringen Haut- bzw. Grätenanteile der analysierten Fischfleischproben eine merkliche Änderung der gemessenen Sr-90-Konzentration bewirken können. Für Fische aus Nord- und Ostsee lagen für 2007 noch keine Ergebnisse von Sr-90-Messungen der Leitstelle vor.

Tabelle 2.4.5-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2007)
(*Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2007*)

Messungen der Bundesländer

| Probenart | Gewässer | 2007 | | | | | 2006 |
|--------------|---------------|------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| | | | | | | | |
| Fisch | Binnenseen | 15 | 2 | 0,010 | 0,39 | 0,019 | 0,054 |
| | Fischteiche | 7 | 2 | < 0,0067 | 0,027 | 0,0096 | 0,032 |
| | Fließgewässer | 8 | 5 | < 0,010 | 0,12 | 0,0086 | 0,0086 |
| Garnelen | Nordsee | 12 | 6 | 0,020 | 0,040 | 0,019 | 0,025 |
| Miesmuscheln | Nordsee | 12 | 7 | 0,016 | 0,029 | 0,017 | 0,019 |

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während der Fahrten mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ genommen. Die gammaspektrometrischen Messungen einiger für das Berichtsjahr 2007 fälligen Proben (Nordsee, Dezember 2007) stehen noch aus. Durch Engpässe im Labor bedingt konnten die entsprechenden radiochemischen Analysen für Plutonium-Isotope und Am-241 noch nicht begonnen werden.

Tabelle 2.4.5-6 zeigt summarisch die Ergebnisse der Messungen der Fischfleisch- und der Gesamtfischproben. Die mittleren Cs-137-Werte der Gesamtfischproben sind erwartungsgemäß niedriger als die der Fischfleischproben, da für Gesamtfischproben nur Fische mit deutlich geringerer Größe als für Fischfleischproben herangezogen wurden und die spezifische Cs-137-Aktivität das Verhalten zeigt, mit abnehmender Körpergröße abzunehmen. Cs-137-Messwerte von Blasentang (*Fucus vesiculosus*) sind ebenfalls mit in die Tabelle aufgenommen.

Tabelle 2.4.5-6 Spezifische Cs-137-Aktivität in Organismen aus der Nordsee und aus der Ostsee (2007)
(*Specific Cs-137 activity in biota from the North Sea and from the Baltic Sea - year 2007*)

Messungen der Leitstelle

| Probenart | Radionuklid | 2007 | | | | | 2006 |
|--|---------------------|------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| | | | | | | | |
| Nordsee: | | | | | | | |
| Fischfleisch-Proben | Cs-137 | 8 | 0 | 0,12 | 0,62 | 0,31 | 0,23 |
| Gesamtfisch-Proben | Cs-137 | 7 | 0 | 0,085 | 0,20 | 0,14 | 0,19 |
| Ostsee: | | | | | | | |
| Fischfleisch-Proben | Cs-137 | 19 | 0 | 1,2 | 14 | 8,7 | 4,9 |
| Gesamtfisch-Proben | Cs-137 | 9 | 0 | 1,1 | 4,7 | 2,9 | 2,7 |
| Blasentang (<i>Fucus vesiculosus</i>) | Cs-137 ¹ | 2 | 0 | 21 | 22 | 22 | 25 |

1 Werte in Bq/kg TM

In der Ostsee ist immer noch eine von der westlichen Ostsee (Kieler Bucht) ostwärts gerichtete Zunahme der Cs-137-Aktivitäten im Fisch zu beobachten. Dies wird deutlich an einer zeit- und gebietsabhängigen Darstellung der Cs-137-Aktivität im Kabeljaufilet (Abbildung 2.4.5-6). Die Lage der sechs verschiedenen Gebiete, aus denen die Fischproben stammen, ist der Abbildung 2.4.5-7 zu entnehmen. Der größte Unterschied besteht zwischen den Gebieten B01 (Kieler Bucht) und dem Gebiet B12 (Mecklenburger Bucht), während ab den Gebieten B11 und B10 (Arkona See) die Zunahme nach Osten nicht mehr so deutlich ist.

Ursache für den Aktivitätsgradienten nach Westen ist der südwestlich gerichtete Transport von durch den Tschernobyl-Unfall höher kontaminierten Wassermassen aus der Bottensee. Ein entsprechender Gradient ist für Cs-137 im Ostseewasser zu beobachten (vgl. Kap. 2.2.1).

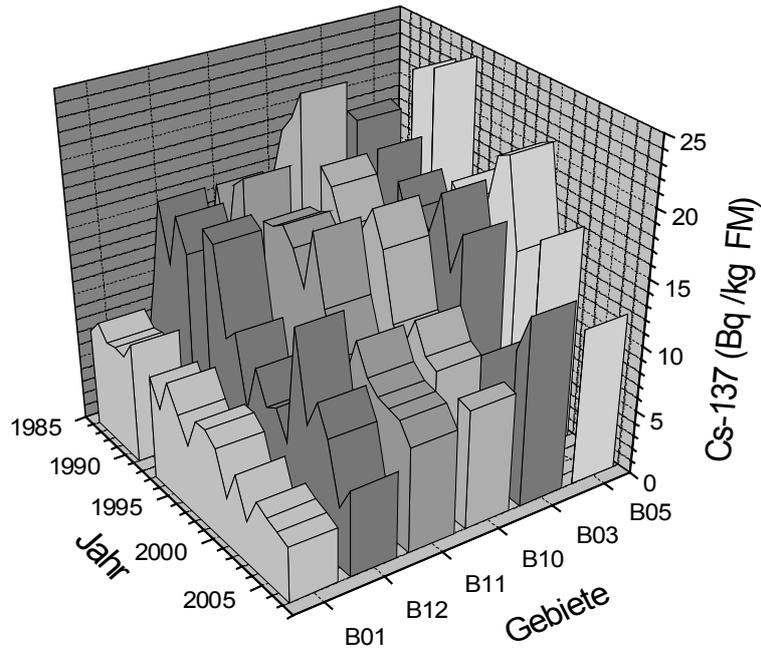


Abbildung 2.4.5-6 Mittlere Cs-137-Aktivitäten in Kabeljaufilet aus der Ostsee in Abhängigkeit von Zeit und Ostsee-Gebieten, Probennahmegebiet siehe Karte Abbildung 2.4.5-7
(Mean Cs-137 activities in Baltic Sea cod fillets dependent on time and Baltic Sea sites, sampling sites see figure 2.4.5-7)

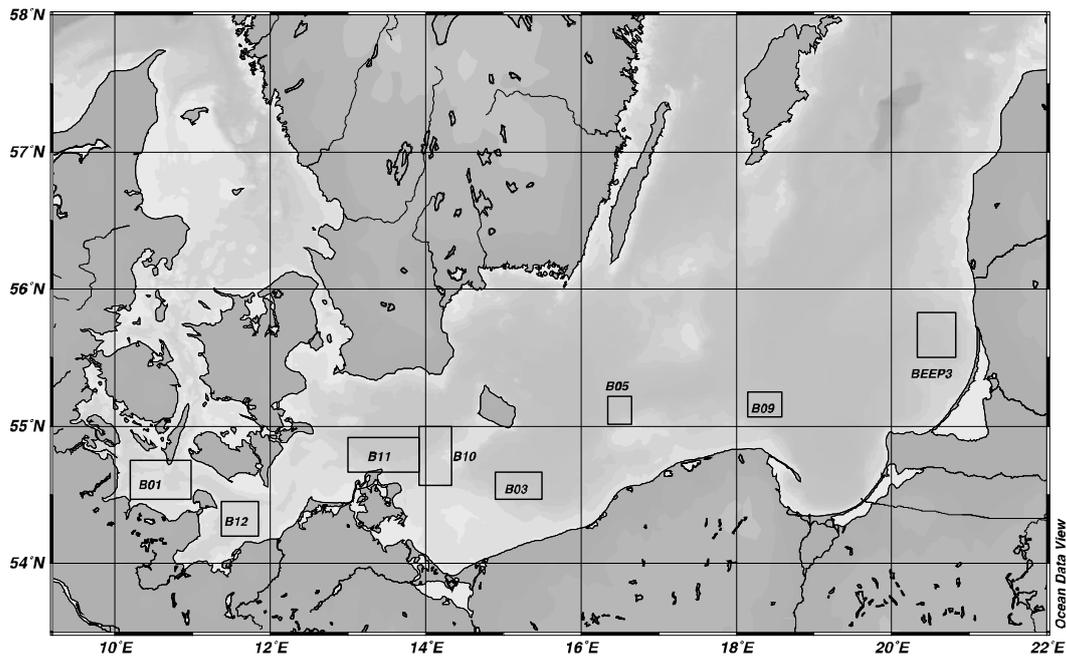


Abbildung 2.4.5-7 Probennahme-Gebiete in der Ostsee
(Sampling sites in the Baltic Sea)

Literatur

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

[2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007: „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. Jahresbericht 2006“.

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

Im Berichtsjahr 2007 wurden für 25 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem Cs-137) an 99 Fischfleischproben und 7 Wasserpflanzenproben gemeldet; Sr-90-Messungen wurden an 14 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 13 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. „Friedfisch“ und „Raubfisch“, 5 marine Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie Fische ohne Artenbezeichnung untersucht wurden. Die Wasserpflanzen wurden nicht spezifiziert. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im vorangehenden Kapitel 2.4.5 beschrieben durchgeführt. Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 2.4.6-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst worden.

Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht aus einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cäsium-Gehalte auf.

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 2007
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2007
- within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG)

| Gewässer | Anlage | Radio-nuklid | 2007 | | | | | 2006 |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|--------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| Fisch (Bq/kg FM) | | | | | | | | |
| Donau | KRB Gundremmingen | Cs-137 | 6 | 2 | < 0,07 | 1,8 | 0,18 | 0,11 |
| Elbe | GKSS Geesthacht | Cs-137 | 6 | 2 | < 0,12 | 0,36 | 0,27 | 0,27 |
| | KKK Krümmel | Cs-137 | 4 | 0 | 0,22 | 0,31 | 0,26 | 0,18 |
| | PKA Gorleben | Cs-137 | 4 | 0 | 0,15 | 0,34 | 0,26 | 0,23 |
| | KKS Stade | Cs-137 | 4 | 0 | 0,087 | 1,3 | 0,78 | 0,34 |
| | KBR Brokdorf | Sr-90 | 6 | 5 | < 0,007 | < 0,015 | < 0,01 | < 0,01 |
| | | | Cs-137 | 6 | 0 | 0,17 | 0,73 | 0,24 |
| | KKB Brunsbüttel | Cs-137 | 6 | 0 | 0,18 | 0,79 | 0,45 | 0,25 |
| Ems | KKE Emsland | Cs-137 | 7 | 0 | 0,27 | 0,72 | 0,42 | 3,9 |
| Greifswalder Bodden | KGR Greifswald | Cs-137 | 4 | 0 | 1,0 | 3,6 | 2,0 | 1,1 |
| Havel (Griebnitzsee) | HMI Berlin | Cs-137 | 1 | 0 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 2,4 |
| Sacrower See | | CS-137 | | | | | | 31 |
| Isar | KKI 1/2 Isar | Cs-137 | 4 | 3 | 0,14 | 0,14 | < 0,15 | < 0,19 |
| | FRM II Garching | Cs-137 | 1 | 0 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,21 |
| Main | KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 4 | 4 | < 0,19 | < 0,21 | < 0,20 | 0,34 |
| | VAK Kahl | Cs-137 | | | | | | 0,20 |
| Neckar | GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 2 | 1 | < 0,078 | 0,21 | 0,07 | < 0,081 |
| | KWO Obrigheim | Cs-137 | 3 | 3 | < 0,08 | < 0,11 | < 0,09 | 0,048 |
| Rhein | KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 2 | 0 | 0,14 | 0,16 | 0,15 | 0,18 |

| Gewässer | Anlage | Radio-nuklid | 2007 | | | | | 2006 | |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------|--------|----|-----------|-----------|------------|------------|-------|
| | | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert | |
| Rur | KWB Biblis | Sr-90 | 8 | 1 | < 0,001 | 0,04 | 0,022 | 0,034 | |
| | | Cs-137 | 8 | 0 | 0,07 | 0,18 | 0,12 | 0,13 | |
| | KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 4 | 1 | 0,07 | 0,11 | 0,076 | 0,10 | |
| | | KKP Philippsburg | Cs-137 | 5 | 1 | 0,07 | 0,14 | 0,078 | 0,098 |
| | FZ Karlsruhe | Cs-137 | 1 | 0 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | |
| | | FZ Jülich | Cs-137 | 1 | 0 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,15 |
| | Stechlinsee | KKR Rheinsberg | Cs-137 | 2 | 0 | 53 | 110 | 82 | 30 |
| | Ellbogensee | KKR Rheinsberg | Cs-137 | 2 | 0 | 6,2 | 9,5 | 7,9 | 5,8 |
| | Weser | KKU Unterweser | Cs-137 | 6 | 0 | 0,12 | 0,25 | 0,16 | 0,26 |
| | | KWG Grohnde | Cs-137 | 6 | 0 | 0,068 | 0,18 | 0,099 | 0,13 |
| Wasserpflanzen (Bq/kg TM) | | | | | | | | | |
| Ahauser Aa | Ahaus | Cs-137 | 1 | 1 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,27 | |
| | | Co-60 | 1 | 0 | < 0,14 | < 0,14 | < 0,14 | < 0,2 | |
| Moorbach | Ahaus | Cs-137 | | | | | | 0,25 | |
| | | Co-60 | 1 | 1 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | | |
| Donau | KRB Gundremmingen | I-131 | 1 | 0 | 13 | 13 | 13 | 1,3 | |
| | | Cs-137 | 2 | 0 | 2,2 | 9,6 | 5,9 | 15 | |
| Isar | FRM II Garching | Cs-137 | | | | | | 8,9 | |
| | | I-131 | 1 | 0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 32 | |
| | | Cs-137 | 1 | 0 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 28 | |
| Main | KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 2 | 2 | < 1,2 | < 1,6 | < 1,4 | 0,72 | |

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 2006
(*Specific activity in fish and aquatic plants (within the framework of ambient surveillance for nuclear facilities): Supplement to 2006*)

| Fluss | Anlage | Radio-nuklid | 2006 | | | | | 2005 |
|-------------------------|----------------|--------------|------|----|-----------|-----------|------------|------------|
| | | | N | nn | min. Wert | max. Wert | Medianwert | Medianwert |
| Fisch (Bq/kg FM) | | | | | | | | |
| Elbe | KKS Stade | Cs-137 | 4 | 0 | 0,24 | 0,67 | 0,34 | 0,39 |
| | PKA Gorleben | Cs-137 | 4 | 0 | 0,17 | 0,29 | 0,23 | 0,19 |
| Ems | KKE Emsland | Cs-137 | 4 | 0 | 0,16 | 16 | 3,9 | 5,0 |
| Isar | Garching | Cs-137 | 1 | 0 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,35 |
| Rhein | KWB Biblis | Cs-137 | 8 | 0 | 0,09 | 0,17 | 0,13 | |
| | FZ Karlsruhe | Cs-137 | 1 | 1 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | |
| Weser | KKU Unterweser | Cs-137 | 6 | 0 | 0,20 | 0,37 | 0,26 | 0,27 |
| | KWG Grohnde | Cs-137 | 6 | 0 | 0,074 | 0,32 | 0,13 | 0,16 |

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

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte Cs-137 in Nahrungsmitteln führt auch in diesem Jahr zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen (siehe Tabellen 2.4.7-1 bis 2.4.7-14). Im Vergleich zu den Vorjahren vermindert sich die Aktivitätskonzentration von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Auf einem sehr niedrigen Niveau befindet sich ebenfalls die Sr-90-Aktivitätskonzentration.

Eine Ausnahme bilden die meisten Wildfleischarten (Tabelle 2.4.7-8), Speisepilze (Tabelle 2.4.7-11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle 2.4.7-12) und Wildblütenhonig (Tabelle 2.4.7-13). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in den Lebensmitteln von Kulturlflächen.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs 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 die 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 | 2006 | 35 | <0,14 ($< 0,06 - < 0,21$) | 8 | 0,16 (0,07 - 0,26) |
| | 2007 | 37 | <0,15 ($< 0,06 - < 0,19$) | 9 | 0,16 (0,10 - 0,25) |
| Bayern | 2006 | 47 | <0,20 (0,17 - 0,20) | 4 | 0,36 (0,30 - 0,43) |
| | 2007 | 42 | <0,14 ($< 0,05 - < 0,25$) | 4 | 0,22 (0,13 - 0,28) |
| Berlin | 2006 | 1 | < 0,07 | 1 | 0,03 |
| | 2007 | 1 | < 0,09 | 1 | 0,16 |
| Brandenburg | 2006 | 17 | <0,11 (0,06 - 0,20) | 1 | 0,38 |
| | 2007 | 15 | <0,12 ($< 0,07 - 0,20$) | 1 | 0,53 |
| Bremen | 2006 | 3 | <0,08 ($< 0,05 - < 0,09$) | 1 | 0,07 |
| | 2007 | 3 | <0,08 ($< 0,07 - < 0,10$) | | |
| Hamburg | 2006 | 3 | <0,14 ($< 0,12 - < 0,17$) | 1 | 0,11 |
| | 2007 | 4 | <0,12 ($< 0,09 - < 0,14$) | 1 | 0,05 |
| Hessen | 2006 | 17 | <0,12 ($< 0,06 - < 0,19$) | - | |
| | 2007 | 17 | <0,12 ($< 0,06 - < 0,18$) | - | |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2006 | 37 | <0,11 ($< 0,07 - < 0,16$) | 2 | 0,10 (0,10 - 0,11) |
| | 2007 | 34 | <0,12 ($< 0,08 - < 0,19$) | 2 | 0,32 (0,17 - 0,47) |
| Niedersachsen | 2006 | 41 | <0,26 ($< 0,04 - 2,40$) | 5 | 0,16 (0,08 - 0,22) |
| | 2007 | 34 | <0,20 ($< 0,09 - < 0,38$) | 3 | 0,07 (0,02 - 0,10) |
| Nordrhein-Westfalen | 2006 | 46 | <0,10 ($< 0,03 - < 0,22$) | 3 | 0,16 (0,09 - 0,28) |
| | 2007 | 26 | <0,11 ($< 0,05 - < 0,22$) | 1 | 0,08 |
| Rheinland-Pfalz | 2006 | 25 | <0,14 ($< 0,04 - < 0,26$) | 5 | 0,08 (0,04 - 0,15) |
| | 2007 | 22 | <0,10 ($< 0,05 - < 0,18$) | 3 | 0,09 (0,07 - 0,12) |
| Saarland | 2006 | 4 | <0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) | - | |
| | 2007 | 3 | <0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) | - | |

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | Sr-90 (Bq/kg FM) | | |
|--------------------|------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Sachsen | 2006 | 12 | <0,11 | (< 0,09 - 0,18) | 3 | 0,11 | (0,09 - 0,13) |
| | 2007 | 30 | <0,10 | (< 0,08 - 0,13) | 3 | 0,13 | (0,08 - 0,20) |
| Sachsen-Anhalt | 2006 | 17 | <0,18 | (< 0,10 - 0,96) | 3 | 0,15 | (0,06 - 0,30) |
| | 2007 | 35 | <0,14 | (< 0,06 - 0,56) | 3 | 0,15 | (0,08 - 0,27) |
| Schleswig-Holstein | 2006 | 31 | <0,16 | (< 0,07 - < 0,90) | 4 | 0,15 | (0,10 - 0,17) |
| | 2007 | 33 | <0,15 | (< 0,08 - < 0,20) | 4 | 0,16 | (0,08 - 0,27) |
| Thüringen | 2006 | 22 | <0,12 | (< 0,09 - < 0,15) | 1 | 0,08 | |
| | 2007 | 34 | <0,12 | (< 0,08 - < 0,15) | 1 | 0,09 | |
| Bundesrepublik | 2006 | 358 | <0,15 | (< 0,03 - 2,40) | 42 | 0,16 | (0,03 - 0,43) |
| (gesamt) | 2007 | 370 | <0,13 | (< 0,05 - 0,56) | 36 | 0,16 | (0,02 - 0,53) |

- 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 | 2006 | 5 | < 0,20 (< 0,19 - < 0,20) |
| | 2007 | 2 | < 0,14 (< 0,07 - < 0,20) |
| Frankreich | 2006 | - | |
| | 2007 | 1 | < 0,14 |
| Kanada | 2006 | 2 | < 0,13 (< 0,09 - < 0,17) |
| | 2007 | 1 | < 0,12 |
| Niederlande | 2006 | - | |
| | 2007 | 1 | < 0,10 |
| Österreich | 2006 | 1 | < 0,12 |
| | 2007 | 1 | < 0,11 |
| Polen | 2006 | 2 | < 0,07 (< 0,06 - < 0,08) |
| | 2007 | 1 | < 0,07 |
| Türkei | 2006 | 5 | < 0,20 (< 0,19 - < 0,20) |
| | 2007 | 2 | < 0,14 (< 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 | 2006 | 118 | < 0,15 | (< 0,02 - 0,62) | 11 | 0,18 | (0,001 - 0,44) |
| | 2007 | 125 | < 0,15 | (< 0,07 - < 0,38) | 11 | 0,19 | (0,08 - 0,41) |
| Hafer | 2006 | 22 | < 0,52 | (< 0,05 - 3,86) | 2 | 0,21 | (0,18 - 0,24) |
| | 2007 | 22 | < 0,38 | (< 0,05 - 2,70) | - | | |
| Mais | 2006 | 2 | < 0,11 | (< 0,09 - < 0,12) | - | | |
| | 2007 | 3 | < 0,11 | (< 0,06 - < 0,17) | 1 | 0,02 | |
| Roggen | 2006 | 170 | < 0,22 | (0,04 - 2,61) | 14 | 0,17 | (0,08 - 0,50) |
| | 2007 | 180 | < 0,16 | (< 0,05 - 3,00) | 16 | 0,17 | (0,07 - 0,34) |
| Triticalen | 2006 | 12 | < 0,16 | (< 0,07 - 0,24) | 1 | 0,08 | |
| | 2007 | 10 | < 0,16 | (0,09 - < 0,21) | 1 | 0,16 | |
| Sonstige Getreidearten | 2006 | - | | | - | | |
| | 2007 | 16 | < 0,11 | (< 0,07 - < 0,27) | - | | |
| Getreideprodukte | 2006 | 3 | < 0,18 | (< 0,14 - < 0,20) | - | | |
| | 2007 | 1 | < 0,26 | | - | | |

- 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 | 2006 | 7 | < 0,85 (< 0,15 - 3,74) |
| | 2007 | 6 | < 0,33 (0,12 - 0,78) |
| Bayern | 2006 | 6 | < 0,61 (< 0,20 - 1,27) |
| | 2007 | 5 | < 0,33 (0,15 - 0,89) |
| Berlin | 2006 | 1 | 0,98 |
| | 2007 | | |
| Brandenburg | 2006 | 3 | 0,50 (0,28 - 0,81) |
| | 2007 | 5 | 2,77 (0,34 - 12,00) |
| Bremen | 2006 | 3 | 1,97 (0,28 - 3,27) |
| | 2007 | 3 | 1,07 (0,66 - 1,64) |
| Hamburg | 2006 | 3 | < 0,43 (< 0,12 - 0,65) |
| | 2007 | 3 | < 0,33 (< 0,13 - 0,72) |

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | |
|----------------------------|------|-------------------|------------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) |
| Hessen | 2006 | 3 | < 0,32 ($< 0,13 - 0,70$) |
| | 2007 | 3 | < 0,20 ($< 0,14 - 0,30$) |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2006 | 9 | 6,44 (0,10 - 36,30) |
| | 2007 | 8 | 5,15 (0,07 - 18,00) |
| Niedersachsen | 2006 | 8 | < 1,15 ($< 0,12 - 4,15$) |
| | 2007 | 13 | < 0,76 ($< 0,11 - 1,94$) |
| Nordrhein-Westfalen | 2006 | 18 | < 0,81 ($< 0,06 - 6,80$) |
| | 2007 | 19 | < 0,34 ($< 0,06 - 1,89$) |
| Rheinland-Pfalz | 2006 | 1 | 0,18 |
| | 2007 | 2 | 0,18 (0,11 - 0,24) |
| Saarland | 2006 | 2 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| | 2007 | 2 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| Sachsen | 2006 | 5 | < 0,33 ($< 0,12 - 0,53$) |
| | 2007 | 3 | 0,53 (0,11 - 1,28) |
| Sachsen-Anhalt | 2006 | 3 | 0,75 (0,68 - 0,81) |
| | 2007 | 3 | 0,82 (0,70 - 0,95) |
| Schleswig-Holstein | 2006 | 2 | < 0,23 ($< 0,15 - 0,31$) |
| | 2007 | 3 | 0,97 (0,66 - 1,30) |
| Thüringen | 2006 | - | |
| | 2007 | 1 | < 0,14 |
| Bundesrepublik (gesamt) | 2006 | 74 | < 1,44 ($< 0,06 - 36,30$) |
| | 2007 | 79 | < 1,11 ($< 0,06 - 18,00$) |

- 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 | 2006 | 38 | < 0,82 (0,10 - 19,80) |
| | 2007 | 37 | < 0,26 ($< 0,11 - < 1,12$) |
| Bayern | 2006 | 70 | < 0,43 ($< 0,20 - 3,33$) |
| | 2007 | 60 | < 0,44 ($< 0,07 - 3,43$) |
| Berlin | 2006 | 6 | < 1,11 ($< 0,20 - 1,64$) |
| | 2007 | 6 | < 1,92 ($< 0,13 - 3,46$) |

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | |
|----------------------------|------|-------------------|------------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) |
| Brandenburg | 2006 | 31 | |
| | 2007 | 13 | < 1,99 ($< 0,13 - 9,60$) |
| Bremen | 2006 | 6 | 1,14 (0,07 - 4,23) |
| | 2007 | 6 | 0,79 (0,19 - 2,35) |
| Hamburg | 2006 | 6 | < 0,92 (0,07 - 2,39) |
| | 2007 | 6 | < 0,60 ($< 0,19 - 1,63$) |
| Hessen | 2006 | 12 | < 0,16 ($< 0,12 - < 0,26$) |
| | 2007 | 12 | < 0,14 ($< 0,11 - 0,20$) |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2006 | 32 | < 2,14 ($< 0,06 - 14,90$) |
| | 2007 | 17 | 2,10 (0,11 - 7,15) |
| Niedersachsen | 2006 | 30 | < 1,09 ($< 0,11 - 5,10$) |
| | 2007 | 47 | < 1,21 ($< 0,11 - 11,40$) |
| Nordrhein-Westfalen | 2006 | 39 | < 0,26 ($< 0,06 - 2,70$) |
| | 2007 | 54 | < 0,28 ($< 0,05 - 3,60$) |
| Rheinland-Pfalz | 2006 | 9 | < 0,17 ($< 0,09 - < 0,26$) |
| | 2007 | 12 | < 0,15 ($< 0,07 - 0,67$) |
| Saarland | 2006 | 3 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| | 2007 | 7 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| Sachsen | 2006 | 29 | < 0,45 (0,08 - 3,46) |
| | 2007 | 11 | < 0,22 ($< 0,11 - 0,54$) |
| Sachsen-Anhalt | 2006 | 24 | < 0,84 (0,09 - 8,11) |
| | 2007 | 9 | < 0,43 ($< 0,12 - 0,78$) |
| Schleswig-Holstein | 2006 | 22 | < 0,34 ($< 0,17 - 2,08$) |
| | 2007 | 26 | < 0,50 ($< 0,13 - 1,93$) |
| Thüringen | 2006 | 23 | < 0,12 ($< 0,09 - 0,25$) |
| | 2007 | 10 | < 0,14 ($< 0,09 - 0,28$) |
| Bundesrepublik (gesamt) | 2006 | 380 | < 1,13 ($< 0,06 - 130,00$) |
| | 2007 | 333 | < 0,65 ($< 0,05 - 11,40$) |

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

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | |
|------------------------|------|-------------------|------------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) |
| Baden-Württemberg | 2006 | 19 | < 0,18 ($< 0,12 - 0,38$) |
| | 2007 | 15 | < 0,18 ($< 0,10 - < 0,29$) |
| Bayern | 2006 | 39 | < 0,29 ($< 0,20 - 0,80$) |
| | 2007 | 34 | < 0,20 (0,09 - 0,40) |
| Berlin | 2006 | 6 | 0,33 (0,15 - 0,60) |
| | 2007 | 6 | < 0,19 ($< 0,10 - 0,31$) |
| Brandenburg | 2006 | 26 | < 0,19 ($< 0,09 - 0,85$) |
| | 2007 | 15 | < 0,18 ($< 0,09 - 0,60$) |
| Bremen | 2006 | 6 | 0,22 (0,11 - 0,43) |
| | 2007 | 8 | 0,10 (0,03 - 0,16) |
| Hamburg | 2006 | 6 | < 0,16 ($< 0,10 - 0,28$) |
| | 2007 | 6 | < 0,12 ($< 0,10 - < 0,14$) |
| Hessen | 2006 | 13 | < 0,14 ($< 0,12 - 0,22$) |
| | 2007 | 12 | < 0,13 ($< 0,08 - < 0,15$) |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2006 | 23 | < 0,20 (0,04 - 1,74) |
| | 2007 | 18 | < 0,13 (0,04 - 0,56) |
| Niedersachsen | 2006 | 50 | < 0,37 ($< 0,10 - 5,83$) |
| | 2007 | 62 | < 0,19 ($< 0,08 - 0,36$) |
| Nordrhein-Westfalen | 2006 | 67 | < 0,18 ($< 0,05 - 2,12$) |
| | 2007 | 87 | < 0,13 ($< 0,04 - 0,33$) |
| Rheinland-Pfalz | 2006 | 9 | < 0,13 ($< 0,09 - < 0,20$) |
| | 2007 | 9 | < 0,10 ($< 0,07 - < 0,15$) |
| Saarland | 2006 | 2 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| | 2007 | 4 | < 0,20 ($< 0,20 - < 0,20$) |
| Sachsen | 2006 | 23 | < 0,14 (0,08 - 0,26) |
| | 2007 | 11 | < 0,14 ($< 0,10 - 0,27$) |
| Sachsen-Anhalt | 2006 | 36 | < 0,15 ($< 0,07 - 0,53$) |
| | 2007 | 24 | < 0,16 ($< 0,07 - 0,70$) |
| Schleswig-Holstein | 2006 | 11 | < 0,18 ($< 0,10 - 0,35$) |
| | 2007 | 12 | < 0,25 ($< 0,14 - 1,12$) |

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | |
|----------------------------|------|-------------------|----------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) |
| Thüringen | 2006 | 20 | < 0,13 ($< 0,08 - 0,36$) |
| | 2007 | 14 | < 0,13 ($< 0,08 - 0,32$) |
| Bundesrepublik (gesamt) | 2006 | 356 | < 0,21 (0,04 - 5,83) |
| | 2007 | 337 | < 0,16 (0,03 - 1,12) |

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) |
| Fleischprodukte | 2006 | - | |
| | 2007 | 1 | 0,04 |
| Lamm | 2006 | 18 | < 0,19 (0,05 - 1,16) |
| | 2007 | 15 | < 0,15 ($< 0,08 - 0,47$) |
| Geflügel Entenfleisch | 2006 | 18 | < 0,19 ($< 0,07 - 0,48$) |
| | 2007 | 19 | < 0,14 (0,04 - $< 0,20$) |
| Gänsefleisch | 2006 | 16 | < 0,17 ($< 0,06 - 0,36$) |
| | 2007 | 14 | < 0,19 ($< 0,08 - 0,61$) |
| Hühnerfleisch | 2006 | 131 | < 0,18 ($< 0,05 - 3,22$) |
| | 2007 | 125 | < 0,15 (0,04 - $< 0,83$) |
| Putenfleisch | 2006 | 54 | < 0,15 (0,04 - 0,79) |
| | 2007 | 43 | < 0,13 ($< 0,01 - < 0,26$) |

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

| Produkt | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | |
|---------------------------|------|-------------------|------------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) |
| Federwild | 2006 | 2 | < 0,16 ($< 0,11 - < 0,21$) |
| | 2007 | 4 | < 0,76 ($< 0,11 - < 2,53$) |
| Haarwildfleisch Hirsch | 2006 | 31 | < 8,83 ($< 0,09 - 134,0$) |
| | 2007 | 21 | < 13,1 ($< 0,07 - 63,07$) |
| Reh | 2006 | 133 | < 24,6 (0,03 - 548) |
| | 2007 | 136 | < 33,8 ($< 0,11 - 929$) |
| Rot-/Damwild | 2006 | 7 | < 5,35 ($< 0,19 - 12,7$) |
| | 2007 | 8 | < 9,79 ($< 0,18 - 47,2$) |
| Wildschwein | 2006 | 240 | < 478,9 ($< 0,08 - 16600$) |
| | 2007 | 308 | < 217,6 ($< 0,08 - 8608$) |
| Sonstiges Haarwild | 2006 | 9 | < 16,7 ($< 0,03 - 72,6$) |
| | 2007 | 5 | < 15,5 ($< 0,08 - 34,0$) |

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 | 2006 | 11 | < 0,13 | (<0,06 - < 0,16) | 1 | 0,03 | |
| | 2007 | 14 | < 0,13 | (<0,06 - 0,24) | 1 | 0,05 | |
| Bayern | 2006 | 38 | < 0,39 | (0,11 - 1,74) | 2 | 0,08 (0,04 - 0,11) | |
| | 2007 | 30 | < 0,18 | (0,11 - 0,34) | 2 | 0,04 (0,03 - 0,04) | |
| Berlin | 2006 | 3 | < 0,09 | (<0,07 - 0,11) | 1 | 0,02 | |
| | 2007 | 3 | < 0,10 | (<0,06 - < 0,13) | 1 | 0,01 | |
| Brandenburg | 2006 | 10 | < 0,12 | (<0,10 - 0,20) | 1 | 0,01 | |
| | 2007 | 11 | < 0,18 | (<0,08 - 0,70) | 1 | 0,03 | |
| Bremen | 2006 | 2 | 0,14 | (0,04 - 0,25) | | | |
| | 2007 | 2 | 0,04 | (0,03 - 0,05) | | | |
| Hamburg | 2006 | 1 | < 0,15 | | | | |
| | 2007 | 2 | < 0,14 | (<0,13 - < 0,16) | | | |
| Hessen | 2006 | 5 | < 0,13 | (<0,10 - < 0,15) | 1 | 0,05 | |
| | 2007 | 5 | < 0,12 | (<0,10 - < 0,13) | 1 | 0,05 | |
| Mecklenburg-Vorpommern | 2006 | 12 | < 0,10 | (<0,06 - 0,15) | 1 | 0,04 | |
| | 2007 | 11 | < 0,09 | (<0,05 - 0,14) | | | |
| Niedersachsen | 2006 | 44 | < 0,20 | (<0,08 - 1,60) | 4 | < 0,04 (< 0,02 - 0,07) | |
| | 2007 | 56 | < 0,24 | (<0,08 - 1,40) | 6 | < 0,05 (0,002 - < 0,20) | |
| Nordrhein-Westfalen | 2006 | 18 | < 0,13 | (<0,06 - 0,29) | 5 | 0,08 (0,01 - 0,30) | |
| | 2007 | 24 | < 0,14 | (<0,08 - < 0,25) | 5 | < 0,05 (<0,02 - 0,10) | |
| Rheinland-Pfalz | 2006 | 5 | < 0,08 | (<0,03 - < 0,14) | 3 | 0,04 (0,02 - 0,06) | |
| | 2007 | 9 | < 0,08 | (<0,03 - < 0,11) | 3 | 0,10 (0,02 - 0,24) | |
| Saarland | 2006 | 2 | < 0,20 | (<0,20 - < 0,20) | | | |
| | 2007 | 2 | < 0,20 | (<0,20 - < 0,20) | | | |
| Sachsen | 2006 | 11 | < 0,12 | (<0,08 - 0,17) | 1 | 0,03 | |
| | 2007 | 6 | < 0,10 | (<0,08 - < 0,15) | 1 | 0,01 | |
| Sachsen-Anhalt | 2006 | 9 | < 0,13 | (0,07 - 0,21) | 2 | < 0,03 (<0,02 - 0,04) | |
| | 2007 | 9 | < 0,19 | (<0,11 - 0,67) | 2 | < 0,03 (<0,02 - < 0,04) | |
| Schleswig-Holstein | 2006 | 6 | < 0,15 | (<0,09 - < 0,18) | 1 | 0,03 | |
| | 2007 | 5 | < 0,14 | (<0,09 - < 0,17) | 1 | 0,02 | |

| Bundesland | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | Sr-90 (Bq/kg FM) | | |
|----------------------------|------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|--|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Thüringen | 2006 | 6 | < 0,11 | (< 0,10 - < 0,14) | 1 | 0,01 | |
| | 2007 | 3 | < 0,11 | (< 0,09 - < 0,12) | 1 | 0,02 | |
| Bundesrepublik (gesamt) | 2006 | 183 | < 0,20 | (< 0,03 - 1,74) | 24 | < 0,04 (0,01 - 0,30) | |
| | 2007 | 192 | < 0,17 | (< 0,03 - 1,40) | 25 | < 0,05 (0,002 - 0,24) | |

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 2.4.7-10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(*Fresh vegetables, domestic production and import*)

| Produkt | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | Sr-90 (Bq/kg FM) | | |
|--------------|------|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|--|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Blattgemüse | 2006 | 661 | < 0,18 | (< 0,03 - 6,76) | 78 | 0,17 (0,02 - 0,66) | |
| | 2007 | 641 | < 0,16 | (< 0,02 - 1,83) | 81 | 0,18 (0,02 - 0,95) | |
| Fruchtgemüse | 2006 | 215 | < 0,14 | (< 0,03 - 0,35) | 8 | 0,07 (0,02 - 0,14) | |
| | 2007 | 188 | < 0,14 | (< 0,03 - 0,36) | 8 | 0,05 (0,01 - 0,10) | |
| Sprossgemüse | 2006 | 268 | < 0,16 | (< 0,03 - 7,27) | 11 | 0,04 (0,01 - 0,09) | |
| | 2007 | 244 | < 0,14 | (< 0,03 - 0,77) | 16 | 0,07 (0,01 - 0,26) | |
| Wurzelgemüse | 2006 | 196 | < 0,16 | (< 0,02 - 0,99) | 15 | 0,17 (0,03 - 0,53) | |
| | 2007 | 207 | < 0,16 | (< 0,04 - 1,40) | 20 | 0,16 (0,04 - 0,45) | |

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 | 2006 | 9 | < 0,20 | (< 0,13 - < 0,25) |
| | 2007 | 17 | < 0,43 | (< 0,08 - 2,60) |
| Wild-Blätterpilze | 2006 | 65 | < 46,9 | (< 0,09 - 1700) |
| | 2007 | 28 | < 71,2 | (0,10 - 1600) |
| Wild-Leisten- u. Trompetenpilze | 2006 | 57 | < 67,8 | (0,25 - 1000) |
| | 2007 | 37 | 65,9 | (1,20 - 331) |
| Wild-Röhrenpilze | 2006 | 213 | < 135 | (< 0,16 - 1750) |
| | 2007 | 74 | < 213 | (< 0,25 - 1200) |
| Sonstige Wildpilze | 2006 | 39 | < 36,5 | (< 0,27 - 579) |
| | 2007 | 12 | < 16,1 | (< 0,11 - 54,5) |
| Wildpilzmischungen | 2006 | 17 | < 42,7 | (< 0,10 - 519) |
| | 2007 | 18 | < 67,9 | (< 0,26 - 309) |
| Wildpilzprodukte | 2006 | 18 | < 82,8 | (< 0,20 - 237) |
| | 2007 | 6 | < 42,4 | (< 2,10 - 106) |

Tabelle 2.4.7-12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(*Fruit and rhubarb, domestic production and import*)

| Produkt | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | Sr-90 (Bq/kg FM) | | |
|---------------------|------|-------------------|--------------------------|--|------------------|------------------------|--|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Beerenobst | | | | | | | |
| Brombeere/Himbeere* | 2007 | 15 | < 0,17 (< 0,10 - < 0,24) | | - | | |
| Erdbeeren | 2006 | 93 | < 0,13 (< 0,03 - < 0,29) | | 6 | 0,13 (0,03 - 0,29) | |
| | 2007 | 82 | < 0,14 (< 0,04 - 0,46) | | 8 | < 0,05 (< 0,02 - 0,09) | |
| Johannisbeere* | 2007 | 30 | < 0,13 (< 0,03 - < 0,20) | | 2 | 0,15 (0,06 - 0,24) | |
| Stachelbeere* | 2007 | 6 | < 0,12 (< 0,02 - < 0,20) | | 1 | 0,04 | |
| Tafelweintrauben* | 2007 | 11 | < 0,13 (< 0,06 - < 0,20) | | 1 | 0,09 | |
| Wald- u. Wildbeeren | 2006 | 63 | < 13,7 (< 0,08 - 236) | | - | | |
| | 2007 | 27 | < 26,5 (< 0,09 - 395) | | - | | |
| Kernobst | 2006 | 182 | < 0,13 (0,02 - < 1,20) | | 17 | < 0,02 (0,001 - 0,07) | |
| | 2007 | 205 | < 0,13 (< 0,03 - < 0,53) | | 21 | < 0,02 (0,005 - 0,08) | |
| Rhabarber | 2006 | 18 | < 0,12 (< 0,05 - < 0,20) | | 2 | 0,08 (0,05 - 0,10) | |
| | 2007 | 28 | < 0,14 (< 0,05 - 0,71) | | 2 | 0,35 (0,10 - 0,60) | |
| Steinobst | 2006 | 139 | < 0,28 (0,03 - 10,1) | | 11 | < 0,07 (< 0,02 - 0,20) | |
| | 2007 | 119 | < 0,14 (< 0,03 - < 0,43) | | 11 | < 0,03 (< 0,02 - 0,06) | |
| Zitrusfrüchte | 2006 | 17 | < 0,11 (< 0,02 - < 0,20) | | 1 | 0,04 | |
| | 2007 | 15 | < 0,11 (< 0,02 - < 0,21) | | - | | |
| Sonstige Obstarten | 2006 | 12 | < 0,16 (< 0,02 - < 0,40) | | - | | |
| | 2007 | 8 | < 0,14 (< 0,03 - < 0,20) | | - | | |
| Obstprodukte | 2006 | 5 | < 1,39 (< 0,12 - 4,99) | | - | | |
| | 2007 | 12 | < 1,38 (< 0,09 - 5,38) | | - | | |

* 2006 als sonstiges Beerenobst zusammengefasst

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

| Produkt | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | |
|-----------------------|-------------|-------------------|------------------------|--|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Gewürze | 2006 | 3 | < 0,68 (< 0,21 - 0,99) | |
| | 2007 | 2 | < 0,80 (< 0,50 - 1,09) | |
| Honig | | | | |
| | Blütenhonig | | | |
| | 2006 | 29 | < 8,04 (< 0,10 - 76,2) | |
| | 2007 | 23 | < 18,4 (0,13 - 153) | |
| Blütenhonigmischungen | | | | |
| | 2006 | 20 | < 0,95 (0,14 - 5,70) | |
| | 2007 | 14 | < 0,46 (< 0,09 - 2,70) | |

| Produkt | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | |
|---------------------|------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Kaffee | 2006 | 3 | < 0,28 | (0,18 - < 0,46) |
| | 2007 | 3 | < 0,30 | (< 0,20 - < 0,40) |
| Kakao | 2006 | 2 | 0,52 | (0,41 - 0,62) |
| | 2007 | 3 | 0,54 | (0,44 - 0,64) |
| Schalenobst (Nüsse) | 2006 | 10 | < 1,17 | (< 0,11 - 9,82) |
| | 2007 | 7 | < 0,81 | (< 0,14 - 4,58) |

Tabelle 2.4.7-14 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

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

| Jahr | Sr-90 (Bq/kg FM) | | | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | | | |
|------|------------------|------------|----------|-------------------|-----------------|------------------|--------|------------|----------|
| | Weizen | Kartoffeln | Kernobst | Rindfleisch | Schweinefleisch | Kalb- fleisch | Weizen | Kartoffeln | Kernobst |
| 1993 | 0,25 | 0,18 | 0,04 | 1,1 | 0,42 | 0,87 | 0,22 | 0,21 | 0,19 |
| 1994 | 0,21 | 0,08 | 0,03 | 0,88 | 0,29 | 0,99 | 0,14 | 0,31 | 0,17 |
| 1995 | 0,20 | 0,08 | 0,03 * | 1,2 | 0,28 | 1,3 | 0,11 | 0,16 | 0,14* |
| 1996 | 0,19 | 0,07 | 0,03 * | 1,1 | 0,33 | 1,3 | 0,11 | 0,17 | 0,13* |
| 1997 | 0,16 | 0,068 | 0,031 * | 1,2 | 0,29 | 1,0 | 0,13 | 0,15 | 0,13* |
| 1998 | < 0,18 | < 0,06 | < 0,03 * | < 1,05 | < 0,25 | < 1,08 | < 0,13 | < 0,16 | < 0,14 * |
| 1999 | < 0,20 | < 0,04 | < 0,07 * | < 1,05 | < 0,22 | < 0,96 | < 0,12 | < 0,14 | < 0,12 * |
| 2000 | < 0,16 | < 0,05 | < 0,03 * | < 0,85 | < 0,24 | < 1,18 | < 0,14 | < 0,16 | < 0,14 * |
| 2001 | < 0,20 | < 0,04 | < 0,04 * | < 0,81 | < 0,25 | < 0,66 | < 0,13 | < 0,15 | < 0,13 * |
| 2002 | < 0,19 | < 0,04 | < 0,03 * | < 0,77 | < 0,23 | < 1,51 | < 0,16 | < 0,16 | < 0,13 * |
| 2003 | 0,21 | < 0,04 | < 0,02 * | < 0,81 | < 0,20 | < 0,78 | < 0,14 | < 0,16 | < 0,13 * |
| 2004 | < 0,17 | < 0,04 | < 0,02 * | < 1,06 | < 0,23 | < 0,78 | < 0,14 | < 0,16 | < 0,13 * |
| 2005 | 0,18 | < 0,06 | < 0,03 * | < 1,26 | < 0,19 | < 0,66 | < 0,14 | < 0,16 | < 0,16 * |
| 2006 | 0,16 | < 0,05 | < 0,02 * | < 1,13 | < 0,21 | < 0,14 | < 0,15 | < 0,20 | < 0,13 * |
| 2007 | 0,16 | < 0,05 | < 0,02 * | < 0,65 | < 0,16 | < 1,11 | < 0,13 | < 0,17 | < 0,13 * |

* Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die maximale mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2007 mit 0,26 Bq/(d • p) (d = Tag; p = Person) abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittelung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss. Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,09 Bq/(d • p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen

$$\begin{aligned} \text{Sr-90} &: 33 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p}) \\ \text{Cs-137} &: 95 \text{ Bq}/(\text{a} \cdot \text{p}) \end{aligned}$$

Tabelle 2.4.7-15 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

| Monat | Jahr | Aktivitätszufuhr Cs-137 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person) | | | Aktivitätszufuhr Sr-90 in Bq/(d • p) (d = Tag und p = Person) | | |
|---------|------|---|----------------------|-----------------|--|----------------------|-----------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Januar | 2006 | 89 | < 0,30 | (< 0,06 - 5,00) | 21 | < 0,12 | (0,01 - 0,33) |
| | 2007 | 72 | < 0,23 | (0,04 - 2,07) | 19 | < 0,12 | (< 0,02 - 0,34) |
| Februar | 2006 | 81 | < 0,44 | (0,03 - 8,71) | 21 | < 0,13 | (0,02 - 0,42) |
| | 2007 | 59 | < 0,26 | (< 0,01 - 2,58) | 9 | 0,09 | (0,02 - 0,18) |
| März | 2006 | 87 | < 0,29 | (< 0,06 - 3,57) | 18 | < 0,13 | (0,001 - 0,71) |
| | 2007 | 65 | < 0,28 | (< 0,04 - 2,62) | 9 | 0,09 | (0,04 - 0,15) |
| April | 2006 | 83 | < 0,29 | (0,03 - 2,15) | 18 | < 0,11 | (< 0,02 - 0,40) |
| | 2007 | 57 | < 0,28 | (0,04 - 2,50) | 17 | < 0,09 | (< 0,04 - 0,23) |

| 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) |
| Mai | 2006 | 100 | < 0,24 (< 0,01 - 2,80) | 21 | 0,09 (0,02 - 0,23) |
| | 2007 | 65 | < 0,21 (< 0,04 - 0,80) | 7 | < 0,11 (< 0,02 - 0,28) |
| Juni | 2006 | 83 | < 0,21 (< 0,04 - 0,67) | 18 | 0,11 (0,03 - 0,27) |
| | 2007 | 63 | < 0,21 (< 0,05 - 0,69) | 10 | < 0,07 (< 0,03 - 0,18) |
| Juli | 2006 | 89 | < 0,23 (0,02 - 1,03) | 21 | < 0,09 (< 0,01 - 0,32) |
| | 2007 | 66 | < 0,42 (< 0,02 - 10,80) | 16 | < 0,08 (0,03 - 0,20) |
| August | 2006 | 89 | < 0,29 (< 0,02 - 6,43) | 18 | < 0,10 (< 0,02 - 0,25) |
| | 2007 | 62 | < 0,20 (0,03 - 0,51) | 7 | < 0,06 (< 0,02 - 0,09) |
| September | 2006 | 86 | < 0,24 (< 0,02 - 1,75) | 19 | < 0,08 (0,01 - 0,20) |
| | 2007 | 56 | < 0,31 (< 0,01 - 2,81) | 6 | 0,06 (0,04 - 0,10) |
| Oktober | 2006 | 99 | < 0,36 (0,02 - 3,90) | 22 | 0,13 (0,03 - 0,48) |
| | 2007 | 65 | < 0,25 (0,02 - 1,40) | 15 | 0,12 (0,03 - 0,80) |
| November | 2006 | 84 | < 0,28 (0,05 - 3,30) | 18 | 0,18 (0,04 - 0,87) |
| | 2007 | 55 | < 0,24 (< 0,05 - 1,00) | 5 | 0,11 (0,07 - 0,17) |
| Dezember | 2006 | 80 | < 0,31 (< 0,001 - 7,00) | 16 | < 0,12 (< 0,02 - 0,36) |
| | 2007 | 52 | < 0,21 (0,05 - 0,58) | 5 | 0,09 (0,02 - 0,19) |
| Jahr (gesamt) | 2006 | 1050 | < 0,29 (< 0,001 - 8,71) | 231 | < 0,12 (0,001 - 0,87) |
| | 2007 | 737 | < 0,26 (< 0,01 - 10,80) | 125 | < 0,09 (< 0,02 - 0,80) |

**Tabelle 2.4.7-16 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)**

| Monat | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | Sr-90 (Bq/kg FM) | |
|---------|------|-------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | N | Mittelwert (Bereich) |
| Januar | 2006 | 27 | < 0,15 (< 0,03 - 0,48) | 8 | 0,05 (0,01 - 0,08) |
| | 2007 | 25 | < 0,16 (0,02 - 0,71) | 10 | < 0,03 (< 0,01 - 0,05) |
| Februar | 2006 | 22 | < 0,26 (< 0,03 - 3,12) | 8 | < 0,13 (0,001 - 0,72) |
| | 2007 | 17 | < 0,14 (< 0,03 - 0,56) | 5 | < 0,03 (< 0,02 - 0,05) |
| März | 2006 | 19 | < 0,17 (< 0,07 - < 0,45) | 2 | < 0,02 (0,01 - < 0,02) |
| | 2007 | 18 | < 0,14 (< 0,04 - 0,38) | 3 | 0,04 (0,03 - 0,05) |
| April | 2006 | 19 | < 0,15 (< 0,02 - 0,61) | 6 | < 0,03 (< 0,02 - 0,09) |
| | 2007 | 19 | < 0,13 (0,04 - < 0,20) | 7 | < 0,06 (0,01 - 0,18) |
| Mai | 2006 | 20 | < 0,12 (< 0,02 - < 0,21) | 4 | < 0,11 (< 0,02 - 0,32) |
| | 2007 | 24 | < 0,18 (< 0,03 - 0,47) | 1 | 0,02 (0,02 - 0,02) |
| Juni | 2006 | 20 | < 0,15 (< 0,04 - 0,32) | 5 | < 0,09 (< 0,01 - 0,28) |

| Monat | Jahr | Cs-137 (Bq/kg FM) | | | Sr-90 (Bq/kg FM) | | |
|---------------|------|-------------------|----------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|
| | | N | Mittelwert (Bereich) | | N | Mittelwert (Bereich) | |
| Juli | 2007 | 21 | < 0,11 | (< 0,002 - < 0,31) | 2 | 0,02 | (0,02 - 0,02) |
| | 2006 | 24 | < 0,11 | (0,02 - 0,25) | 9 | < 0,04 | (< 0,01 - 0,12) |
| | 2007 | 23 | < 0,12 | (0,03 - < 0,20) | 12 | < 0,03 | (< 0,01 - 0,10) |
| August | 2006 | 21 | < 0,14 | (< 0,03 - 0,59) | 3 | < 0,07 | (< 0,02 - 0,10) |
| | 2007 | 22 | < 0,12 | (< 0,02 - 0,25) | 3 | < 0,02 | (0,01 - 0,02) |
| September | 2006 | 20 | < 0,16 | (0,03 - 0,45) | 3 | 0,05 | (0,01 - 0,08) |
| | 2007 | 19 | < 0,38 | (< 0,04 - 3,90) | 3 | 0,07 | (0,01 - 0,18) |
| Oktober | 2006 | 20 | < 0,13 | (< 0,03 - < 0,30) | 4 | < 0,04 | (< 0,02 - 0,08) |
| | 2007 | 19 | < 0,17 | (0,03 - 0,43) | 4 | < 0,06 | (< 0,02 - 0,17) |
| November | 2006 | 23 | < 0,21 | (< 0,001 - 1,70) | 3 | 0,03 | (0,01 - 0,05) |
| | 2007 | 20 | < 0,12 | (< 0,02 - 0,32) | - | | |
| Dezember | 2006 | 16 | < 0,13 | (< 0,03 - 0,42) | 1 | 0,02 | (0,02 - 0,02) |
| | 2007 | 22 | < 0,14 | (< 0,04 - < 0,48) | 1 | 0,05 | (0,05 - 0,05) |
| Jahr (gesamt) | 2006 | 251 | < 0,16 | (< 0,001 - 3,12) | 56 | < 0,06 | (0,001 - 0,72) |
| | 2007 | 249 | < 0,16 | (< 0,002 - 3,90) | 51 | < 0,04 | (< 0,01 - 0,18) |

2.4.8 Pflanzliche Nahrungsmittel in der Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Foodstuffs of vegetable origin from the surroundings of nuclear facilities)

Die Aktivitätskonzentrationen in Pflanzen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie spiegeln damit die Situation bei den Böden wider, die nach wie vor durch die Depositionen nach den Kernwaffenversuchen und dem Unfall in Tschernobyl geprägt ist. Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 2.4.8-1 und 2.4.8-2, für Obst in Tabelle 2.4.8-3 und für Kartoffeln in Tabelle 2.4.8-4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 2.4.8-1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 22 | < 0,04 | 6 | < 0,08 | 25 | < 0,04 (0,02 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 7 | 0,18 | 1 | 0,17 | 4 | 0,03 (0,01 - 0,04) |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 15 | < 0,06 | 18 | < 0,07 | 18 | < 0,06 (< 0,05 - < 0,08) |
| | Sr-90 | 10 | 0,10 | 9 | 0,14 | 15 | 0,20 (0,04 - 0,64) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 12 | < 0,06 | 14 | < 0,06 | 23 | < 0,06 (< 0,02 - < 0,12) |
| | Sr-90 | 7 | 0,08 | 8 | 0,09 | 19 | < 0,10 (< 0,01 - 0,23) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 6 | < 0,06 | 6 | < 0,05 | 6 | < 0,05 (< 0,03-< 0,09) |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Sr-90 | 2 | 0,08 | 3 | 0,08 | 1 | 0,13 |
| | Cs-137 | 24 | < 0,09 | 9 | < 0,07 | 17 | < 0,08 (< 0,03 - 0,15) |
| | Sr-90 | 5 | 0,22 | 4 | 0,22 | 3 | 0,28 (0,21 - 0,31) |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 15 | < 0,07 | 9 | < 0,06 | 17 | < 0,07 (0,03 - < 0,21) |
| | Sr-90 | 6 | 0,08 | 3 | 0,14 | 6 | 0,25 (0,05 - 0,61) |
| BAYERN | | | | | | | |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 1 | < 0,2 | a | | 1 | 0,04 |
| | Sr-90 | 1 | 0,23 | a | | 1 | 0,09 |
| KKI Isar | Cs-137 | 1 | < 0,2 | 1 | < 0,04 | 1 | < 0,05 |
| | Sr-90 | 1 | 0,18 | 1 | 0,10 | 1 | 0,09 |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 2 | < 0,2 | 3 | < 0,14 | 3 | < 0,05 (< 0,03 - 0,07) |
| | Sr-90 | 2 | 0,19 | 3 | < 0,11 | 3 | < 0,03 (0,02 - < 0,04) |
| Forschungsreaktor München | Cs-137 | | | | | 1 | < 0,07 |
| | Sr-90 | | | | | 1 | 0,05 |
| BERLIN | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | 10 | < 0,15 | 9 | < 0,14 | 17 | < 0,09 (< 0,04 - < 0,15) |
| | Sr-90 | 3 | 0,10 | 1 | 0,11 | 4 | 0,07 (0,02 - 0,13) |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | 17 | < 0,15 | 17 | < 0,13 | 18 | < 0,13 (< 0,01 - < 0,17) |
| | Sr-90 | 17 | 0,20 | 17 | 0,19 | 17 | 0,23 (0,05 - 0,8) |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis Nuklearbetriebe Hanau | Cs-137 | 9 | < 0,07 | 5 | < 0,08 | 4 | < 0,05 (< 0,03 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 8 | 0,08 | 5 | 0,11 | 4 | 0,06 (0,02 - 0,16) |
| | Gesamt- α Asche | a | | a | | a | |
| | Pu-238 Asche | 1 | < 0,07 | a | | a | |
| | Pu-(239+ 240) Asche | 1 | < 0,07 | a | | a | |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | 4 | < 0,11 | 3 | < 0,09 | 3 | < 0,13 (< 0,1 - 0,17) |
| | Sr-90 | 4 | 0,25 | 3 | 0,13 | a | |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKU Unterweser | Cs-137 | 7 | < 0,11 | 7 | < 0,09 | 8 | < 0,07 (< 0,04 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 7 | 0,13 | 7 | 0,17 | 8 | 0,14 (0,06 - 0,35) |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 4 | < 0,11 | 4 | < 0,08 | 4 | < 0,11 (< 0,09 - < 0,13) |
| | Sr-90 | 4 | 0,28 | 4 | 0,12 | 4 | 0,33 (0,16 - 0,61) |
| KKE Emsland | Cs-137 | 7 | < 0,13 | 6 | < 0,14 | 7 | < 0,10 (< 0,06 - 0,18) |
| | Sr-90 | 7 | 0,23 | 6 | 0,19 | 7 | 0,16 (0,05 - 0,27) |
| Schacht Konrad II ^b | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| Forschungsbergwerk Asse | Cs-137 | 3 | <0,12 | 3 | < 0,09 | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 6 | < 0,12 | 4 | < 0,25 | 4 | < 0,06 (< 0,04 - 0,1) |
| | Sr-90 | 5 | 0,07 | 4 | 0,09 | 4 | 0,06 (0,04 - 0,07) |
| UAG Gronau | Fluor (mg/kg TM) | a | | 7 | < 4,7 | 7 | 6,3 (1,6 - 21,4) |
| | Uran (Bq/kg TM) | a | | 7 | < 0,31 | 7 | < 1,2 (< 0,23 - 3,6) |
| | U-238 (Bq/kg TM) | 3 | < 0,4 | a | | 3 | < 0,3 (< 0,3 - < 0,3) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 1 | < 0,02 | a | | | < 0,02 |
| | Sr-90 | a | | a | | | |
| SACHSEN | | | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | 5 | < 0,26 | 5 | < 0,11 | 2 | < 0,22 (< 0,19 - < 0,24) |
| | Sr-90 | 2 | 0,11 | 1 | 0,19 | 1 | 0,24 |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 2 | <0,16 | a | | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,25 | a | | a | |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | | | |
| GKSS Geesthacht | Cs-137 | 1 | < 0,16 | 1 | < 0,08 | 1 | < 0,09 |
| | Sr-90 | 1 | 0,17 | 1 | 0,07 | 1 | 0,08 |
| KKB Brunsbüttel | Cs-137 | 1 | < 0,1 | 3 | < 0,10 | 1 | < 0,07 |
| | Sr-90 | | | 2 | 0,11 | | |
| KKK Krümmel | Cs-137 | 1 | <0,05 | 2 | < 0,08 | 2 | < 0,06 (< 0,06 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 1 | 0,13 | 1 | 0,05 | 2 | 0,07 (0,06 - 0,07) |

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Messver- fahren / Nuklid | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 6 | < 0,06 | 2 | < 0,07 | 7 | < 0,11 (< 0,08 - < 0,16) |
| | Sr-90 | 3 | 0,16 | 1 | 0,33 | 3 | 0,14 (0,08 - 0,17) |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 6 | < 0,16 | 6 | < 0,09 | 7 | < 0,08 (< 0,06 - < 0,11) |
| | Sr-90 | 3 | 0,14 | 3 | 0,1 | 3 | 0,13 (0,11 - 0,16) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 7 | < 0,11 | 6 | < 0,09 | 5 | < 0,07 (< 0,05 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 3 | 0,16 | 3 | 0,09 | 3 | 0,10 (0,07 - 0,11) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 5 | < 0,09 | 8 | < 0,08 | 7 | < 0,09 (< 0,05 - < 0,13) |
| | Sr-90 | 3 | 0,11 | 3 | 0,11 | 2 | 0,04 (0,03 - 0,04) |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 4 | < 0,06 | 5 | < 0,06 | 6 | < 0,05 (< 0,04 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 3 | 0,20 | 2 | 0,17 | 5 | 0,13 (0,07 - 0,24) |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 4 | < 0,09 | 3 | < 0,07 | 6 | < 0,08 (< 0,03 - 0,15) |
| | Sr-90 | 1 | 0,12 | 3 | 0,18 | 2 | 0,25 (0,14 - 0,35) |
| BAYERN | | | | | | | |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 4 | < 0,2 | 1 | 0,04 | 4 | < 0,03 (< 0,02 - 0,04) |
| | Sr-90 | 4 | 0,14 | a | | 4 | < 0,04 (< 0,01 - 0,11) |
| KKI Isar | Cs-137 | 3 | < 0,2 | 5 | < 0,07 | 5 | < 0,31 (< 0,04 - 1,2) |
| | Sr-90 | 3 | 0,13 | 5 | < 0,07 | 5 | < 0,10 (< 0,02 - 0,25) |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 2 | < 0,2 | 1 | 0,91 | 2 | < 0,04 (< 0,03 - < 0,04) |
| | Sr-90 | 2 | 0,26 | 1 | 0,08 | 2 | 0,04 (0,04 - 0,04) |
| Forschungsreaktor München | Cs-137 | 2 | < 0,2 | 1 | < 0,14 | 1 | < 0,09 |
| | Sr-90 | 2 | 0,18 | 1 | 0,16 | 1 | 0,09 |
| BERLIN | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | a | | a | | a | |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 9 | < 0,12 | 8 | < 0,09 | 9 | < 0,12 (0,06 - < 0,18) |
| | Sr-90 | 9 | 0,13 | 8 | 0,10 | 9 | 0,09 (0,03 - 0,20) |
| Nuklearbetriebe Hanau | Gesamt- α Asche | a | | a | | a | |
| | Pu-238 Asche | 1 | < 0,07 | a | | a | |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Messver- fahren / Nuklid | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| | Pu-(239+ 240) Asche | 1 | < 0,07 | a | | a | |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | 10 | < 0,17 | a | | 5 | < 0,11 (0,08 - < 0,14) |
| | Sr-90 | 10 | 0,15 | a | | 5 | < 0,12 (< 0,03 - 0,18) |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KKU Unterweser | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 2 | < 0,13 | 2 | < 0,09 | 2 | < 0,09 (< 0,09 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 2 | 0,21 | 2 | 0,31 | 2 | 0,52 (0,32 - 0,71) |
| KKE Emsland | Cs-137 | 1 | < 0,06 | 1 | 0,55 | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,40 | 1 | 0,12 | a | |
| Schacht Konrad II ^b | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| Zwischenlager Ahaus | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| FZ Jülich | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| UAG Gronau | Fluor (mg/kg TM) | 18 | < 1,5 | 18 | < 1,5 | 18 | < 1,6 (< 1,5 - 2,2) |
| | Uran (Bq/kg TM) | 18 | < 0,23 | 18 | < 0,23 | 18 | < 0,28 (< 0,23 - 0,51) |
| | U-238 (Bq/kg TM) | 4 | < 0,4 | 4 | < 0,3 | 4 | < 0,3 (< 0,3 - < 0,3) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| SACHSEN | | | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 3 | < 0,18 | 3 | < 0,15 | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,08 | 2 | 0,19 | a | |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Messver- fahren / Nuklid | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | | | |
| GKSS Geesthacht | Cs-137 | 1 | < 0,17 | 1 | < 0,14 | 1 | < 0,19 |
| | Sr-90 | 1 | 0,33 | 1 | 0,41 | 1 | 0,16 |
| KKB Brunsbüttel | Cs-137 | 2 | < 0,08 | a | | 2 | < 0,14 (< 0,13 - < 0,15) |
| | Sr-90 | 2 | 0,10 | a | | 2 | 0,13 (0,08 - 0,17) |
| KKK Krümmel | Cs-137 | 2 | < 0,07 | 2 | 0,05 | 2 | < 0,08 (< 0,03 - < 0,12) |
| | Sr-90 | 2 | 0,24 | 2 | 0,24 | 2 | 0,12 (0,11 - 0,13) |

a Messwerte lagen nicht vor

b Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 5 | < 0,04 | 2 | < 0,08 | 3 | < 0,04 (< 0,02 - < 0,08) |
| | Sr-90 | 3 | 0,28 | 1 | 0,53 | a | |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 6 | < 0,04 | 6 | < 0,06 | 9 | < 0,06 (< 0,05 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 3 | 0,08 | 3 | 0,04 | 3 | 0,15 (0,07 - 0,27) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 5 | < 0,06 | 5 | < 0,12 | 6 | < 0,06 (< 0,03 - < 0,08) |
| | Sr-90 | 2 | 0,09 | 2 | 0,07 | 3 | 0,19 (0,11 - 0,30) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 5 | < 0,08 | 5 | < 0,08 | 3 | < 0,08 (< 0,07 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 3 | 0,05 | 1 | 0,02 | 1 | 0,21 |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 5 | < 0,06 | 6 | < 0,06 | 3 | < 0,05 (< 0,04 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 3 | 0,18 | 4 | 0,08 | 3 | 0,05 (0,01 - 0,13) |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 3 | < 0,05 | 3 | < 0,07 | 3 | < 0,07 (< 0,05 - < 0,10) |
| | Sr-90 | 3 | 0,10 | 1 | 0,06 | 2 | 0,15 (0,10 - 0,21) |
| BAYERN | | | | | | | |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | 2 | < 0,2 | 1 | < 0,02 | 2 | < 0,02 (< 0,02 - < 0,02) |
| | Sr-90 | 2 | 0,08 | a | | 2 | < 0,01 (< 0,01 - < 0,01) |
| KKI Isar | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |

| LAND/ Kern-technische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|-------------------|------|--------------------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | 2 | < 0,2 | 5 | < 0,08 | 2 | < 0,02 (< 0,02 - < 0,03) |
| | Sr-90 | 2 | 0,05 | 5 | < 0,03 | 2 | < 0,04 (< 0,03 - < 0,04) |
| Berlin | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | 3 | < 0,09 | 4 | < 0,05 | 17 | < 0,08 (< 0,03 - 0,18) |
| | Sr-90 | 1 | 0,04 | 1 | 0,18 | 3 | 0,04 (0,02 - 0,06) |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | 1 | < 0,1 | a | | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,1 | a | | a | |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 4 | < 0,03 | 9 | < 0,03 | 9 | < 0,04 (< 0,01 - < 0,16) |
| | Sr-90 | 4 | 0,009 | 9 | 0,02 | 9 | 0,02 (0,01 - 0,05) |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | 11 | < 0,13 | a | | 4 | < 0,07 (< 0,06 - 0,11) |
| | Sr-90 | 8 | 0,04 | a | | 4 | 0,06 (0,02 - 0,12) |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | 7 | < 0,05 | 6 | < 0,05 | 6 | < 0,05 (< 0,04 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 3 | 0,03 | a | | a | |
| KKU Unterweser | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 1 | < 0,11 | 1 | < 0,07 | 1 | < 0,06 |
| | Sr-90 | 1 | 0,11 | 1 | 0,03 | 1 | 0,04 |
| KKE Emsland | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| Schacht Konrad II ^c | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 1 | < 0,07 | 4 | < 0,17 | 3 | < 0,04 (< 0,02 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 1 | 0,02 | 4 | 0,05 | 3 | 0,04 (0,004 - 0,06) |
| UAG Gronau | Fluor (mg/kg TM) | | | 2 | 3,3 | 2 | ^b 1,6; 205 |
| | Uran (Bq/kg TM) | a | | 2 | < 0,23 | 2 | ^b < 0,23; < 0,23 |
| | U-238 (Bq/kg TM) | 3 | < 0,4 | 6 | < 0,3 (Rhabarber) | 3 | < 0,3 (< 0,3 - < 0,3) (Rhabarber) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 2 | < 0,20 | 3 | < 0,04 | 3 | < 0,02 (< 0,01 - < 0,03) |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| SACHSEN | | | | | | | |
| VKTA Rossendorf | Cs-137 | 1 | < 0,11 | 1 | < 0,09 | 1 | < 0,12 |
| | Sr-90 | 2 | 0,02 | a | | 1 | 0,02 |
| SACHSEN-ANHALT | | | | | | | |
| Endlager Morsleben | Cs-137 | 4 | < 0,13 | 4 | < 0,14 | a | |
| | Sr-90 | 2 | < 0,03 | 2 | < 0,03 | a | |
| SCHLESWIG-HOLSTEIN | | | | | | | |
| KKK Krümmel | Cs-137 | a | | 2 | < 0,04 | 2 | < 0,04 (< 0,01 - < 0,06) |
| | Sr-90 | a | | 2 | 0,05 | 2 | 0,04 (0,4 - 0,05) |

a Messwerte lagen nicht vor

b Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; Angabe der Einzelwerte

c Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlagerprojekt Konrad liegt vor. Der Beginn der Einlagerung ist für das Jahr 2013 geplant. Das Messprogramm nach REI beginnt zwei Jahre vor Inbetriebnahme

Tabelle 2.4.8-4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BADEN-WÜRTTEMBERG | | | | | | | |
| FZ Karlsruhe | Cs-137 | 3 | < 0,03 | a | | 3 | < 0,05 (< 0,04 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 1 | 0,03 | a | | 2 | 0,02 (0,02 - 0,02) |
| KWO Obrigheim | Cs-137 | 2 | < 0,05 | 2 | < 0,07 | 2 | < 0,06 (< 0,05 - < 0,07) |
| | Sr-90 | 2 | 0,02 | 2 | 0,04 | 2 | 0,06 (0,02 - 0,10) |
| GKN Neckarwestheim | Cs-137 | 3 | < 0,05 | 3 | < 0,06 | 3 | < 0,22 (< 0,03 - < 0,58) |
| | Sr-90 | 3 | 0,03 | 3 | 0,02 | 3 | 0,03 (0,02 - 0,03) |
| KKP Philippsburg | Cs-137 | 2 | < 0,03 | 1 | < 0,05 | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,03 | 1 | 0,03 | a | |
| KKW Beznau/Leibstadt (Schweiz) | Cs-137 | 4 | < 0,05 | 6 | < 0,06 | 5 | < 0,06 (< 0,05 - < 0,06) |
| | Sr-90 | 2 | 0,05 | 4 | 0,05 | 5 | 0,03 (0,01 - 0,07) |
| KKW Fessenheim (Frankreich) | Cs-137 | 3 | < 0,03 | 3 | < 0,05 | 3 | < 0,05 (< 0,04 - < 0,06) |
| | Sr-90 | a | | 1 | 0,06 | 1 | 0,08 |
| BAYERN | | | | | | | |
| KRB Gundremmingen | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| KKG Grafenrheinfeld | Cs-137 | a | | a | | 1 | < 0,04 |
| | Sr-90 | a | | a | | 1 | < 0,02 |

| LAND/ Kerntechnische Anlage | Nuklid / Mess- verfahren | Aktivität in Bq/kg FM | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------|------|------------|------|--------------------------|
| | | 2005 | | 2006 | | 2007 | |
| | | N | Mittelwert | N | Mittelwert | N | Mittelwert (Bereich) |
| BERLIN | | | | | | | |
| Forschungsreaktor BERII | Cs-137 | 2 | < 0,12 | 2 | < 0,1 | 3 | < 0,07 (< 0,05 - 0,08) |
| | Sr-90 | 1 | 0,03 | a | | 2 | 0,03 (0,008 - 0,05) |
| BRANDENBURG | | | | | | | |
| KKR Rheinsberg | Cs-137 | a | | 1 | < 0,12 | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| HESSEN | | | | | | | |
| KWB Biblis | Cs-137 | 7 | < 0,05 | 6 | < 0,05 | 6 | < 0,03 (< 0,02 - < 0,09) |
| | Sr-90 | 7 | 0,03 | 6 | 0,03 | 6 | < 0,03 (< 0,003 - 0,04) |
| MECKLENBURG-VORPOMMERN | | | | | | | |
| KGR Greifswald | Cs-137 | a | | a | | a | |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |
| NIEDERSACHSEN | | | | | | | |
| KKS Stade | Cs-137 | 1 | < 0,12 | 1 | 0,13 | 1 | < 0,09 |
| | Sr-90 | 1 | 0,3 | 1 | 0,12 | a | |
| KKU Unterweser | Cs-137 | 1 | < 0,12 | 1 | < 0,08 | a | |
| | Sr-90 | 1 | 0,04 | 1 | 0,03 | a | |
| KWG Grohnde | Cs-137 | 1 | < 0,08 | 1 | < 0,09 | 1 | < 0,08 |
| | Sr-90 | 1 | 0,05 | 1 | 0,04 | 1 | 0,08 |
| KKE Emsland | Cs-137 | a | | 1 | 0,09 | 1 | < 0,12 |
| | Sr-90 | a | | 1 | 0,03 | 1 | 0,06 |
| Forschungsbergwerk Asse | Cs-137 | 1 | < 0,12 | 1 | < 0,08 | a | |
| NORDRHEIN-WESTFALEN | | | | | | | |
| FZ Jülich | Cs-137 | 4 | < 0,12 | 1 | < 0,09 | 1 | < 0,1 |
| | Sr-90 | 4 | 0,11 | 1 | 0,02 | 2 | 0,02 (0,005 - 0,03) |
| RHEINLAND-PFALZ | | | | | | | |
| KMK Mülheim-Kärlich | Cs-137 | 2 | < 0,03 | 1 | < 0,04 | 1 | 0,03 |
| | Sr-90 | a | | a | | a | |

a Messwerte lagen nicht vor

2.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe (*Tobacco products, consumer goods, pharmaceutical products and their raw materials*)

Die Leitstelle für Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Bedarfsgegenstände überwacht routinemäßig vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel und Tee dienen. In Tabelle 2.5-1 sind die ermittelten Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 für 2007 zusammengefasst. Die Aktivitäten des Cs-137 erreichten Spitzenwerte von etwa 225 Bq/kg (TM) bei Bitterkleeblättern aus Polen und etwa 23 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Bosnien - Herzegowina. Die Aktivitätswerte des natürlich vorkommenden Radionuklids K-40 lagen mit maximal 1.195 Bq/kg (TM) bei Brennnesselblättern aus Bulgarien und minimal 60 Bq/kg (TM) bei Islandmoos aus Bosnien - Herzegowina im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite.

Tabelle 2.5-1 Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Cs-137 und K-40 in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Ausgangsstoffen für Arzneimittel für 2007 mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(*Annual mean value of Cs-137 and K-40 specific activities in different medicinal plants and products for pharmaceuticals, and indication of their country of origin, in the year 2007*)

| Artikel | Ursprungsland | K-40 (Bq/kg TM) | Cs-137 (Bq/kg TM) |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Lindenblüten Silber | Serbien | 530 | 0,36 |
| Pfefferminzblätter | Mazedonien | 650 | 1,45 |
| Salbei KBA ¹ | Kroatien | 500 | 0,6 |
| Kamillenblüten | Mazedonien | 770 | NWG: 0,4 |
| Island Moos | Bosnien-Herzegowina | 60 | 23 |
| Johanniskraut | Polen | 450 | 0,34 |
| Ringelblumenblüten | Ägypten | 1.020 | 0,54 |
| Spitzwegerichkraut | Polen | 1.080 | NWG: 0,3 |
| Brennnesselblätter | Bulgarien | 1.195 | 0,5 |
| Mateblätter, grün | Brasilien | 480 | 0,4 |
| Zimtrinde Stangen | Indonesien | 150 | 1,6 |
| Thymian, gerebelt | Polen | 630 | 0,8 |
| Lavendelblüten, blau | Frankreich | 610 | 0,3 |
| Majoran, gerebelt | Ägypten | 735 | 0,7 |
| Pfeffer, schwarz, ganz | Brasilien | 400 | 0,5 |
| Fenchel ganz | Polen | 454 | NWG: 0,2 |
| Bitterkleeblätter | Polen | 790 | 225 |
| Grüner Tee Sencha | China | 490 | NWG: 0,2 |
| Melissenblätter | Serbien | 710 | 0,45 |

1 KBA: kontrolliert biologischer Anbau

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

Bezüglich allgemeiner Aspekte der zur Radioaktivitätsüberwachung von Abwasser und Klärschlamm wird auf Teil A - II - 2.6 verwiesen.

Dem Bericht für das Jahr 2007 liegen die Messergebnisse aus 92 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Messwerte für Abwässer beziehen sich auf gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen und die Messwerte für Klärschlämme auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. auf teilentwässerte Schlämme oder Faulschlämme.

In Tabelle 2.6-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an K-40, Co-60, Cs-137, I-131, Sr-90 und den Uranisotopen.

K-40, U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm variieren in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2007 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1.500 Bq/kg TM (Vorjahr bis 750 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 170 bzw. 150 Bq/kg TM (Vorjahr 170 bzw. 110 Bq/kg TM). Wie stets wurde das in der oberen Atmosphäre gebildete und daher an der Erdoberfläche allgegenwärtige kurzlebige Be-7 (Halbwertszeit: 53 Tage) mit spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm bis zu 1.400 Bq/kg TM bestimmt.

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 (Halbwertszeit: 8 Tage) wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 41 Bq/kg TM; Maximalwert: 1.400 Bq/kg TM, Vorjahr 37 bzw. 1.700 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Maximalwert für Abwasser: 380 Bq/l, Maximalwert für Klärschlamm: 6.300 Bq/kg TM) sowie Thallium-201 (Maximalwert: 140 Bq/kg TM), Thallium-202 (Maximalwert: 2,3 Bq/kg TM) und Indium-111 (Maximalwert: 74 Bq/kg TM). Im Klärschlamm einer Rostocker Kläranlage wurde einmalig Co-60 (1,2 Bq/kg TM) festgestellt. In Spuren von 0,03 Bq/kg TM wurde in einer Hamburger Kläranlage Pu-239/240 nachgewiesen, das bei Kernwaffenversuchen in den 50er und 60er Jahren freigesetzt worden ist.

Von den infolge des Atomkraftwerkunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 und Sr-90 von Bedeutung, wobei die Kontaminationen teilweise und bei Sr-90 sogar hauptsächlich durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffenversuche von 1945 bis etwa 1975 bedingt sind. Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Atomkraftwerkunfall in Tschernobyl z. T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 in Abwässern lagen zu 95% unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieses Radionuklids im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2007 zwischen 0,0014 und 0,32 Bq/l, bei einem Median von < 0,03 Bq/l (2006: zwischen 0,0014 und 0,01 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 2007 - wie seit bereits mehr als eineinhalb Jahrzehnten - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg) mit 65 Bq/kg TM für Cs-137. Seit 1999 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten 180, 140, 140, 110, 110, 98, 86, 71 und 65 Bq/kg TM.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme aller Bundesländer in den letzten 8 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 Nordrhein-Westfalen. Dies gilt auch teilweise für höher kontaminierte Gebiete. Im Zeitraum von 1988 bis 2007 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich über ein nahezu konstantes Niveau in den Jahren 1999 bis 2002 weiterhin verringern: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38, 37, 44, 30, 25, 24, 24 und 20 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 (Abbildung 2.6-1). Der extrem starke Anstieg des Jahresmittelwerts 2006 für Rheinland-Pfalz wurde verursacht durch ungewöhnlich hohe Kontaminationen dreier Klärschlammproben aus der Kläranlage Trier. Dieser Schlamm wird in einem Trockenbeet entwässert und kann als Folge unregelmäßiger Ausräumung u. U. sehr große Inhomogenitäten aufweisen. Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischen Aktivität der Klärschlämme sind die zu beobachtenden Schwankungen im Wesentlichen durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 65 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 11 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.

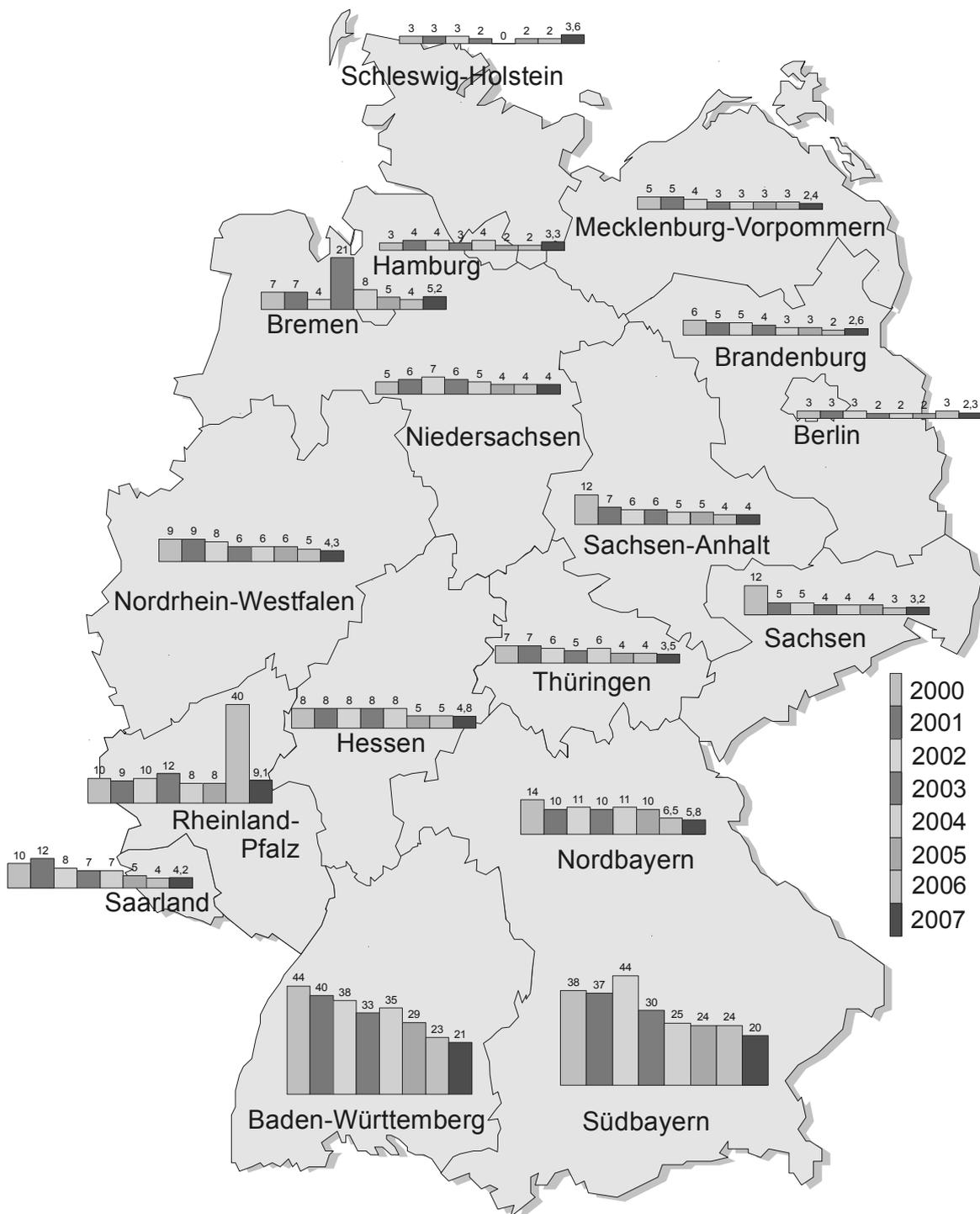


Abbildung 2.6-1 Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM (Jahresmittelwerte in den Bundesländern)
(Cs-137 in sewage sludge in Bq/kg dry weight, annual mean values in the Federal states)

Tabelle 2.6-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2007 - Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sewage sludge in the year 2007 - minimum, maximum, and mean values)

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|--|--------|--------|------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------|------------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l) | | | | | | | | |
| Schleswig-Holstein | K-40 | 20 | 18 | 1,3 | 1,6 | | < 0,54 | < 0,73 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,053 | < 0,086 |
| | I-131 | 20 | 12 | 0,096 | 0,3 | 0,39 | 0,11 | 0,29 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | 0,063 | 0,063 | | < 0,071 | < 0,098 |
| | Sr-90 | 4 | 4 | | | | < 0,05 | < 0,05 |
| | U-234 | 4 | 4 | | | | < 0,1 | < 0,1 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,1 | < 0,1 |
| | U-238 | 4 | 4 | | | | < 0,1 | < 0,1 |
| Hamburg | K-40 | 4 | 4 | | | | < 2,7 | < 1,6 |
| | Co-60 | 4 | 4 | | | | < 0,07 | < 0,059 |
| | I-131 | 4 | 0 | 0,21 | 0,32 | 0,25 | 0,24 | 0,29 |
| | Cs-137 | 4 | 4 | | | | < 0,083 | < 0,057 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 0,0011 | 0,09 | 0,023 | 0,0012 | 0,00066 |
| | U-234 | 4 | 3 | 0,00029 | 0,00029 | | < 0,00029 | < 0,00014 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,00011 | < 0,000078 |
| | U-238 | 4 | 3 | 0,00017 | 0,00017 | | < 0,0002 | < 0,00014 |
| Niedersachsen | K-40 | 48 | 9 | 0,4 | 2 | 0,75 | 0,66 | 0,66 |
| | Co-60 | 48 | 48 | | | | < 0,024 | < 0,025 |
| | I-131 | 48 | 13 | 0,034 | 1,9 | 0,23 | 0,089 | 0,082 |
| | Cs-137 | 48 | 47 | 0,024 | 0,024 | | < 0,02 | < 0,02 |
| | Sr-90 | 6 | 0 | 0,0045 | 0,0084 | 0,0067 | 0,0068 | 0,0084 |
| | U-234 | 4 | 2 | 0,0021 | 0,0025 | | 0,0021 | 0,0029 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,00058 | < 0,00062 |
| | U-238 | 4 | 2 | 0,0015 | 0,002 | | < 0,0015 | < 0,0024 |
| Bremen | K-40 | 8 | 3 | 0,97 | 6,4 | 2,2 | 1,3 | 1,4 |
| | Co-60 | 8 | 8 | | | | < 0,059 | < 0,056 |
| | I-131 | 8 | 1 | 0,045 | 0,98 | 0,36 | 0,26 | 0,23 |
| | Cs-137 | 8 | 6 | 0,052 | 0,16 | | < 0,066 | < 0,063 |
| | Sr-90 | 4 | 3 | 0,012 | 0,012 | | < 0,013 | < 0,013 |
| | U-234 | 4 | 2 | 0,0024 | 0,006 | 0,0043 | 0,0036 | 0,005 |
| | U-235 | 4 | 2 | 0,00018 | 0,00077 | | < 0,00077 | < 0,00078 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0018 | 0,0043 | 0,003 | 0,0029 | 0,003 |
| Nordrhein-Westfalen | K-40 | 40 | 31 | 0,32 | 4,6 | | < 1,1 | < 1,1 |
| | Co-60 | 40 | 40 | | | | < 0,048 | < 0,05 |
| | I-131 | 40 | 27 | 0,049 | 0,61 | | 0,13 | 0,13 |
| | Cs-137 | 40 | 39 | 0,32 | 0,32 | | < 0,051 | < 0,05 |
| | Sr-90 | 4 | 3 | 0,052 | 0,052 | | 0,052 | 0,15 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,007 | 0,0095 | 0,0081 | 0,0078 | 0,0063 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,0022 | < 0,0021 |
| | U-238 | 4 | 1 | 0,0049 | 0,0062 | 0,0056 | < 0,0059 | < 0,0049 |
| Hessen | K-40 | 20 | 20 | | | | < 1,2 | < 1,3 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,048 | < 0,048 |
| | I-131 | 20 | 18 | 0,074 | 0,14 | | < 0,12 | < 0,21 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | | | | < 0,05 | < 0,052 |
| | Sr-90 | 4 | 4 | | | | < 0,055 | < 0,1 |
| | U-234 | 4 | 2 | 0,01 | 0,012 | | 0,01 | 0,011 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,005 | < 0,005 |
| | U-238 | 4 | 2 | 0,008 | 0,008 | | 0,008 | 0,008 |

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|--|--------|--------|------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l) | | | | | | | | |
| Rheinland-Pfalz | K-40 | 20 | 10 | 0,97 | 2,5 | | 0,97 | < 0,85 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,027 | < 0,026 |
| | I-131 | 20 | 3 | 0,031 | 0,25 | 0,11 | 0,082 | 0,068 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | | | | < 0,026 | < 0,029 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 0,0016 | 0,0026 | 0,002 | 0,002 | 0,0024 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,0091 | 0,036 | 0,022 | 0,021 | 0,019 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,0017 | < 0,0021 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0095 | 0,039 | 0,023 | 0,022 | 0,02 |
| Baden-Württemberg | K-40 | 40 | 1 | 0,16 | 0,75 | 0,47 | 0,48 | < 0,78 |
| | Co-60 | 40 | 40 | | | | < 0,018 | < 0,031 |
| | I-131 | 40 | 38 | 0,021 | 0,86 | | < 0,042 | < 0,05 |
| | Cs-137 | 40 | 40 | | | | < 0,017 | < 0,026 |
| | Sr-90 | 4 | 3 | 0,0015 | 0,0015 | | 0,002 | 0,0014 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,0027 | 0,0033 | 0,003 | 0,0031 | 0,0041 |
| | U-235 | 4 | 3 | 0,00021 | 0,00021 | | < 0,00032 | < 0,00062 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0018 | 0,0029 | 0,0024 | 0,0025 | 0,003 |
| Bayern | K-40 | 35 | 32 | 1,2 | 1,6 | | < 1,4 | < 1,2 |
| | Co-60 | 35 | 35 | | | | < 0,1 | < 0,089 |
| | I-131 | 29 | 24 | 0,23 | 0,53 | | 0,25 | 0,43 |
| | Cs-137 | 35 | 35 | | | | < 0,1 | < 0,097 |
| | Sr-90 | 4 | 1 | 0,0036 | 0,011 | 0,076 | 0,006 | 0,018 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,00074 | 0,013 | 0,0078 | 0,0085 | 0,0078 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,00064 | < 0,0007 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,00066 | 0,012 | 0,0072 | 0,0079 | 0,0084 |
| Saarland | K-40 | 6 | 0 | 0,42 | 2,2 | 1 | 0,84 | 0,85 |
| | Co-60 | 6 | 6 | | | | < 0,007 | < 0,0099 |
| | I-131 | 1 | 1 | | | | < 0,007 | 0,019 |
| | Cs-137 | 6 | 6 | | | | < 0,0065 | < 0,011 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 0,0028 | 0,0035 | 0,0032 | 0,0032 | 0,0046 |
| | U-234 | 2 | 0 | 0,0023 | 0,0041 | 0,0032 | 0,0032 | 0,0031 |
| | U-235 | 2 | 2 | | | | < 0,00019 | < 0,0002 |
| | U-238 | 2 | 0 | 0,0018 | 0,0032 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0021 |
| Berlin | K-40 | 4 | 0 | 0,72 | 0,9 | 0,84 | 0,87 | 0,8 |
| | Co-60 | 4 | 4 | | | | < 0,0011 | < 0,0011 |
| | I-131 | 4 | 4 | | | | < 0,026 | < 0,024 |
| | Cs-137 | 4 | 2 | 0,0016 | 0,0031 | | < 0,0022 | 0,002 |
| | Sr-90 | 3 | 1 | 0,0021 | 0,0026 | 0,0023 | < 0,0025 | 0,0037 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,0013 | 0,0042 | 0,0031 | 0,0034 | 0,0045 |
| | U-235 | 4 | 0 | 0,000097 | 0,00017 | 0,00015 | 0,00016 | 0,00016 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0011 | 0,0036 | 0,0026 | 0,0029 | 0,0033 |
| Brandenburg | K-40 | 32 | 7 | 0,5 | 3 | 0,97 | 0,9 | 0,91 |
| | Co-60 | 32 | 32 | | | | < 0,015 | < 0,006 |
| | I-131 | 32 | 13 | 0,04 | 1,1 | 0,31 | 0,08 | 0,075 |
| | Cs-137 | 32 | 22 | 0,0014 | 0,0041 | | < 0,014 | < 0,0064 |
| | Sr-90 | 11 | 0 | 0,002 | 0,033 | 0,0056 | 0,0029 | 0,003 |
| | U-234 | 12 | 8 | 0,0018 | 0,0021 | | < 0,0005 | 0,0008 |
| | U-235 | 12 | 9 | 0,00009 | 0,00011 | | < 0,0002 | < 0,00026 |
| | U-238 | 12 | 8 | 0,0018 | 0,0021 | | 0,00055 | 0,0004 |
| Mecklenburg-Vorpommern | K-40 | 20 | 0 | 0,2 | 1,2 | 0,64 | 0,65 | 0,65 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | 0,04 | < 0,01 | < 0,012 |
| | I-131 | 20 | 6 | 0,0089 | 0,87 | | < 0,019 | 0,08 |
| | Cs-137 | 20 | 19 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0043 | < 0,0091 | < 0,01 |
| | Sr-90 | 4 | 1 | 0,0019 | 0,0091 | 0,0075 | 0,0031 | 0,0044 |
| | U-234 | 4 | 1 | 0,0051 | 0,011 | | 0,0056 | < 0,0082 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | 0,0065 | < 0,0051 | < 0,0055 |
| | U-238 | 4 | 1 | 0,0032 | 0,011 | | 0,0041 | < 0,0011 |

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|--|--------|--------|------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l) | | | | | | | | |
| Sachsen | K-40 | 20 | 10 | 0,52 | 1,5 | | 0,93 | 0,79 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,072 | < 0,072 |
| | I-131 | 19 | 8 | 0,066 | 0,44 | 0,19 | 0,15 | 0,13 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | | | | < 0,068 | < 0,063 |
| | Sr-90 | 4 | 4 | | | | < 0,013 | < 0,015 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,0019 | 0,0083 | 0,0039 | 0,0027 | 0,0052 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,0013 | < 0,0018 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0019 | 0,0071 | 0,0038 | 0,003 | 0,042 |
| Sachsen-Anhalt | K-40 | 20 | 0 | 0,3 | 1,5 | 0,77 | 0,71 | 0,69 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,01 | < 0,0098 |
| | I-131 | 20 | 3 | 0,018 | 0,3 | 0,086 | 0,045 | 0,053 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | | | | < 0,0096 | < 0,0099 |
| | Sr-90 | 4 | 4 | | | | < 0,1 | < 0,01 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,0035 | 0,03 | 0,011 | 0,0049 | 0,043 |
| | U-235 | 4 | 3 | 0,0011 | 0,0011 | | < 0,00043 | 0,0021 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0027 | 0,02 | 0,0076 | 0,0038 | 0,04 |
| Thüringen | K-40 | 20 | 18 | 1,3 | 2,7 | | < 2,1 | < 2,1 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,084 | < 0,084 |
| | I-131 | 20 | 20 | | | | < 0,097 | 0,11 |
| | Cs-137 | 20 | 20 | | | | < 0,089 | < 0,09 |
| | Sr-90 | 4 | 3 | 0,0037 | 0,0037 | | < 0,0033 | < 0,0032 |
| | U-234 | 4 | 0 | 0,01 | 0,047 | 0,026 | 0,022 | 0,015 |
| | U-235 | 4 | 4 | | | | < 0,00087 | < 0,00073 |
| | U-238 | 4 | 0 | 0,0051 | 0,027 | 0,015 | 0,014 | 0,0072 |
| Bundesrepublik Deutschland | K-40 | 357 | 163 | 0,16 | 6,4 | 0,86 | < 0,86 | < 0,91 |
| | Co-60 | 357 | 357 | | | | < 0,031 | < 0,035 |
| | I-131 | 345 | 191 | 0,089 | 1,9 | | < 0,099 | < 0,095 |
| | Cs-137 | 357 | 339 | 0,0014 | 0,32 | | < 0,03 | < 0,032 |
| | Sr-90 | 70 | 31 | 0,0011 | 0,09 | 0,0082 | 0,0048 | < 0,0056 |
| | U-234 | 70 | 22 | 0,00029 | 0,047 | 0,0085 | 0,0035 | 0,005 |
| | U-235 | 70 | 59 | 0,00009 | 0,0011 | | < 0,00064 | < 0,00076 |
| | U-238 | 70 | 21 | 0,00017 | 0,039 | 0,0067 | 0,0029 | 0,0039 |
| Klärschlamm (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Schleswig-Holstein | K-40 | 20 | 0 | 30 | 130 | 75 | 80 | 62 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,54 | < 0,69 |
| | I-131 | 20 | 0 | 6,8 | 91 | 26 | 17 | 22 |
| | Cs-137 | 20 | 2 | 0,75 | 19 | 3,6 | 2 | 1,7 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1,9 | 4,5 | 2,9 | 2,6 | 3,1 |
| | U-234 | 4 | 0 | 14 | 22 | 18 | 17 | 13 |
| | U-235 | 4 | 3 | 7,2 | 7,2 | | < 5 | < 5 |
| | U-238 | 4 | 0 | 12 | 17 | 14 | 14 | 12 |
| Hamburg | K-40 | 8 | 0 | 94 | 480 | 310 | 390 | 250 |
| | Co-60 | 8 | 8 | | | | < 1,6 | < 1,5 |
| | I-131 | 8 | 0 | 18 | 170 | 70 | 66 | 61 |
| | Cs-137 | 8 | 1 | 1,3 | 6,3 | 3,3 | < 3,1 | < 2,8 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1 | 4,5 | 2,1 | 1,4 | 1,1 |
| | U-234 | 4 | 0 | 13 | 0,51 | 16 | 14 | 12 |
| | U-235 | 4 | 0 | 11 | | 0,7 | 12 | 0,56 |
| | U-238 | 4 | 0 | | | 13 | 12 | 11 |
| Niedersachsen | K-40 | 40 | 0 | 73 | 640 | 190 | 110 | 120 |
| | Co-60 | 40 | 40 | | | | < 0,37 | < 0,44 |
| | I-131 | 40 | 0 | 1,1 | 1.400 | 180 | 67 | 70 |
| | Cs-137 | 40 | 1 | 0,88 | 12 | 4 | 3,6 | 3,3 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 2,6 | 3,8 | 3,1 | 3 | 2,6 |
| | U-234 | 4 | 0 | 1 | 43 | 21 | 20 | 25 |
| | U-235 | 4 | 1 | 0,51 | 1,6 | 1,1 | 0,86 | 1,3 |
| | U-238 | 4 | 0 | 1,1 | 34 | 17 | 17 | 22 |

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|---|--------|--------|------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Klärschlamm (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Bremen | K-40 | 8 | 0 | 310 | 670 | 410 | 360 | 400 |
| | Co-60 | 8 | 8 | | | | < 2,8 | < 2,9 |
| | I-131 | 8 | 0 | 5,7 | 150 | 56 | 51 | 100 |
| | Cs-137 | 8 | 1 | 2,1 | 17 | 5,2 | < 3,6 | 5,2 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 0,99 | 3,7 | 2 | 1,6 | 0,89 |
| | U-234 | 3 | 0 | 9,1 | 17 | 13 | 14 | 12 |
| | U-235 | 3 | 1 | 2,2 | 2,9 | 2,6 | 2,9 | < 0,68 |
| | U-238 | 3 | 0 | 8,6 | 16 | 12 | 13 | 10 |
| Nordrhein-Westfalen | K-40 | 40 | 1 | 78 | 500 | 210 | 140 | 140 |
| | Co-60 | 40 | 40 | | | | < 0,24 | < 0,25 |
| | I-131 | 39 | 5 | 0,25 | 390 | 73 | 45 | < 3 |
| | Cs-137 | 40 | 2 | 1,2 | 10 | 4,3 | 3,6 | 3,6 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1,5 | 5,9 | 2,9 | 2,1 | 14 |
| | U-234 | 4 | 0 | 3,2 | 38 | 28 | 36 | 37 |
| | U-235 | 4 | 0 | 0,71 | 1,9 | 1,4 | 1,4 | 1,5 |
| | U-238 | 4 | 0 | 26 | 31 | 28 | 28 | 29 |
| Hessen | K-40 | 20 | 0 | 70 | 190 | 140 | 150 | 150 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 1,1 | < 0,95 |
| | I-131 | 20 | 3 | 13 | 140 | 53 | 40 | 31 |
| | Cs-137 | 20 | 5 | 1,4 | 14 | 4,8 | 3,6 | 3,7 |
| | Sr-90 | 4 | 3 | 1,3 | 1,3 | | < 0,83 | 1,3 |
| | U-234 | 4 | 0 | 32 | 140 | 84 | 83 | 83 |
| | U-235 | 4 | 0 | 1,3 | 4,6 | 2,8 | 2,7 | 2,7 |
| | U-238 | 4 | 0 | 24 | 89 | 56 | 56 | 56 |
| Rheinland-Pfalz | K-40 | 20 | 0 | 110 | 270 | 190 | 190 | 180 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,57 | < 0,51 |
| | I-131 | 20 | 5 | 3,3 | 240 | 54 | 19 | 12 |
| | Cs-137 | 20 | 3 | 1,2 | 48 | 9,1 | 3,4 | 5,3 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1,9 | 4,3 | 3,1 | 3,1 | 4,2 |
| | U-234 | 4 | 0 | 34 | 70 | 52 | 51 | 46 |
| | U-235 | 4 | 0 | 1,4 | 3 | 1,9 | 1,6 | 1,3 |
| | U-238 | 4 | 0 | 22 | 43 | 35 | 38 | 32 |
| Baden-Württemberg | K-40 | 40 | 0 | 71 | 440 | 180 | 150 | 170 |
| | Co-60 | 40 | 40 | | | | < 0,75 | < 0,92 |
| | I-131 | 40 | 7 | 1,2 | 970 | 150 | 52 | 48 |
| | Cs-137 | 40 | 0 | 2,1 | 83 | 21 | 10 | 10 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 0,78 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 1 |
| | U-234 | 4 | 0 | 25 | 58 | 41 | 40 | 37 |
| | U-235 | 4 | 0 | 0,69 | 2,5 | 1,6 | 1,6 | 1,4 |
| | U-238 | 4 | 0 | 18 | 53 | 35 | 35 | 30 |
| Baden-Württemberg (West ²) | Co-60 | 28 | 28 | | | | < 0,67 | < 0,79 |
| | Cs-137 | 28 | 0 | 2,1 | 41 | 9,3 | 5,7 | 8,3 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 0,78 | 1,1 | 0,94 | 0,94 | 0,64 |
| Baden-Württemberg (Ost ³) | Co-60 | 12 | 12 | | | | < 0,88 | < 0,93 |
| | Cs-137 | 12 | 0 | 23 | 83 | 49 | 51 | 56 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 1 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,5 |
| Bayern | K-40 | 36 | 0 | 74 | 520 | 250 | 250 | 230 |
| | Co-60 | 36 | 36 | | | | < 1,5 | < 1,3 |
| | I-131 | 36 | 3 | 7,7 | 430 | 82 | 48 | 35 |
| | Cs-137 | 36 | 1 | 2 | 45 | 13 | 10 | 9,8 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 2,1 | 8,6 | 5,5 | 5,6 | 12 |
| | U-234 | 4 | 0 | 35 | 52 | 45 | 46 | 48 |
| | U-235 | 9 | 1 | 1,9 | 9,2 | 4,8 | 5,1 | 5,7 |
| | U-238 | 4 | 0 | 35 | 47 | 42 | 44 | 44 |
| Bayern (Nord ²) | Co-60 | 18 | 18 | | | | < 1,6 | < 1,3 |
| | Cs-137 | 18 | 1 | 2 | 11 | 5,8 | 5,4 | 6,6 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 3,1 | 8,2 | 5,6 | 5,6 | 14 |

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|-------------------------------|----------------|--------|------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------|--------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Klärschlamm (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Bayern (Süd ³) | Co-60 | 18 | 18 | | | | < 1,5 | < 1,3 |
| | Cs-137 | 18 | 0 | 4,9 | 45 | 20 | 18 | 19 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 2,1 | 8,6 | 5,3 | 5,3 | 10 |
| Saarland | K-40 | 8 | 0 | 110 | 1.500 | 380 | 240 | 190 |
| | Co-60 | 8 | 8 | | | | < 0,33 | < 0,42 |
| | I-131 | 8 | 0 | 2,5 | 55 | 21 | 18 | 20 |
| | Cs-137 | 8 | 0 | 1,1 | 8,4 | 4,2 | 3,8 | 3,9 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 2,5 | 3,3 | 2,8 | 2,6 | 2,6 |
| | U-234 | 4 | 0 | 48 | 57 | 53 | 54 | 45 |
| | U-235 | 4 | 0 | 1,6 | 2,1 | 1,9 | 2 | 1,4 |
| | U-238 | 4 | 0 | 34 | 43 | 39 | 40 | 32 |
| Berlin | K-40 | 4 | 0 | 54 | 95 | 69 | 64 | 90 |
| | Co-60 | 4 | 4 | | | | < 0,6 | < 0,74 |
| | I-131 | 4 | 0 | 82 | 100 | 93 | 93 | 100 |
| | Cs-137 | 4 | 0 | 0,93 | 3,2 | 2,3 | 2,6 | 1,9 |
| | Sr-90 | 2 | 0 | 1,1 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,9 |
| | U-234 | 2 | 0 | 13 | 15 | 14 | 14 | 11 |
| | U-235 | 2 | 0 | 0,61 | 0,69 | 0,65 | 0,65 | 0,43 |
| | U-238 | 2 | 0 | 12 | 14 | 13 | 13 | 10 |
| Brandenburg | K-40 | 32 | 0 | 30 | 160 | 91 | 97 | 100 |
| | Co-60 | 32 | 32 | | | | < 0,24 | < 0,22 |
| | I-131 | 32 | 0 | 2 | 240 | 85 | 46 | 54 |
| | Cs-137 | 32 | 0 | 0,8 | 10 | 2,6 | 1,9 | 1,8 |
| | Sr-90 | 10 | 0 | 1,4 | 4 | 2,5 | 2,2 | 2 |
| | U-234 | 10 | 0 | 13 | 40 | 20 | 19 | 18 |
| | U-235 | 10 | 1 | 0,69 | 2 | 1 | 0,93 | 0,8 |
| | U-238 | 10 | 0 | 12 | 37 | 19 | 17 | 16 |
| Mecklenburg-Vorpommern | K-40 | 20 | 0 | 60 | 230 | 120 | 110 | 110 |
| | Co-60 | 20 | 19 | 1,2 | 1,2 | | < 0,31 | < 0,31 |
| | I-131 | 20 | 0 | 1,5 | 390 | 86 | 66 | 61 |
| | Cs-137 | 20 | 0 | 0,49 | 5,2 | 2,4 | 2,1 | 2,3 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 2,8 | 10 | 5,3 | 4,1 | 3,4 |
| | U-234 | 4 | 0 | 17 | 32 | 25 | 26 | 15 |
| | U-235 | 4 | 1 | 0,42 | 1,4 | 0,95 | 1,2 | 0,87 |
| | U-238 | 4 | 0 | 14 | 28 | 23 | 25 | 15 |
| Sachsen | K-40 | 20 | 0 | 67 | 230 | 140 | 130 | 140 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,63 | < 0,57 |
| | Cs-137 | 20 | 1 | 0,85 | 6,1 | 3,2 | 2,1 | 2,5 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1,3 | 2,4 | 1,9 | 2 | 2 |
| | U-234 | 4 | 0 | 41 | 69 | 53 | 52 | 59 |
| | U-235 | 4 | 2 | 1,8 | 1,9 | | < 2,9 | 3,2 |
| | U-238 | 4 | 0 | 42 | 61 | 50 | 48 | 49 |
| | Sachsen-Anhalt | K-40 | 20 | 0 | 95 | 400 | 190 | 170 |
| Co-60 | | 20 | 20 | | | | < 0,21 | < 0,19 |
| I-131 | | 20 | 1 | 0,56 | 650 | 110 | 42 | 43 |
| Cs-137 | | 20 | 0 | 1,8 | 9,3 | 4 | 2,8 | 3,7 |
| Sr-90 | | 4 | 3 | 1,4 | 1,4 | | < 5 | < 5 |
| U-234 | | 4 | 0 | 43 | 100 | 83 | 95 | 88 |
| U-235 | | 13 | 0 | 2 | 5,9 | 4 | 4 | 3,1 |
| U-238 | | 13 | 0 | 37 | 150 | 70 | 72 | 60 |
| Klärschlamm (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Thüringen | K-40 | 20 | 0 | 180 | 350 | 240 | 220 | 240 |
| | Co-60 | 20 | 20 | | | | < 0,44 | < 0,44 |
| | I-131 | 20 | 4 | 0,59 | 150 7,2 | 52 | 32 | 24 |
| | Cs-137 | 20 | 0 | 2,1 | 1,5 | 3,5 | 3,4 | 4,4 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1,2 | 170 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| | U-234 | 4 | 0 | 47 | 4,4 | 100 | 100 | 84 |
| | U-235 | 4 | 0 | 1,4 | 88 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| | U-238 | 4 | 0 | 28 | | 57 | 57 | 63 |

| Land | Nuklid | Anzahl | | Minimalwert ¹ | Maximalwert ¹ | Mittel-/ Einzelwert ¹ | Median | |
|---|--------|--------|------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------|--------|
| | | Gesamt | <NWG | | | | 2007 | 2006 |
| Bundesrepublik Deutschland | K-40 | 356 | 1 | 30 | 1.500 | 190 | 140 | 150 |
| | Co-60 | 356 | 355 | 1,2 | 1,2 | | < 0,5 | < 0,53 |
| | I-131 | 335 | 28 | 0,25 | 1.400 | 92 | < 41 | 37 |
| | Cs-137 | 356 | 17 | 0,49 | 83 | 6,9 | 3,5 | 3,8 |
| | Sr-90 | 68 | 6 | 0,78 | 10 | 2,7 | 2,1 | 2 |
| | U-234 | 67 | 0 | 1 | 170 | 41 | 34 | 30 |
| | U-235 | 81 | 10 | 0,42 | 9,2 | 2,5 | 1,9 | 1,5 |
| | U-238 | 76 | 0 | 1,1 | 150 | 37 | 31 | 31 |
| Bundesrepublik Deutschland (Nord ²) | Co-60 | 326 | 325 | 1,2 | 1,2 | | < 0,45 | < 0,47 |
| | Cs-137 | 326 | 17 | 0,49 | 48 | 4,6 | 3,2 | 3,4 |
| | Sr-90 | 64 | 6 | 0,78 | 10 | 2,6 | 2,2 | 2 |
| Bundesrepublik Deutschland (Süd ³) | Co-60 | 30 | 30 | | | | < 1,2 | < 1,1 |
| | Cs-137 | 30 | 0 | 4,9 | 83 | 31 | 23 | 24 |
| | Sr-90 | 4 | 0 | 1 | 8,6 | 3,3 | 1,7 | 5,2 |

- 1 Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert, der Maximalwert und der Median angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet
- 2 Nördlich bzw. westlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel
- 3 Östlich bzw. südlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

2.7 Abfälle (waste)

Allgemeine Aspekte der Radioaktivitätsüberwachung von Abfällen sind in Teil A - II - 2.7 zusammengefasst. Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2007 der Leitstelle Messwerte zu den Umweltmedien Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien, von Asche, Schlacke, festen und flüssigen Rückständen aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie für in den Handel gelangenden Kompost aus Kompostierungsanlagen mitgeteilt.

In Tabelle 2.7-1 sind die ausgewerteten Daten zusammengefasst. Angegeben werden jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Cs-137, I-131, K-40 und Tritium. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel unterschieden, da diese etwa die Grenze zwischen den durch den Unfall von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit für die sonstigen aufgeführten Radionuklide nicht besteht, wurden die Messwerte aus allen Ländern zusammengefasst ausgewertet.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Unfall in Tschernobyl im Jahre 1986 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 2007, d. h. im Laufe von 21 Jahren, auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,00069 : 1 (2006: 0,00095 : 1) abgenommen. Deshalb ist in den Proben kein Cs-134 mehr nachzuweisen und es werden nur noch Nachweisgrenzen angegeben.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** sind bei den höchsten Werten für Cs-137 kaum noch Unterschiede zwischen Nord- und Südbayern zu bemerken. Die Maximalwerte liegen bei 0,50 Bq/l bzw. 0,59 Bq/l (2006: 0,58 Bq/l bzw. 0,57 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,055 Bq/l (2006: <0,063 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,037 Bq/l bis 59 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (2006: 0,047 bis 58 Bq/l, Median: 13 Bq/l).

Tritium wurde in 83% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,3 und 400 Bq/l (2006: 3,1 bis 440 Bq/l) gefunden.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich / östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel bei 350 Bq/kg TM (2006: 270 Bq/kg TM), für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt er bei 70 Bq/kg TM (2006: 140 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 280 Bq/kg TM bis 2800 Bq/kg TM, der Median bei 1300 Bq/kg TM (2006: 270 bis 3200 Bq/kg TM, Median: 1300 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,20 Bq/kg TM bis 77 Bq/kg TM (2006: 0,67 bis 32 Bq/kg TM) nachgewiesen werden.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 11 Bq/kg TM (2006: 16 Bq/kg TM). Die gemessenen Werte südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel liegt bei 4,1 bis 14 Bq/kg TM (2006: 2,9 bis 10 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 53 Bq/kg TM bis 2.900 Bq/kg TM (2006: 130 bis 1.500 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,27 Bq/kg TM bis 4,6 Bq/kg TM (2006: 0,63 bis 45 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegt der Median des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 3,2 Bq/kg TM (2006: 0,91 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 2,1 Bq/kg TM (2006: 2,3 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 1,4 Bq/kg TM bis 2.000 Bq/kg TM (2006: 1,0 bis 2.100 Bq/kg TM) mit einem Median von 110 Bq/kg TM (2006: 120 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,30 Bq/kg TM bis 580 Bq/kg TM (2006: 0,30 bis 16.000 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 (2006: alle Werte kleiner Nachweisgrenze), für das Gebiet der Bundesrepublik wurde ein Median von <0,098 Bq/l (2006: <0,092 Bq/l) berechnet.

I-131 wurde in 28 Proben mit Werten zwischen 0,019 Bq/l und 8.000 Bq/l (2006: 0,026 und 37.000 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 4,2 Bq/l (2006: 1,8 Bq/l). Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche.

Die Untersuchung des **Kompostes** ergab für die spezifische Aktivität des Cs-137 südlich/östlich der Linie Radolfzell - Eichstätt - Regensburg - Zwiesel Werte von 15 Bq/kg TM bis 40 Bq/kg TM (2006: 23 bis 53 Bq/kg TM) mit einem Median von 19 Bq/kg TM (2006: 28 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 1,1 Bq/kg TM und 21 Bq/kg TM (2006: 2,0 bis 25 Bq/kg TM), der Median liegt bei 6,3 Bq/kg TM (2006: 6,5 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 61 Bq/kg TM bis 850 Bq/kg TM, der Median bei 430 Bq/kg TM (2006: 130 bis 860 Bq/kg TM, Median: 480 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird bei Verwendung üblicher Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Transfers von Cäsium über die Wurzel in die Pflanzen ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

Zusammenfassend ist für Abfälle festzustellen, dass der Gehalt an Cs-137 oft noch durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 2.7-1 Überwachung von Abfällen im Jahr 2007
(Monitoring of residues and wastes in the year 2007)

| Land | Nuklid | Anzahl gesamt | Anzahl <NWG | Minimal- wert ^a | Maximal- wert ^a | Mittel- werte ^a | Median 2007 | Median 2006 |
|--|--------|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| Sickerwasser (Bq/l) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 66 | 39 | 0,0068 | 0,50 | | < 0,052 | < 0,061 |
| Südlich * | Cs-137 | 4 | 1 | 0,11 | 0,59 | 0,42 | 0,34 | 0,19 |
| Alle Länder | K-40 | 70 | 7 | 0,37 | 59 | 16 | 13 | 13 |
| | H-3 | 70 | 12 | 3,3 | 400 | 52 | 27 | 19 |
| Filterstaub (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 54 | 0 | 0,96 | 70 | 21 | 21 | 19 |
| Südlich * | Cs-137 | 4 | 0 | 210 | 350 | 280 | 280 | 220 |
| Alle Länder | K-40 | 58 | 0 | 280 | 2.800 | 1.200 | 1.300 | 1.300 |
| | I-131 | 51 | 27 | 0,20 | 77 | 11 | < 1,4 | < 1,1 |
| Schlacke (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 64 | 0 | 0,16 | 11 | 2,2 | 1,4 | 1,7 |
| Südlich * | Cs-137 | 4 | 0 | 4,1 | 14 | 7,2 | 5,3 | 9,4 |
| Alle Länder | K-40 | 68 | 0 | 53 | 2.900 | 340 | 290 | 280 |
| | I-131 | 58 | 51 | 0,27 | 4,6 | | < 0,38 | < 0,62 |
| Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 40 | 12 | 0,087 | 77 | 15 | 2,1 | 2,3 |
| Südlich * | Cs-137 | 4 | 0 | 0,54 | 6,1 | 3,3 | 3,2 | 0,91 |
| Alle Länder | K-40 | 44 | 2 | 1,4 | 2.000 | 370 | 110 | 110 |
| | I-131 | 41 | 10 | 0,30 | 580 | 92 | 4,4 | 14 |
| Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 35 | 23 | 0,12 | 4,5 | | < 0,098 | < 0,096 |
| Südlich * | Cs-137 | 2 | 2 | | | | < 0,11 | < 0,078 |
| Alle Länder | K-40 | 37 | 11 | 1,1 | 250 | 25 | 3,6 | 2,5 |
| | I-131 | 36 | 8 | 0,019 | 8.000 | 460 | 4,2 | 2,9 |
| Kompost (Bq/kg TM) | | | | | | | | |
| Nördlich * | Cs-137 | 73 | 0 | 1,1 | 21 | 7,1 | 6,3 | 6,5 |
| Südlich * | Cs-137 | 4 | 0 | 15 | 40 | 23 | 19 | 28 |
| Alle Länder | K-40 | 77 | 0 | 61 | 850 | 430 | 430 | 480 |

* Nördlich/westlich und südlich/östlich der Linie Radolfzell-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel

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

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

Nach dem Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen an Referenzgruppen zur Bestimmung der Cs-137- Aktivität durchgeführt. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 2.8-1 und 2.8-2 zusammengefasst und in den Abbildungen 2.8-1 bis 2.8-4 dargestellt. Unter „Jahresmittelwert“ wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS am Standort Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle am Forschungszentrum Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen nicht mehr regelmäßig ihre Referenzgruppen. Ein Trend für den Gehalt an Radiocäsium im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In den Abbildungen 2.8-5 und 2.8-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen an verschiedenen Orten in Deutschland, getrennt für Frauen und Männer, zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Radiocäsium angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 21 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,22 mSv.

Tabelle 2.8-1 Jahres- und Monatsmittelwerte für den Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)

Messstelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Leitstelle Inkorporationsüberwachung

| Jahr Monat | Frauen | | | Männer | | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------|----------------------|-----------------------------------|--------|
| | Zahl der Personen | spezifische Aktivität in Bq/kg | | Zahl der Personen | spezifische Aktivität in Bq/kg | |
| | | K-40 | Cs-137 | | K-40 | Cs-137 |
| 1995 | 248 | 46 | 1,04 | 277 | 54 | 1,28 |
| 1996 | 282 | 47 | 0,93 | 289 | 56 | 1,06 |
| 1997 | 304 | 44 | 0,72 | 332 | 54 | 0,85 |
| 1998 | 316 | 45 | 0,61 | 265 | 52 | 0,67 |
| 1999 | 290 | 56 | < 1,4 | 255 | 61 | < 1,2 |
| 2000 | 265 | 58 | < 1,6 | 242 | 63 | < 1,2 |
| 2001 | 362 | 57 | < 1,4 | 236 | 62 | < 1,1 |
| 2002 | 367 | 57 | < 1,3 | 245 | 62 | < 1,1 |
| 2003 | 419 | 57 | < 1,3 | 274 | 63 | < 1,1 |
| 2004 | 398 | 56 | < 1,4 | 278 | 62 | < 1,1 |
| 2005 | 444 | 55 | < 1,3 | 299 | 61 | < 1,1 |
| 2006 | 456 | 55 | 1,4 | 314 | 61 | < 1,1 |
| 2007 | 387 | 54 | < 1,3 | 292 | 59 | < 1,1 |
| Monatsmittelwerte für 2007 | | | | | | |
| Januar | 43 | 56 | < 1,4 | 25 | 60 | < 1,1 |
| Februar | 38 | 55 | < 1,4 | 30 | 61 | < 1,1 |
| März | 42 | 56 | < 1,4 | 26 | 58 | < 1,1 |
| April | 38 | 55 | < 1,4 | 27 | 59 | < 1,1 |
| Mai | 43 | 55 | < 1,4 | 28 | 60 | < 1,0 |
| Juni | 17 | 53 | < 1,4 | 12 | 61 | < 1,1 |
| Juli | 36 | 56 | < 1,3 | 28 | 61 | < 1,1 |
| August ^a | - | - | - | - | - | - |
| September | 34 | 50 | < 1,2 | 28 | 58 | < 1,0 |
| Oktober | 28 | 50 | < 1,2 | 25 | 55 | < 1,0 |
| November | 33 | 52 | < 1,2 | 35 | 54 | < 1,0 |
| Dezember | 35 | 52 | < 1,2 | 28 | 55 | < 1,0 |

a im August 2007 keine Messungen wegen Detektoraustausches

**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 |
| 1995 | 106 | 49 | 0,19 | 98 | 54 | 0,32 |
| 1996 ^a | 36 | 49 | < 0,21 | 38 | 57 | < 0,22 |
| 1997 | 112 | 51 | 0,22 | 112 | 61 | 0,21 |
| 1998 | 114 | 51 | < 0,21 | 118 | 63 | < 0,24 |
| 1999 | 110 | 51,5 | < 0,23 | 115 | 61 | < 0,27 |
| 2000 | 109 | 51 | < 0,16 | 106 | 60 | < 0,27 |
| 2001 | 94 | 52 | < 0,20 | 101 | 61 | < 0,31 |
| 2002 | 86 | 50 | 0,22 | 86 | 60 | 0,31 |
| 2003 | 56 | 52 | 0,20 | 54 | 59 | 0,31 |
| 2004 | 62 | 53 | 0,24 | 56 | 61 | 0,32 |
| 2005 | 41 | 52 | 0,16 | 35 | 57 | 0,26 |
| 2006 | 19 | 41 | 0,17 | 18 | 44 | 0,21 |
| 2007 | 83 | 49 | 0,06 | 73 | 62 | 0,12 |
| Monatsmittelwerte für 2007 | | | | | | |
| Januar | 4 | 45 | 0,04 | 3 | 60 | 0,16 |
| Februar | 5 | 48 | 0,10 | 7 | 59 | 0,10 |
| März | 8 | 47 | 0,02 | 8 | 60 | 0,09 |
| April | 10 | 49 | 0,13 | 6 | 59 | 0,09 |
| Mai | 4 | 48 | 0,01 | 2 | 63 | 0,11 |
| Juni | 10 | 47 | 0,02 | 9 | 59 | 0,07 |
| Juli | 10 | 47 | 0,08 | 10 | 61 | 0,07 |
| August | 8 | 48 | 0,10 | 9 | 64 | 0,13 |
| September | 10 | 49 | 0,08 | 8 | 64 | 0,10 |
| Oktober | 8 | 49 | 0,08 | 5 | 70 | 0,24 |
| November | 5 | 53 | 0,09 | 6 | 65 | 0,15 |
| Dezember | 1 | 59 | 0,00 | 0 | - | - |

a Mai 1996 keine Messungen

- Messwertermittlung nicht möglich

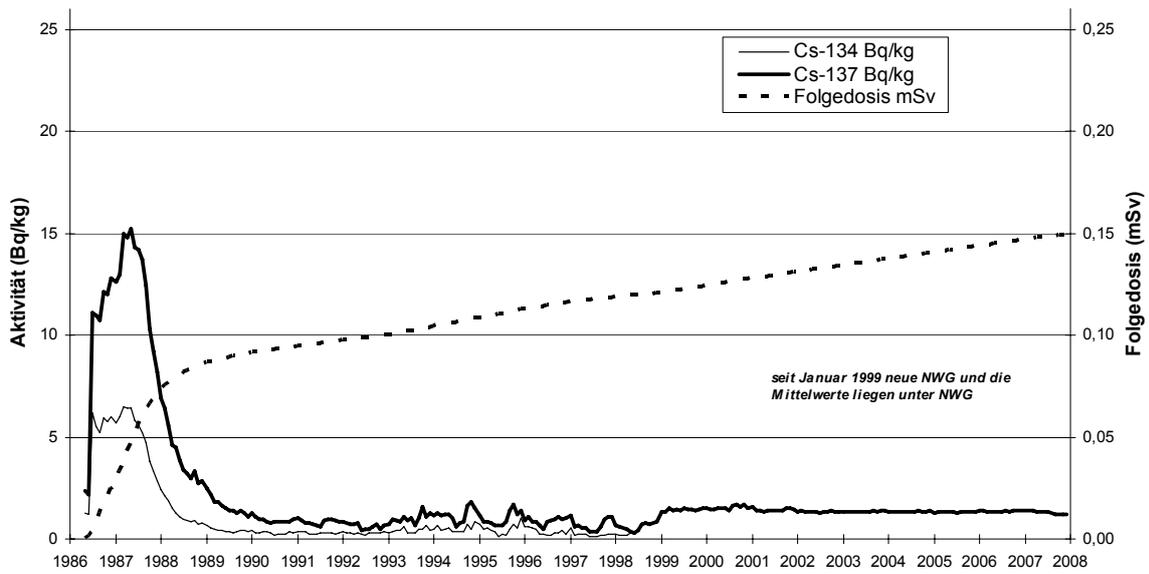


Abbildung 2.8-1 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munich, women)*

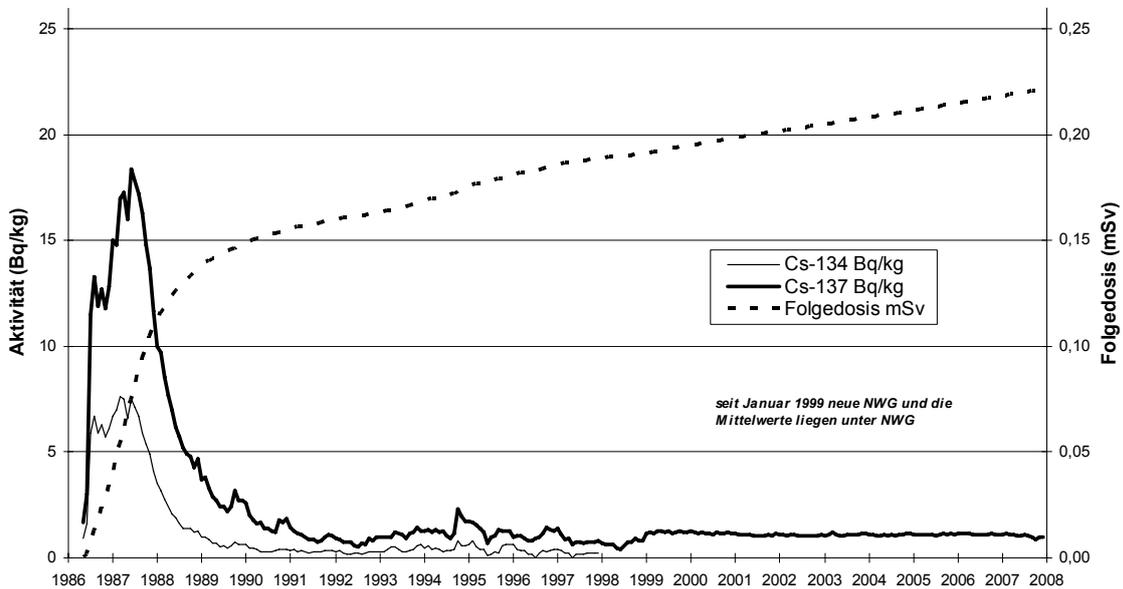


Abbildung 2.8-2 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: BfS-München, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: BfS Munich, men)*

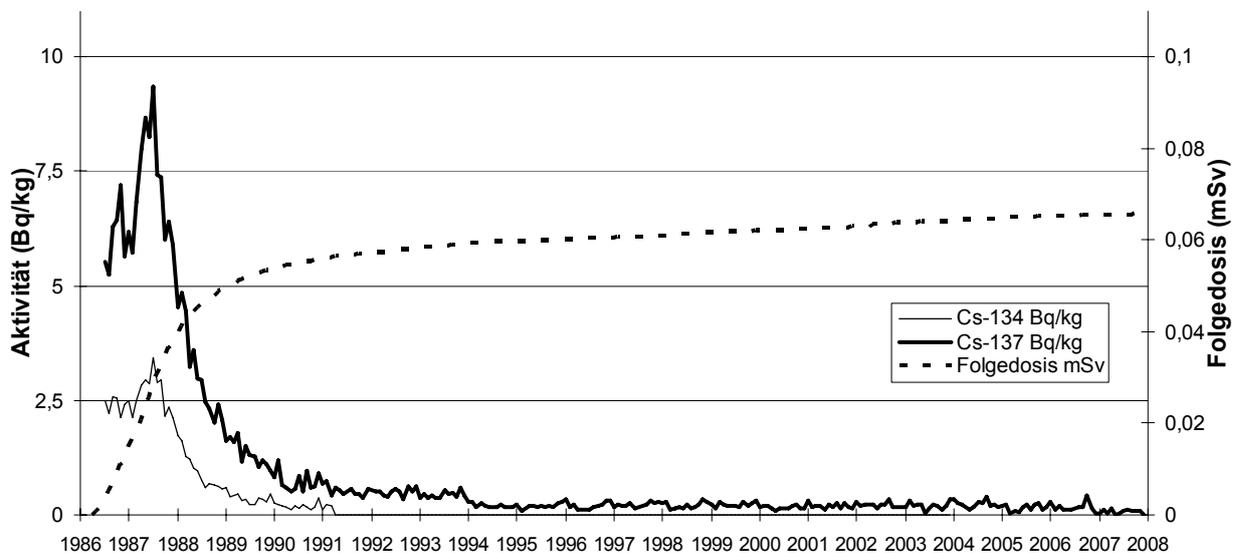


Abbildung 2.8-3 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Frauen
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, women)*

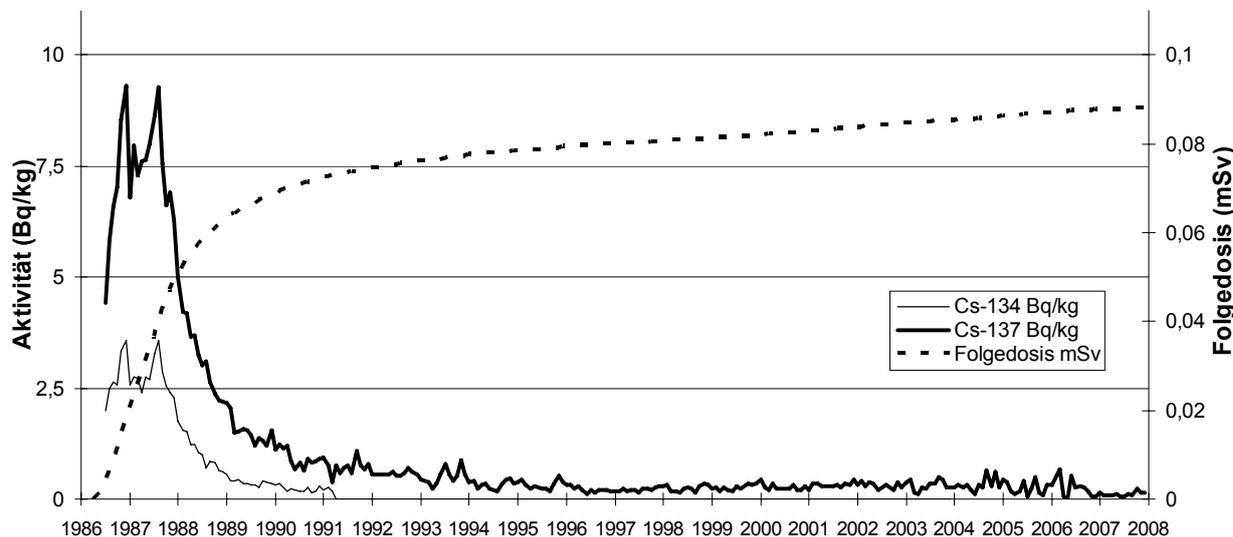


Abbildung 2.8-4 Inkorporiertes Cs-134, Cs-137 und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Karlsruhe, Männer
*(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure
 Reference group: Karlsruhe, men)*

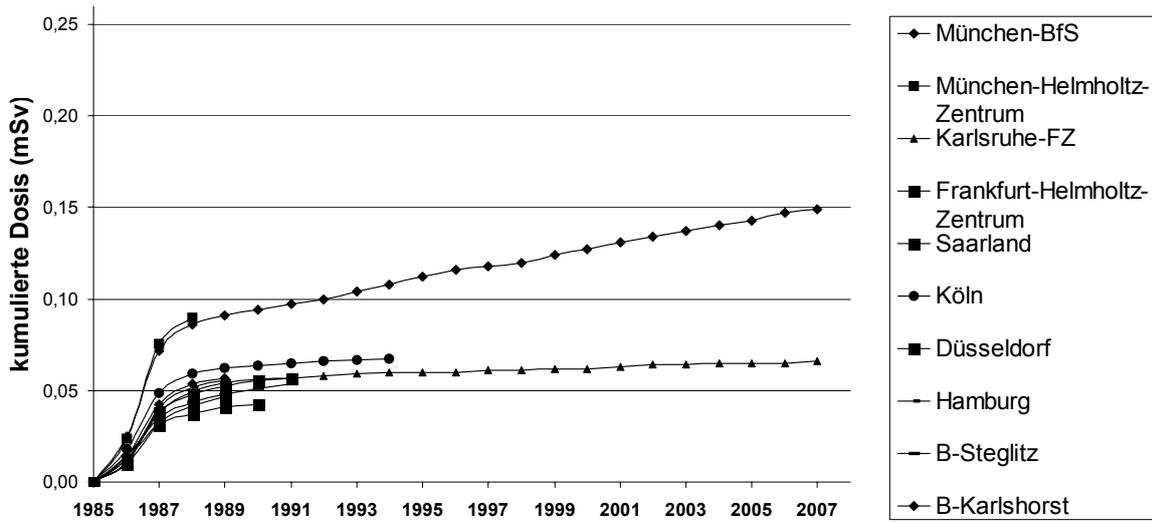


Abbildung 2.8-5 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Frauen
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: women)

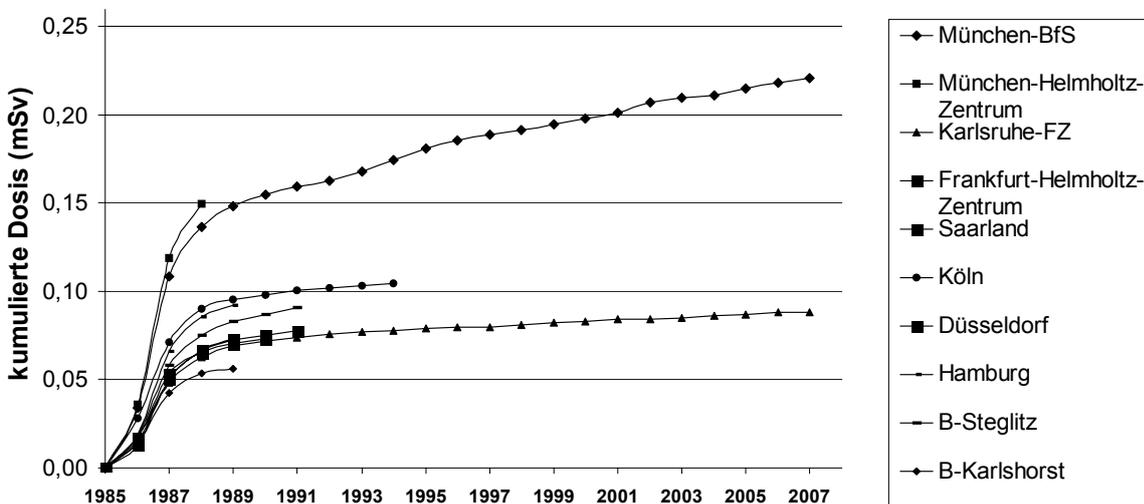


Abbildung 2.8-6 Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium
Vergleich der Referenzgruppen: Männer
(Radiation exposure from incorporated radiocesium
Comparison of reference groups: men)

III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITIONEN

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Personendosisüberwachung (Monitoring of personal dose)

1.1 Dosimeterüberwachte Personen (Monitoring with personal dosimeters)

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen - mit Ausnahme der kosmischen Strahlung (siehe 2.) - besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Nicht immer führt die Ausgabe eines Dosimeters an eine überwachte Person zu einer Dosisermittlung durch eine Messstelle (Dosimeter gehen verloren oder werden beschädigt, Filmplaketten werden falsch eingelegt oder außerhalb der Kassette bestrahlt, u. a. m.). Wenn aus solchen Gründen die zuständige Messstelle für eine Person im Überwachungszeitraum keine Dosis ermitteln kann, dann teilt sie dies der zuständigen Aufsichtsbehörde mit. Diese kann dann anhand definierter Kriterien und unter Berücksichtigung der Expositionsumstände eine amtliche Ersatzdosis festsetzen. Es kommt auch vor, dass nach einer Dosisfeststellung eine Nachprüfung der Expositionsumstände veranlasst wird, weil z. B. die Überprüfungsschwelle von 5 mSv überschritten wurde (z. B.: Arbeitskittel mit Dosimeter hing im Röntgenraum und sein Besitzer war im Urlaub, Dosimeter wurde absichtlich im Direktstrahl bestrahlt). Auch in diesen Fällen, in denen der festgestellte Dosiswert keine Personendosis, sondern eine Ortsdosis ist, wird von der Aufsichtsbehörde eine Ersatzdosis festgesetzt. Sofern in solchen Fällen Ersatzdosiswerte festgesetzt und dem Strahlenschutzregister mitgeteilt wurden, sind sie in Angaben der Tabellen und Grafiken berücksichtigt.

Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, ist der Tabelle 1.1-1 zu entnehmen. Da 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 beruflich strahlenschutzüberwachten Personen zu kontrollieren. Der Grenzwert der effektiven Dosis beträgt 20 mSv im Kalenderjahr und gilt für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen; ausgenommen sind Jugendliche und Schwangere, für die strengere Grenzwerte gelten. Der Grenzwert von 20 mSv wurde im Jahr 2007 von 11 Personen überschritten. Bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten sind dies 0,003% (Tabelle 1.1-2).

Die Zusammenstellung der Fälle mit Jahrespersonendosen über 20 mSv gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition aller Überwachten vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche externe Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.1-3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres die Personendosis unterhalb der Erkennungsgrenze lag, bzw. Jahrespersonendosen zwischen 0,1 und 0,2 mSv, zwischen 0,2 und 0,4 mSv usw. registriert wurden. Liegt die Strahlenexposition während des ganzen Jahres unterhalb der unteren Erkennungsgrenze für Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv, dann wird für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Dies traf für den größten Teil der überwachten Personen zu. Eine messbare berufliche Strahlenexposition erhielten deshalb nur 18% aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Ist vorausszusehen, dass im Kalenderjahr die Teilkörperdosis für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegte Dosiswerte überschreiten kann, so ist die Dosis für diese Körperteile durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2007 für die Hände bei ca. 20.000 Personen, bei der Haut bei 44 Personen und bei der Augenlinse bei 92 Personen durchgeführt. Von den 20.000 Überwachten wiesen ca. 5.500 Personen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf (untere Erkennungsgrenze für Teilkörperdosimeter).

Tabelle 1.1-4 enthält Zeitreihen über die mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2007 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 regelmäßig überwacht werden, aber keiner Strahlenexposition ausgesetzt sind. Bildet man den Mittelwert über jene Personen, die einer messbaren Strahlenexposition ausgesetzt waren (ca. 57.000 Personen), so ergibt sich für diese Gruppe der Exponierten eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,79 mSv. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2007 betrug die Jahreskollektivdosis aller überwachten Personen 45 Personen-Sv. Der Anstieg gegenüber dem Vorjahr ist dem nichtmedizinischen Bereich zuzuordnen, wo revisionsintensive Jahre in der Kerntechnik erhöhte Strahlenexpositionen bewirken. Im Bereich der Medizin bleibt die Kollektivdosis dagegen seit mehreren Jahren konstant.

Tabelle 1.1-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2007
 (Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich)
(Monitoring with official personal doseimeters in the year 2007)
 (Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

| Bundesland Daten: Stand Juni 2008 | Überwachte Personen | | Überwachte Betriebe | |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------|
| | Gesamt | Medizin | Gesamt | Medizin |
| Baden-Württemberg | 43.572 | 30.881 | 3.000 | 2.379 |
| Bayern | 59.764 | 44.273 | 4.232 | 3.560 |
| Berlin | 15.992 | 11.910 | 1.035 | 813 |
| Brandenburg | 6.248 | 5.129 | 453 | 339 |
| Bremen | 3.255 | 2.644 | 219 | 165 |
| Hamburg | 10.644 | 5.922 | 558 | 423 |
| Hessen | 24.859 | 17.830 | 1.650 | 1.332 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 5.387 | 3.841 | 334 | 260 |
| Niedersachsen | 28.814 | 22.282 | 2.235 | 1.808 |
| Nordrhein-Westfalen | 66.904 | 54.468 | 5.010 | 4.226 |
| Rheinland-Pfalz | 14.648 | 12.453 | 989 | 841 |
| Saarland | 4.346 | 4.000 | 396 | 345 |
| Sachsen | 12.569 | 10.256 | 875 | 641 |
| Sachsen-Anhalt | 7.486 | 6.264 | 508 | 375 |
| Schleswig-Holstein | 10.834 | 8.284 | 795 | 663 |
| Thüringen | 6.208 | 5.852 | 366 | 318 |
| Bundeswehr | 1.297 | 1.029 | 56 | 42 |
| Gesamtzahl 2007* | 317.409 | 244.209 | 22.667 | 18.510 |
| Anteil Medizin | | 77% | | 82% |
| Gesamtzahl 2006 | 312.492 | 240.558 | 23.092 | 18.817 |
| Anteil Medizin | | 77% | | 81% |
| Änderung gegenüber 2006 | 1,6% | 1,5% | -1,8% | -1,6% |

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

Tabelle 1.1-2 Anzahl der Personen mit Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2007
 (Number of persons with annual personal doses above 20 mSv in the year 2007)

| Bundesland Daten: Stand Juni 2008 | Anzahl der Jahrespersonendosen >20 mSv/Jahr Arbeitsbereich | | |
|--------------------------------------|---|----------|--------------|
| | Gesamt | Medizin | Nichtmedizin |
| Baden-Württemberg | 4 | 3 | 1 |
| Bayern | 2 | 1 | 1 |
| Berlin | | | |
| Brandenburg | | | |
| Bremen | | | |
| Hamburg | | | |
| Hessen | 1 | 1 | |
| Mecklenburg-Vorpommern | | | |
| Niedersachsen | 2 | | 2 |
| Nordrhein-Westfalen | 2 | 2 | |
| Rheinland-Pfalz | | | |
| Saarland | | | |
| Sachsen | | | |
| Sachsen-Anhalt | | | |
| Schleswig-Holstein | | | |
| Thüringen | | | |
| Gesamtzahl 2007 | 11 | 7 | 4 |
| Bezogen auf Überwachtetenzahl 2007 | 0,003% | 0,003% | 0,005% |
| Gesamtzahl 2006 | 6 | 3 | 3 |
| Bezogen auf Überwachtetenzahl 2006 | 0,002% | 0,001% | 0,004% |

Tabelle 1.1-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2007
(Distribution of the annual personal doses in the year 2007)

| Dosis H in mSv | Gesamt* | | Medizin | | Nichtmedizin | |
|-------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| | Anzahl | Kumulativer Anteil in % | Anzahl | Kumulativer Anteil in % | Anzahl | Kumulativer Anteil in % |
| H=0 | 260.545 | 82% | 207.313 | 85% | 53.610 | 73% |
| 0<H≤0,2 | 29.612 | 91% | 21.707 | 94% | 7.959 | 84% |
| 0,2<H≤0,4 | 8.493 | 94% | 5.846 | 96% | 2.663 | 87% |
| 0,4<H≤0,6 | 4.219 | 95% | 2.765 | 97% | 1.464 | 89% |
| 0,6<H≤0,8 | 2.688 | 96% | 1.713 | 98% | 982 | 91% |
| 0,8<H≤1,0 | 1.999 | 97% | 1.206 | 99% | 796 | 92% |
| 1<H≤2 | 4.702 | 98% | 2.346 | < 100% | 2.363 | 95% |
| 2<H≤4 | 2.893 | 99% | 998 | < 100% | 1.900 | 97% |
| 4<H≤6 | 1.013 | < 100% | 186 | < 100% | 830 | 98% |
| 6<H≤8 | 540 | < 100% | 72 | < 100% | 470 | 99% |
| 8<H≤10 | 304 | < 100% | 30 | < 100% | 274 | < 100% |
| 10<H≤15 | 333 | < 100% | 14 | < 100% | 319 | < 100% |
| 15<H≤20 | 57 | < 100% | 6 | < 100% | 51 | < 100% |
| H>20 | 11 | 100% | 7 | 100% | 4 | 100% |
| Gesamt *) | 317.409 | | 244.209 | | 73.685 | |

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann

Tabelle 1.1-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual personal dose and annual collective dose of the persons monitored with personal dosemeters)

| Jahr | Gesamt | | Medizin | | Nichtmedizin | |
|------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv | Jahreskollektivdosis in Personen-Sv | Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv | Jahreskollektivdosis in Personen-Sv | Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv | Jahreskollektivdosis in Personen-Sv |
| 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 | 48 | 0,07 | 18 | 0,40 | 30 |
| 2001 | 0,14 | 44 | 0,07 | 16 | 0,36 | 27 |
| 2002 | 0,15 | 48 | 0,07 | 18 | 0,41 | 30 |
| 2003 | 0,14 | 44 | 0,07 | 17 | 0,37 | 27 |
| 2004 | 0,14 | 42 | 0,07 | 16 | 0,35 | 26 |
| 2005 | 0,15 | 46 | 0,07 | 17 | 0,39 | 29 |
| 2006 | 0,13 | 41 | 0,07 | 17 | 0,33 | 24 |
| 2007 | 0,14 | 45 | 0,07 | 17 | 0,38 | 28 |

Daten: Stand Juni 2008

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1986 ist in Abbildung 1.1-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Anzahl der Personen mit Jahresdosen über 20 mSv dargestellt. Abbildung 1.1-2 zeigt die Jahreskollektivdosis in den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1986 - 2007. Bis einschließlich 1998 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Bis dahin entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da Arbeitskräfte die bei einem Arbeitsplatzwechsel auch die Messstelle wechselten mehrfach gezählt wurden. Seit dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

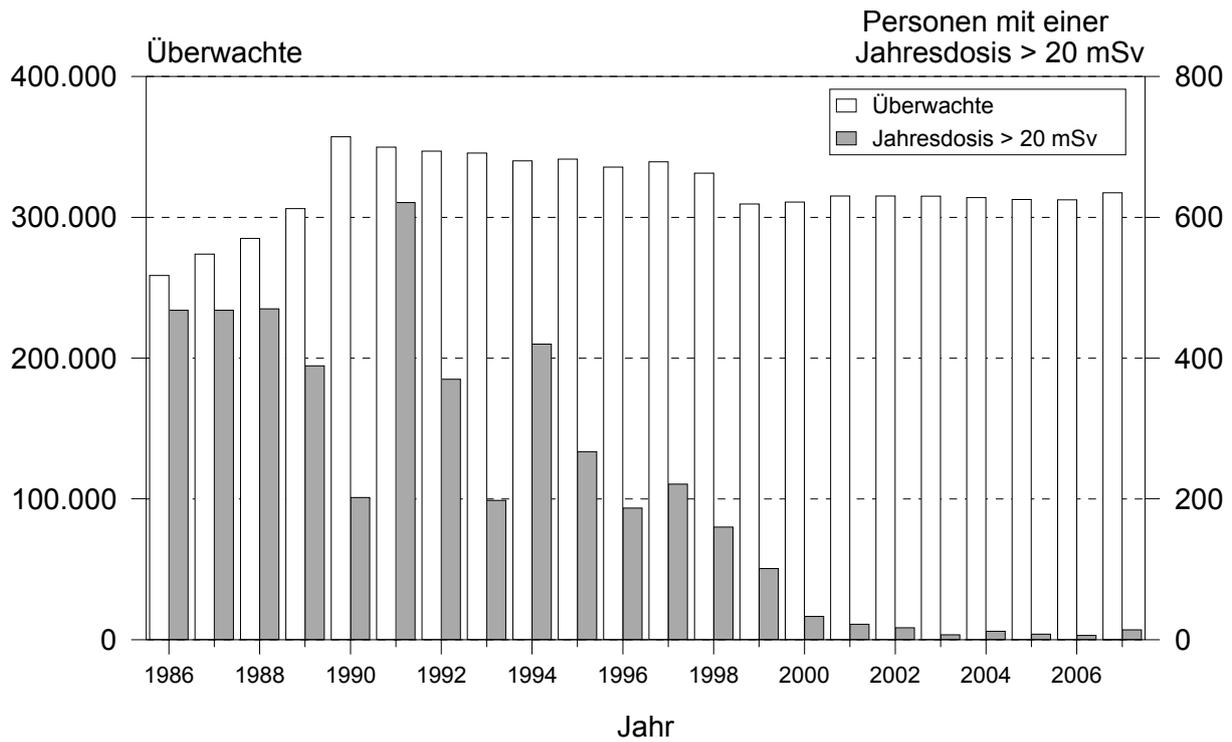


Abbildung 1.1-1: Anzahl der mit Dosimetern überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer, ab 1999 ohne Mehrfachzählungen der Messstellen – siehe Text)
(Number of persons monitored with dosimeters and persons with annual personal doses above 20 mSv - as from 1990 including the new federal states)

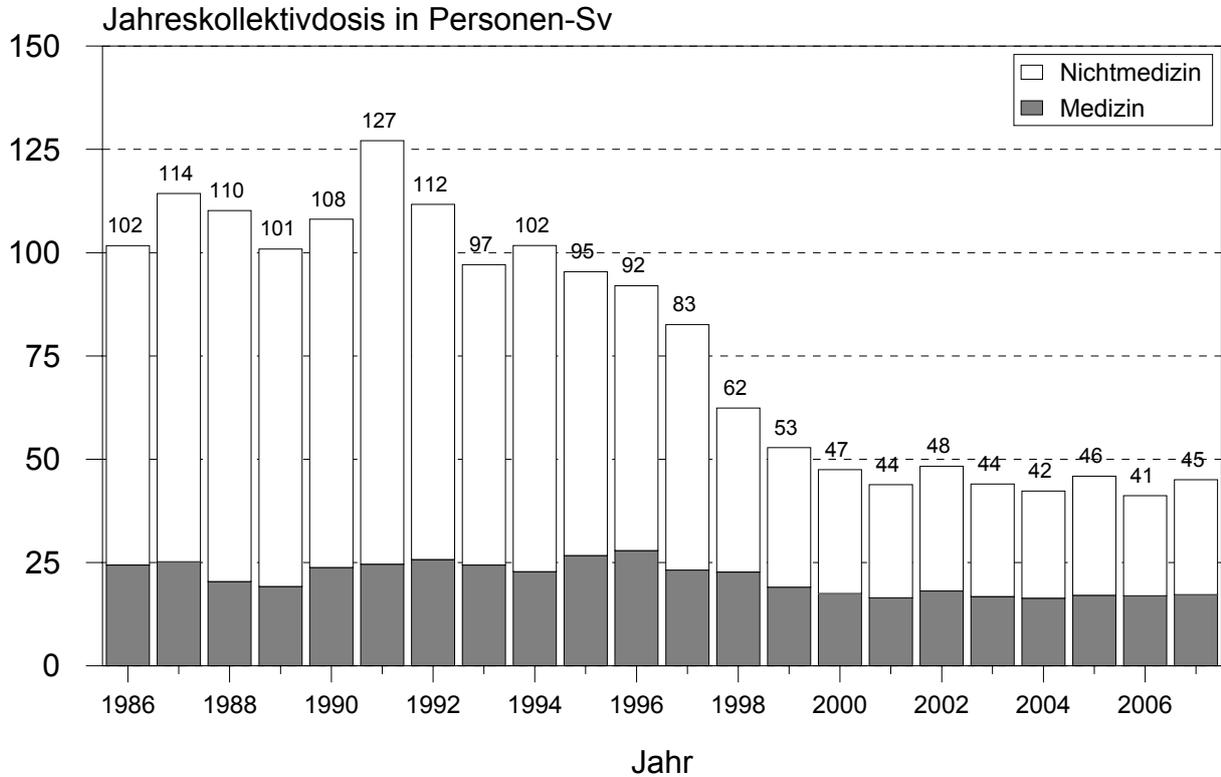


Abbildung 1.1-2: Jahreskollektivdosis in medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereichen (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer)
(Annual collective dose in medical and non-medical work sectors - as from 1990 including the new federal states)

1.2 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen (Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)

Eine wichtige Teilgruppe der mit Personendosimetern Überwachten ist das Eigen- und Fremdpersonal in kerntechnischen Anlagen. Grundlage für die folgende Übersicht sind regelmäßige Erhebungen über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch das BMU und die zuständigen obersten Landesbehörden sowie Erhebungen der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS). Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Forschungsreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.2-1 bis 1.2-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis. Schwankungen bei der Jahreskollektivdosis hängen überwiegend mit Änderungen bei der Anzahl des eingesetzten Fremdpersonals zusammen. In den Jahren mit vermehrten Revisionen wird verstärkt Fremdpersonal eingesetzt, das dosisintensive Wartungsarbeiten durchführt. Jahrespersonendosen von mehr als 20 mSv traten 2007 bei Beschäftigten in Atomkraftwerken und sonstigen kerntechnischen Anlagen nicht auf.

In den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-3 ist die Jahreskollektivdosis nur für Photonen angegeben, da die Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler nur in wenigen Fällen von Bedeutung sind.

**Tabelle 1.2-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)**

| Jahr | Zahl der Anlagen | Erzeugte Energie [TWh] | Überwachte Personen | | Jahreskollektivdosis durch Photonen in Personen-Sv | |
|------|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|
| | | | Gesamt | davon Fremdpersonal | Gesamt | davon Fremdpersonal |
| 1997 | 19 | 170 | 29.780 | 23.771 | 29 | 25 |
| 1998 | 19 | 162 | 30.207 | 24.306 | 28 | 24 |
| 1999 | 19 | 170 | 28.790 | 22.066 | 25 | 21 |
| 2000 | 19 | 170 | 30.386 | 23.239 | 21 | 18 |
| 2001 | 19 | 171 | 28.105 | 21.861 | 20 | 17 |
| 2002 | 19 | 165 | 28.626 | 21.738 | 21 | 18 |
| 2003 | 19 | 165 | 28.677 | 22.384 | 19 | 17 |
| 2004 | 18 | 167 | 28.777 | 22.972 | 18 | 15 |
| 2005 | 18 | 163 | 30.222 | 24.118 | 21 | 18 |
| 2006 | 17 | 167 | 31.999 | 26.039 | 23 | 21 |
| 2007 | 17 | 141 | 32.071 | 26.046 | 23 | 21 |

Daten: Stand Juni 2008

**Tabelle 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 |
| 1997 | 10 | 2.247 | 1.284 | 0,7 | 0,4 |
| 1998 | 8 | 2.082 | 1.159 | 1,2 | 0,6 |
| 1999 | 10 | 2.366 | 1.347 | 1,1 | 0,6 |
| 2000 | 10 | 2.104 | 1.150 | 1,2 | 0,6 |
| 2001 | 10 | 2.234 | 1.270 | 0,9 | 0,5 |
| 2002 | 9 | 1.746 | 907 | 0,4 | 0,3 |
| 2003 | 10 | 1.986 | 1.043 | 0,3 | 0,3 |
| 2004 | 10 | 2.215 | 1.278 | 0,3 | 0,2 |
| 2005 | 10 | 2.331 | 1.359 | 0,2 | 0,1 |
| 2006 | 10 | 2.465 | 1.415 | 0,2 | 0,1 |
| 2007 | 10 | 2.465 | 1.415 | 0,2 | 0,1 |

Daten: Stand Juni 2008

Tabelle 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 |
| 1997 | 6 | 1.989 | 1.066 | 0,5 | 0,2 |
| 1998 | 6 | 1.991 | 1.173 | 0,8 | 0,5 |
| 1999 | 6 | 1.338 | 773 | 0,3 | 0,1 |
| 2000 | 6 | 2.524 | 1.582 | 1,0 | 0,5 |
| 2001 | 6 | 2.392 | 1.501 | 1,2 | 0,7 |
| 2002 | 7 | 2.968 | 1.932 | 1,2 | 0,8 |
| 2003 | 7 | 2.983 | 1.970 | 1,0 | 0,7 |
| 2004 | 7 | 2.726 | 1.831 | 1,1 | 0,8 |
| 2005 | 7 | 2.339 | 1.623 | 0,5 | 0,4 |
| 2006 | 6 | 1.765 | 1.212 | 0,3 | 0,3 |
| 2007 | 6 | 1.754 | 1.202 | 0,3 | 0,3 |

Daten: Stand Juni 2008

2. Überwachung des fliegenden Personals *(Aircraft crew monitoring)*

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit Computerprogrammen die Dosiswerte der kosmischen Strahlenexposition, ordnen diese personenbezogen ihrem Personal zu und geben diese über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. In Deutschland wurden im Jahr 2007 34.293 Personen (Vorjahr: 32.731) überwacht, die mittlere effektive Jahresdosis betrug 2,3 mSv (Vorjahr 2,2 mSv). Der höchste Jahrespersonendosiswert liegt bei 9,0 mSv. Die Verteilung ist in Tabelle 2-1 wiedergegeben. Die Kollektivdosis für das Jahr 2007 beträgt ca. 78 Personen-Sv. Damit zählt das fliegende Personal sowohl bezüglich der mittleren Dosis als auch bezüglich der Kollektivdosis zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen Deutschlands.

Tabelle 2-1 Verteilung der effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals im Jahr 2007
(Distribution of the annual effective dose of aircraft crews in the year 2007)

| Dosis E in mSv | Anzahl der Personen | Kumulativer Anteil in % |
|----------------|---------------------|-------------------------|
| E=0 | 186 | < 1% |
| 0 <E≤0,5 | 2.926 | 9% |
| 0,5 <E≤1,0 | 2.693 | 17% |
| 1,0 <E≤2,0 | 9.088 | 43% |
| 2,0 <E≤3,0 | 10.202 | 73% |
| 3,0 <E≤4,0 | 6.978 | 93% |
| 4,0 <E≤5,0 | 2.093 | < 100% |
| 5,0 <E≤6,0 | 115 | < 100% |
| 6,0 <E≤10,0 | 12 | 100% |
| E>10,0 | 0 | 100% |
| Gesamt | 34.293 | |

**Tabelle 2-2 Anzahl des fliegenden Personals sowie mittlere effektive Jahresdosis und Jahreskollektivdosis
(Number of aircraft crew personnel including mean annual effective dose and annual collective dose)**

| Jahr | Anzahl der Personen | Mittlere effektive Jahresdosis in mSv | Jahreskollektivdosis in Personen-Sv |
|------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 2004 | 29.845 | 2,0 | 58 |
| 2005 | 31.218 | 2,0 | 62 |
| 2006 | 32.731 | 2,2 | 71 |
| 2007 | 34.293 | 2,3 | 78 |

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

An Personen, bei denen am Arbeitsplatz erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche Strahlungsquellen auftreten können, ist eine Überwachung durchzuführen. Dies betrifft z. B. untertägige Bergwerke, Schauhöhlen und Anlagen der Wassergewinnung. Nach § 95 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StriSchV) 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.

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 Messgeräten durchgeführt. Diese Messgeräte erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI der StriSchV ausführen, wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Hierzu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen charakteristische Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden.

Auf Grund dieser Regelungen wurden im Jahr 2007 dem Strahlenschutzregister im Bundesamt für Strahlenschutz für 311 Personen (Vorjahr: 323 Personen) Dosiswerte übermittelt. Von diesen Personen führten 55% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH aus. Die Kollektivdosis der 311 Beschäftigten betrug 0,9 Personen-Sv, die mittlere Jahrespersonendosis 2,8 mSv (Vorjahr: 2,5 mSv). Nur ein Beschäftigter wies keine messbare Jahrespersonendosis (0 mSv) auf. Im Jahr 2007 gab es 4 Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv (Vorjahr: 6 Überschreitungen). Diese traten alle in Betrieben der Wasserversorgung auf; die höchste effektive Jahresdosis betrug 41 mSv. Bei 33 Beschäftigten wurde eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der effektiven Jahresdosis 1,5 mSv, der höchste Jahrespersonendosiswert lag bei 7,4 mSv.

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

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2002 begannen behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Von den meldenden Messstellen wurden im Jahr 2007 1.392 Personen überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,03 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation betrug 3,3 mSv.

**Tabelle 4-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2007
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2007)**

| Dosis E durch Inkorporation in mSv | Anzahl der Personen | Kumulativer Anteil in % |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| E=0 | 1.267 | 91% |
| 0 < E ≤ 0,2 | 98 | 98% |
| 0,2 < E ≤ 1,0 | 21 | < 100% |
| 1,0 < E ≤ 6,0 | 6 | 100% |
| E > 6,0 | 0 | 100% |
| Gesamt | 1.392 | |

IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Für die Auswertung werden aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Modellannahmen erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich sehr konservative Annahmen durch validere 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.

Bei den Ergebnissen der vorliegenden Auswertung muss insbesondere berücksichtigt werden, dass am 1. April 2005 ein neuer Abrechnungskatalog für ambulante Leistungen der gesetzlichen Krankenversicherung (Einheitlicher Bewertungsmaßstab EBM 2000plus) eingeführt wurde. In einigen Bereichen waren mit Hilfe des EBM 2000plus genauere Abschätzungen möglich. Dies betrifft insbesondere den Bereich der Computertomographie (CT), wo nun auf Grund der detaillierten Leistungsziffern des EBM 2000plus eine genauere Abschätzung der Anzahl der Serien pro CT-Untersuchung möglich war. Nach Korrektur für die zurückliegenden Jahre ergibt sich eine etwas geringere Häufigkeit für CT-Untersuchungen gegenüber der Vorjahresauswertung und somit auch eine geringere mittlere effektive Dosis pro Einwohner.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2005 – 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 2005 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 132 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt (ohne zahnmedizinischen Bereich: etwa 84,5 Mio. Röntgenuntersuchungen). Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2005 nahm leicht ab, wobei der Wert für das Jahr 2005 bei etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr liegt (siehe Abbildung 1.1-1). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) macht konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen aus. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d. h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (Brustkorb, siehe Abbildung 1.1-3).

In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der Computertomographie(CT)-Untersuchungen – insgesamt um nahezu 80% über den beobachteten Zeitraum (siehe Abbildung 1.1-1). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z. B. der Spiral-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den „alternativen“ bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie (MRT, siehe Abbildung 1.1-1 und Kapitel 1.4).

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

Auswertung der Jahre 1996 bis 2005 – 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 2005 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 2005 auf ca. 1,8 mSv und stieg damit über den Beobachtungszeitraum nahezu kontinuierlich an (siehe Abbildung 1.1-2). Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2005 ab (siehe Abbildung 1.1-2).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen weniger als 10% zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2005 jedoch etwa drei Viertel (siehe Abbildung 1.1-3).

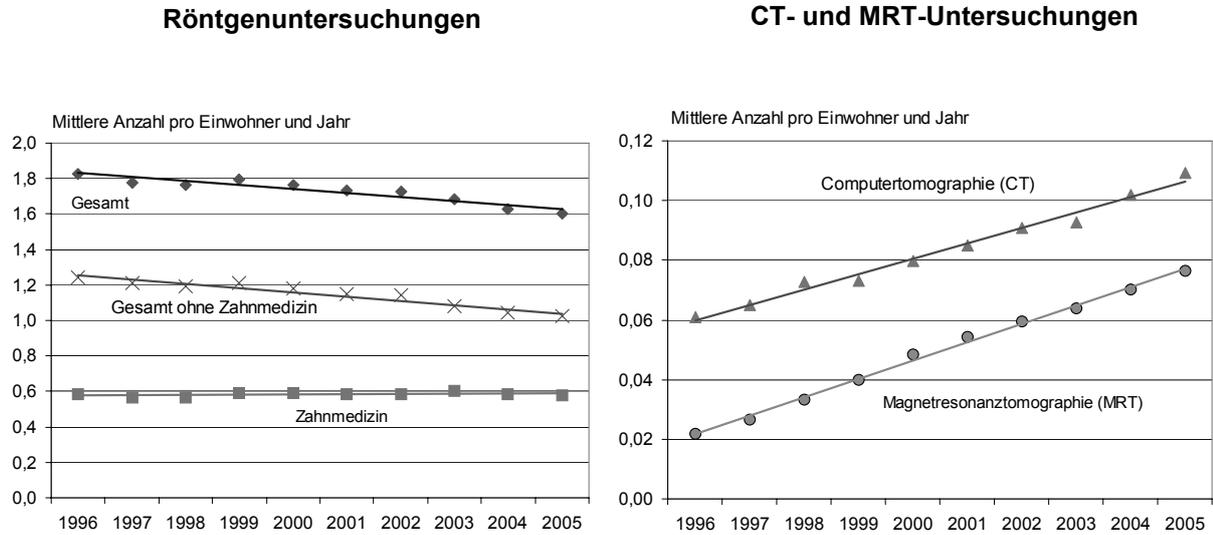


Abbildung 1.1-1 Häufigkeit von Röntgen- und CT- / MRT-Untersuchungen in Deutschland
(Frequency of x-ray and of CT / MRT examinations in Germany)

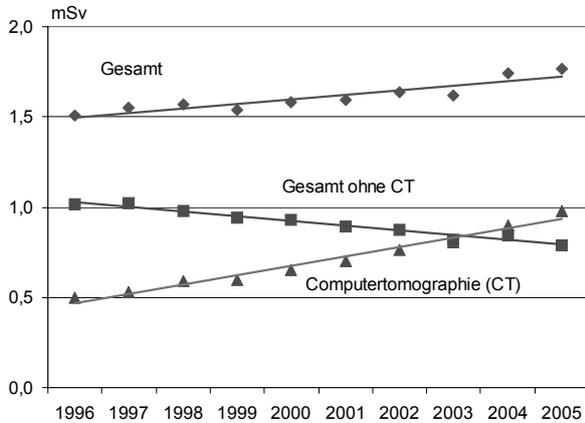


Abbildung 1.1-2 Mittlere effektive Dosis (in mSv) pro Einwohner und Jahr durch Röntgen- und CT-Untersuchungen in Deutschland
(Mean effective dose per capita (mSv) and year due to x-ray and CT diagnostics in Germany)

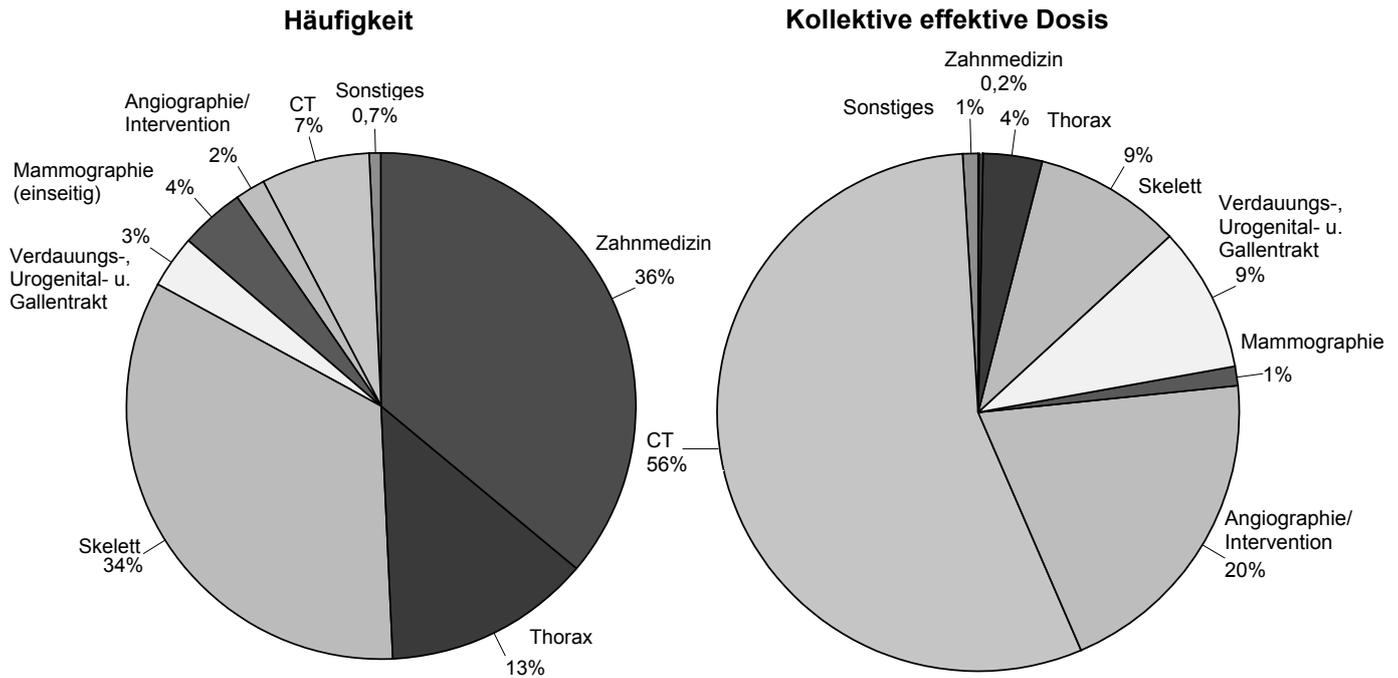


Abbildung 1.1-3 Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis 2005
(Contribution of various examination types to total frequency (left) and to collective effective dose (right) in 2005)

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit erkranken jährlich über 57.000 Frauen neu an Brustkrebs, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 63 Jahren liegt. Insgesamt etwa 17.500 Frauen verstarben im Jahr 2005 an Brustkrebs. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) in einer definierten Bevölkerungsgruppe den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen der Betroffenen maßgeblich erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings entsprechend der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen – in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts – zu schaffen. Zurzeit wird das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (beschwerdefreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Im April 2005 wurden die ersten Screening-Einheiten zertifiziert.

Die Implementierungsphase des Mammographie-Screening-Programms wird voraussichtlich im Laufe des Jahres 2008 abgeschlossen sein. Angestrebt wird eine Beteiligungsrate der anspruchsberechtigten Bevölkerung (insgesamt ca. 10,4 Mio. Frauen) von mindestens 70%. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Nehmen 70% der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Dosis auf 2.600 Personen-Sv. Dies entspricht weniger als 2% der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Zu beachten ist, dass in der Abbildung 1.1-3 Screening-Mammographien keine Rolle spielen, da sich die Abbildung auf das Jahr 2005 bezieht. Bei den in der Abbildung 1.1-3 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zum größten Teil Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien“ über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die auf Grund eines Symptoms in der Brust eine Indikation für die Untersuchung bestand. Man geht jedoch davon aus, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die ohne Qualitätssicherung wie sie im Mammographie-Screening-Programm nun vorgesehen ist durchgeführt wurden („graues Screening“). Es wird erwartet, dass die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen abnehmen wird, sobald sich das Mammographie-Screening-Programm etabliert hat.

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms sind zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten. Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung

stellen nach dem Verständnis der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene Strahlenrisiko überwiegt. Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission (SSK) zusammen mit dem BfS die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich: Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch die Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Länderbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (*Nuclear medicine diagnostics*)

In den Jahren 1996 - 2005 wurden in Deutschland ca. 4,2 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 50 Untersuchungen pro 1.000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. Abbildung 1.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 11.500 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von ca. 0,13 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Myokard-, Skelett- und Schilddrüsenszintigraphie (s. Abbildung 1.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,7 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,5 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

Häufigkeit

Kollektive effektive Dosis

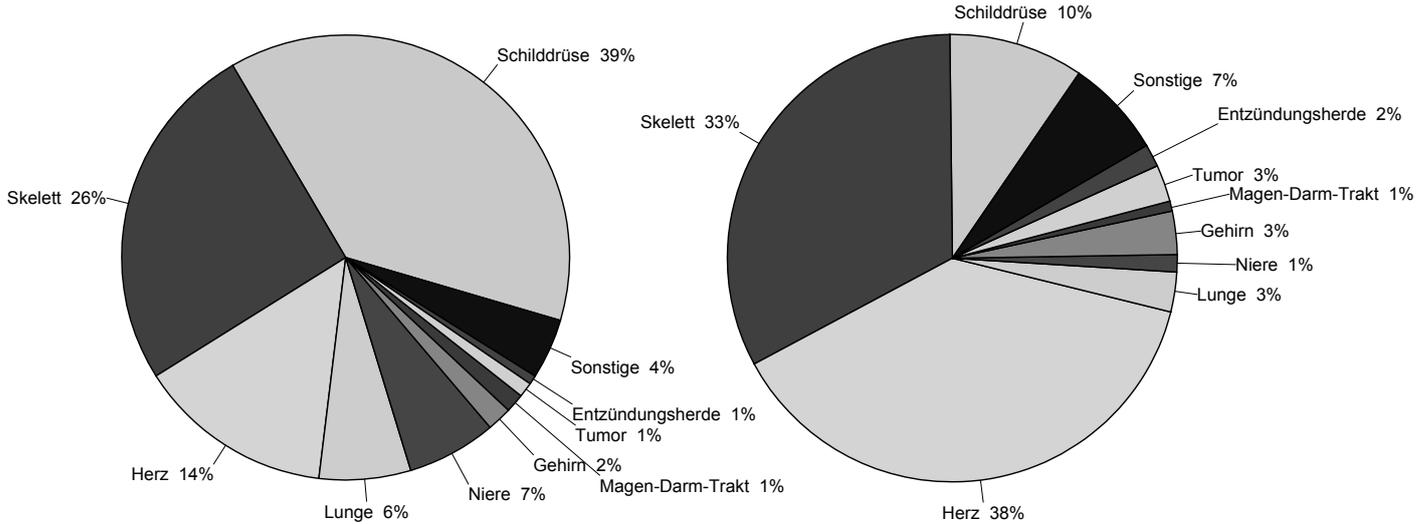


Abbildung 1.2-1 Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1996 - 2005
(Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 1996 - 2005)

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

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahr 2005 etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr. Damit resultiert die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland in der Hauptsache aus medizinischen Strahlenanwendungen, insbesondere röntgendiagnostischen Maßnahmen.

Bei der Abschätzung des Strahlenrisikos wird von einem linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT) ausgegangen. Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beachtlichen Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar, die impliziert, dass jede strahlenmedizinische Untersuchung ein zusätzliches Risiko für eine strahlenbedingte Krebserkrankung birgt. Eine strahlenhygienische Bewertung muss jedoch berücksichtigen, dass medizinische Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Betroffen sind Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Strahlenexposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Eine eingehende Nutzen-Risiko-Abwägung vor jeder Anwendung einer strahlendiagnostischen Maßnahme ist daher von zentraler Bedeutung (sogenannte „rechtfertigende Indikation“). Die sorgfältige Feststellung der rechtfertigenden Indikation durch den fachkundigen Arzt vorausgesetzt, überwiegt für den Einzelnen der Nutzen der radiologischen Untersuchung gegenüber dem Strahlenrisiko.

Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde vom BfS initiiert: Für die zehn häufigsten Krebserkrankungen wurden für Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, alle relevanten Patienten- und Untersuchungsdaten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen – hochgerechnet auf Deutschland – mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen in anderen Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere interessante Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahre 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z. B. Pankreaskarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z. B. Brustkrebs).

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. Im Jahre 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf in den USA 3,2 mSv, wobei der Anteil der CT an der Gesamthäufigkeit aller strahlendiagnostischen Maßnahmen 12% und an der daraus resultierenden kollektiven effektiven Dosis 45% betrug (www.diagnosticimaging.com/showNews.jhtml?articleID=199100006&cid=DI-SPECIAL-042007). 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 wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden von der Arbeitsgruppe bis Ende 2007 erarbeitet und im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht [1].

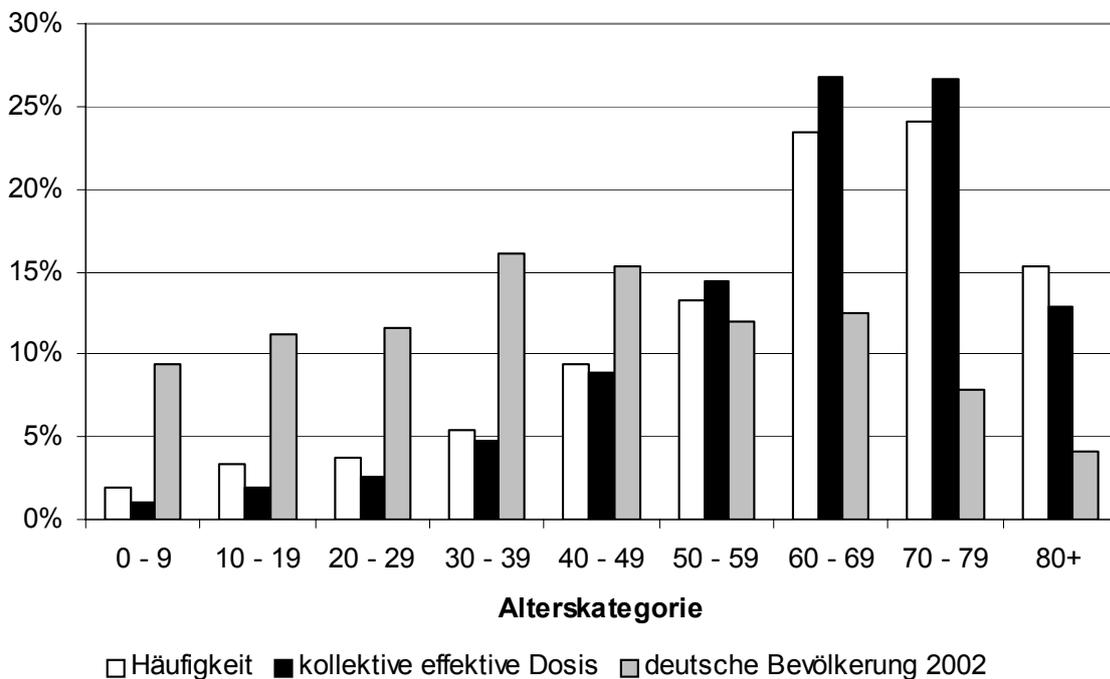


Abbildung 1.3-1 Verteilung von Häufigkeit (weiße Balken) und kollektiver effektiver Dosis (schwarze Balken) von Röntgenaufnahmen in Abhängigkeit vom Patientenalter im stationären Bereich im Jahre 2002. Zum Vergleich: Altersverteilung der deutschen Bevölkerung 2002 (graue Balken)
(Distribution of frequency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

Die hohe Pro-Kopf-Anzahl röntgendiagnostischer Maßnahmen für Deutschland spiegelt den hohen Standard der Gesundheitsversorgung wider. Eine Bewertung der vergleichsweise hohen Häufigkeit bzw. der resultierenden Dosis durch die medizinische Röntgendiagnostik darf den offensichtlichen Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt lassen. Andererseits existiert sicherlich auch ein deutliches Einsparpotenzial ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung. Hierzu können die diagnostischen Referenzwerte zur Optimierung der medizinischen Exposition (bessere Qualität der Untersuchung, niedrigere Dosis) einen wesentlichen Beitrag leisten sowie strengere Kriterien bei der Indikationsstellung zur Durchführung röntgendiagnostischer Maßnahmen, die Vermeidung von Doppeluntersuchungen (höhere Transparenz zwischen Arztpraxen) und die vermehrte Nutzung „alternativer“ diagnostischer Verfahren ohne die Verwendung ionisierender Strahlung (MRT, Sonographie).

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 1,8 mSv pro Person im Jahr 2005) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Herzsintigraphie.

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.

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 2005 einschließlich einer Trendanalyse durchgeführt. Wie für die Häufigkeiten der röntgen- oder nuklearmedizinischen diagnostischen Verfahren wurden die Daten der Kassennärztlichen Bundesvereinigung sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen verwendet. Da durch dieses Verfahren nur Untersuchungen in die Abschätzung eingehen können, die tatsächlich abgerechnet wurden, und darüber hinaus seit Einführung des EBM 2000plus sonographische Leistungen häufiger über Pauschalen abgerechnet werden, 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 250% während des betrachteten Zeitraumes (CT: Zunahme um etwa 80%).

Demgegenüber ist die Zunahme von Ultraschall-Untersuchungen moderat (etwa 23% über den gesamten betrachteten Zeitraum). Der größte Teil (etwa 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 2005 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.

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.

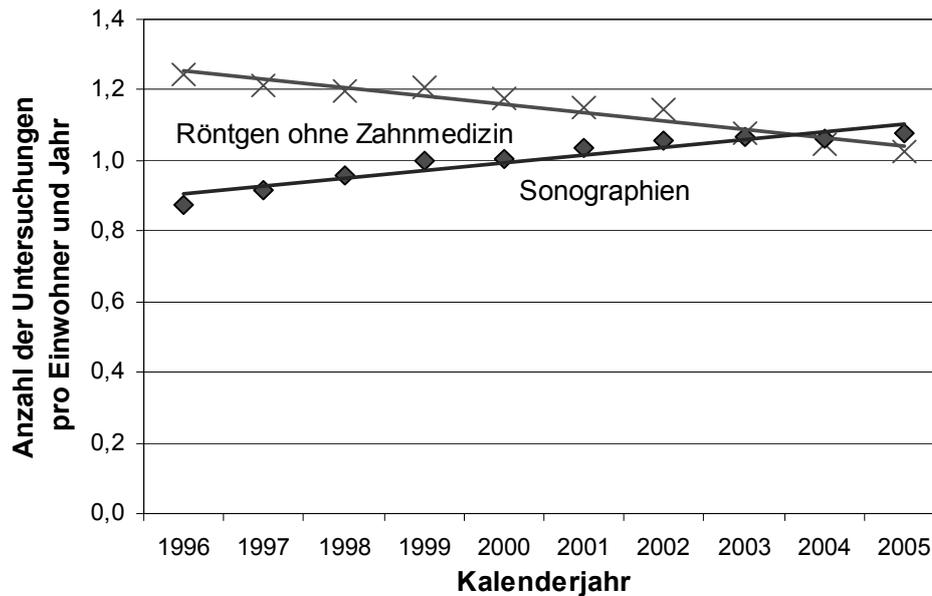


Abbildung 1.4-1 Häufigkeit von Sonographieuntersuchungen. Zum Vergleich: Häufigkeit aller Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, ohne Zahnmedizin)
(Frequency of ultrasound examinations. For comparison: Frequency of x-ray examinations including CT, excluding dental examinations)

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

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird auf ca. 230.500 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 206.000 bei Frauen geschätzt [2]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer und Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [3] wurden im Jahre 2007 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,4 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 57.100 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12% der Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung therapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhalten jährlich etwa 270.000 Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ ist eine mittlere jährliche Steigerung der Strahlentherapien von 5,8% zu verzeichnen.

Literatur

- [1] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip
- [2] Krebs in Deutschland 2003 - 2004. Häufigkeiten und Trends. 6. überarbeitete Auflage. Robert Koch-Institut (Hrsg) und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (Hrsg). Berlin, 2008)
- [3] H.-J. Brodersen: Strahlentherapie in Norddeutschland 07/08 - Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 14. Auflage, 21. März 2008, www.strahlentherapie-nord.de)

3. Herzschrittmacher (Pacemakers)

Im Jahr 2007 wurden - wie bereits seit 1977 - keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Tabelle 3-1 enthält die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Pu-238. Alle Herzschrittmacher mit Pm-147 sind bereits explantiert. Die bisher bekannten übrigen Daten (Altersgruppe, Tragedauer und Explantationsursache) sind im Jahresbericht 1989 aufgeführt.

Tabelle 3-1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen (Stand: 31.12.2007)
(Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources at 31 Dec. 2007)

| Jahr | Pu-238 | | Jahr | Pu-238 | |
|------|--------------|-----------------|--------|--------------|--------------|
| | Implantation | Explantation | | Implantation | Explantation |
| 1971 | 3 | 0 | 1990 | 0 | 8 |
| 1972 | 72 | 2 | 1991 | 0 | 3 |
| 1973 | 122 | 7 | 1992 | 0 | 5 |
| 1974 | 47 | 11 | 1993 | 0 | 1 |
| 1975 | 31 | 22 | 1994 | 0 | 3 |
| 1976 | 9 | 12 ^a | 1995 | 0 | 1 |
| 1977 | 0 | 22 | 1996 | 0 | 3 |
| 1978 | 0 | 15 | 1997 | 0 | 1 |
| 1979 | 0 | 17 | 1998 | 0 | 3 |
| 1980 | 0 | 17 | 1999 | 0 | 0 |
| 1981 | 0 | 15 | 2000 | 0 | 2 |
| 1982 | 0 | 13 | 2001 | 0 | 2 |
| 1983 | 0 | 11 | 2002 | 0 | 0 |
| 1984 | 0 | 15 | 2003 | 0 | 4 |
| 1985 | 0 | 18 | 2004 | 0 | 1 |
| 1986 | 0 | 8 | 2005 | 0 | 0 |
| 1987 | 0 | 10 | 2006 | 0 | 0 |
| 1988 | 0 | 4 | 2007 | 0 | 1 |
| 1989 | 0 | 9 | Gesamt | 284 | 266 |

a 1 HSM in Kambodscha verschollen

4. Medizinische Forschung (Medical research)

Da sich im Rahmen der Antragstellung bzw. des Genehmigungsverfahrens Fragen bezüglich der Genehmigungsbedürftigkeit der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung im Rahmen geplanter Studien ergaben, wurde vom BfS ein „Vorfrageverfahren“ zur Genehmigungsbedürftigkeit nach StrlSchV bzw. RöV geplanter Forschungsvorhaben etabliert, das auf breite Resonanz stieß.

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die vom BfS erteilten Genehmigungen und über die bearbeiteten Voranfragen im Jahre 2007.

Tabelle 4-1 Vom BfS nach § 23 StrlSchV und § 28 a RöV erteilte Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung im Jahr 2007
(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 2007)

| Anzahl der erteilten Genehmigungen | Anzahl der bearbeiteten Voranfragen |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 272 | 42 |

V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

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

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

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

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

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) hat sich wieder halbiert (Tabelle 1.1-1), was ausschließlich von der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen um etwa diesen Faktor herrührt. Der Wert für die Gesamteinfuhr enthält zusätzlich die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge (2007 nur knapp 1 GBq). Die deutliche Zunahme liegt in Tritiumlieferungen bei den Radionukliden ohne umschlossene Strahlenquellen aus Kanada begründet.

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist wieder eine leichte Zunahme zu verzeichnen, die innerhalb der üblichen Schwankungsbreite liegt. Bestrahltes Material ist 2007 nicht eingeführt worden.

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2007 mit einer Gesamtaktivität von 1.300 GBq eingeführt.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq hat sich im Jahr 2007 nach dem starken Anstieg des Vorjahres wieder beinahe halbiert (Tabelle 1.1-2). Wie bei der Einfuhr liegt dies ausschließlich an der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen.

Auch hier enthält die Summe die nicht gesondert aufgeführten sonstigen radioaktiven Gemische wie z. B. kontaminierte Werkzeuge mit nur 1,5 GBq.

Aktivierungsprodukte („Bestrahlungsproben“) wie aktivierte Anlagenteile wurden 2007 wie auch im Vorjahr nicht ausgeführt.

Bei den unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen ist ein leichter Anstieg auch hier innerhalb der üblichen Schwankungsbreite festzustellen. Bestrahltes Material ist nicht ausgeführt worden.

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) |
|------|---|--|---|---|--|
| 1989 | 2.399.272 | 103.372 | 90.816.100 | 93.318.744 | 1.508.501 |
| 1990 | 2.682.529 | 319.142 | 61.850.900 | 64.852.571 | 2.206.300 |
| 1991 | 3.040.547 | 72.469 | 102.929.300 | 106.042.316 | 1.461.661 |
| 1992 | 4.470.768 | 1.470.922 | 31.326.500 | 37.268.190 | 1.742.521 |
| 1993 | 3.227.143 | 2.546.470 | 23.330.800 | 29.104.413 | 2.306.737 |
| 1994 | 1.911.797 | 1.072.513 | 71.315.900 | 74.300.210 | 1.999.972 |
| 1995 | 4.686.926 | 73.629 | 38.600.400 | 43.360.955 | 2.049.273 |
| 1996 | 10.447.635 | 511.014 | 59.959.336 | 70.917.985 | 2.226.240 |
| 1997 | 1.541.873 | 51.048 | 79.215.145 | 80.808.066 | 2.490.191 |
| 1998 | 3.254.186 | 26.300 | 63.455.965 | 66.736.451 | 2.685.212 |
| 1999 | 2.149.973 | 237 | 49.894.030 | 52.044.519 | 2.540.221 |
| 2000 | 2.070.200 | 299.203 | 59.094.344 | 61.465.318 | 2.446.259 |
| 2001 | 1.621.780 | 39.392 | 25.840.589 | 27.547.253 | 3.211.796 |
| 2002 | 2.154.465 | 34 | 25.656.390 | 27.814.225 | 3.070.944 |
| 2003 | 9.871.929 | 1 | 45.034.300 | 54.906.251 | 4.565.497 |
| 2004 | 634.604 | 1.220 | 25.150.300 | 25.786.133 | 2.558.317 |
| 2005 | 488.683 | 0 | 27.969.374 | 28.458.227 | 4.219.415 |
| 2006 | 336.046 | 0 | 80.811.680 | 81.148.626 | 3.397.848 |
| 2007 | 2.116.020 | 1.300 | 36.896.630 | 39.013.950 | 3.830.256 |

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) |
|------|---|--|---|---|--|
| 1989 | 765.723 | 97 | 2.548.600 | 3.314.420 | 5.024.837 |
| 1990 | 1.511.312 | 17.808 | 2.499.700 | 4.028.820 | 2.800.495 |
| 1991 | 651.462 | 244 | 12.399.100 | 13.050.806 | 8.164.086 |
| 1992 | 2.015.066 | 27 | 5.994.200 | 8.009.293 | 2.990.557 |
| 1993 | 2.365.740 | 0 | 3.063.200 | 5.428.940 | 2.983.893 |
| 1994 | 1.447.018 | 98 | 2.137.812 | 3.584.928 | 2.078.477 |
| 1995 | 1.088.060 | 22.201 | 5.702.702 | 6.812.963 | 1.657.725 |
| 1996 | 960.351 | 1.335 | 3.009.100 | 3.970.786 | 2.146.830 |
| 1997 | 392.404 | 22 | 2.146.212 | 2.538.638 | 3.550.137 |
| 1998 | 550.637 | 25.044 | 2.333.673 | 2.909.354 | 3.133.196 |
| 1999 | 711.403 | 81 | 1.705.422 | 2.424.966 | 3.257.216 |
| 2000 | 828.677 | 94 | 3.001.795 | 3.838.040 | 2.719.502 |
| 2001 | 548.627 | 23 | 1.122.457 | 1.671.185 | 3.228.135 |
| 2002 | 484.827 | 0 | 2.057.005 | 2.541.842 | 3.387.520 |
| 2003 | 603.203 | 14 | 4.223.996 | 4.833.831 | 3.691.535 |
| 2004 | 553.012 | 7 | 1.323.180 | 1.876.208 | 1.971.109 |
| 2005 | 293.648 | 0 | 919.800 | 1.213.957 | 1.244.377 |
| 2006 | 238.211 | 0 | 5.112.175 | 5.351.392 | 3.111.272 |
| 2007 | 197.017 | 0 | 2.698.485 | 2.895.503 | 3.836.072 |

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

1.2 Einfuhrstatistik (Import statistics)

Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1.850 GBq

Tabelle 1.2-1 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq und Aktivierungsprodukte sowie sonstige radioaktive Gemische.

Es zeigt sich in der Gesamtsumme ein erheblicher Anstieg. Die Zunahme findet sich bei Tritium, während bei den anderen Nukliden teilweise eher Rückgänge zu verzeichnen sind. Erwähnenswert ist, dass Ge-68 und das in der Medizin zunehmend bedeutende Lu-177 hinzukamen.

Tritium ist zum größten Teil gespeichert in abgereichertem Uran aus Kanada zur Verwendung in einem deutschen Forschungszentrum geliefert worden. In Form von Tritiumgaslichtquellen sind 76.403 GBq im Wesentlichen aus der Schweiz und Israel eingeführt worden. Als Leuchtfarbe waren es im Berichtszeitraum 4.597 GBq.

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

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

Die Einfuhr ist 2007 im Vergleich zum Vorjahr auf weniger als die Hälfte gefallen wegen der starken Rückgänge bei Co-60 und Se-75 bei gleichzeitigem Anstieg der eingeführten Cs-137- und Ir-192-Aktivitäten. Trotzdem findet sich erwartungsgemäß der größte Posten bei Co-60 mit 95,6% der Gesamtaktivität.

Co-60-Quellen kamen in der Hauptsache aus Kanada. Ein so umfangreicher Tausch von ausgedienten, in Deutschland genutzten Quellen gegen neue aus Kanada wie in 2006 ist hier aber nicht zu erkennen, zumal auch bei der Ausfuhr keine Lieferungen nach Kanada dokumentiert sind. Auf Grund der Halbwertszeit des Co-60 wäre dies im Berichtszeitraum auch nicht zu erwarten gewesen.

Tabelle 1.2-1 Aktivität der 2007 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlengquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2006 - without sources at levels of above 1850 GBq)

| Versender- land | H-3 | C-14 | P-32 | Co- 57 | Co- 60 | Ni-63 | Ge-68 | Se-75 | Kr-85 | Sr-90 | Y-90 | I-125 | I-131 | Cs-137 | Pm-147 | Gd- 153 | Lu-177 | W-188 | Ir-192 | Am- 241 | Sonst. | Summe | |
|--------------------|-----------|-------|------|-----------|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|------------|--------|-------|--------|------------|--------|-----------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Aktivität in GBq |
| Norwegen | 1.968 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 1.982 | |
| Schweiz | 54.575 | 2 | 0 | 1 | 1 | 15 | 1 | 1.406 | 120 | 1 | 47 | 14 | 10 | 19 | 9.902 | 15 | 67 | 0 | 777 | 4 | 105 | 67.082 | |
| USA | 1.525 | 469 | 1 | 159 | 297 | 244 | 956 | 0 | 3.175 | 18 | 0 | 1.441 | 0 | 15.434 | 4 | 288 | 0 | 73 | 22.469 | 1.509 | 215 | 48.277 | |
| Kanada | 1.847.284 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 618 | 10.400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.858.392 | |
| Australien | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1.338 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.356 | |
| Japan | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 194 | 0 | 0 | 0 | 4.142 | 1 | 0 | 4.361 | |
| Südkorea | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 211 | 0 | 0 | 211 | |
| Russland | 0 | 3.337 | 2 | 50 | 0 | 16 | 45 | 7.886 | 25.585 | 20.700 | 224 | 12.340 | 0 | 2.580 | 0 | 2 | 765 | 891 | 0 | 7.826 | 91 | 82.340 | |
| Belarus | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.638 | 4.810 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 444 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 8.903 |
| Südafrika | 0 | 0 | 424 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.739 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 68 | 9.236 |
| Ägypten | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.724 | 0 | 0 | 3.737 | |
| Kuwait | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.094 | 0 | 0 | 1.094 | |
| Singapur | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | |
| Malaysia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 472 | 0 | 1 | 473 | |
| V. A. E. | 0 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 109 | 0 | 0 | 183 | |
| China | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 170 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 192 | |
| Libyen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 108 | 0 | 0 | 108 | |
| Israel | 27.777 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27.777 | |
| Sonstige | 0 | 0 | 0 | 15 | 12 | 5 | 0 | 0 | 13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69 | 116 | |
| Summe | 1.933.129 | 3.808 | 427 | 225 | 4.046 | 5.353 | 1.003 | 9.292 | 28.922 | 20.720 | 2.227 | 24.195 | 8.749 | 18.233 | 10.105 | 749 | 832 | 964 | 33.106 | 9.365 | 570 | 2.116.020 | |

**Tabelle 1.2-2 Aktivität der 2007 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2007
with levels of above 1850 GBq)**

| Versenderland | Co-60 | Se-75 | Cs-137 | Ir-192 | Summe |
|---------------|------------------|--------|-----------|---------|------------|
| | Aktivität in GBq | | | | |
| USA | 0 | 0 | 0 | 101.410 | 101.410 |
| Kanada | 25.548.800 | 0 | 120.200 | 0 | 25.669.000 |
| Türkei | 122.000 | 0 | 0 | 0 | 122.000 |
| Russland | 4.927.000 | 46.620 | 1.348.980 | 0 | 6.322.600 |
| Belarus | 4.511.620 | 0 | 0 | 0 | 4.511.620 |
| Marokko | 50.000 | 0 | 0 | 0 | 50.000 |
| Senegal | 26.000 | 0 | 0 | 0 | 26.000 |
| Tansania | 94.000 | 0 | 0 | 0 | 94.000 |
| Summe GBq | 35.279.420 | 46.620 | 1.469.180 | 101.410 | 36.896.630 |
| Stückzahl | 110 | 21 | 35 | 37 | 203 |

Einfuhr unbestrahlter sowie bestrahlter Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe

Tabelle 1.2-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2007 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein leichter Anstieg um knapp 13% festzustellen, der sich in der üblichen Schwankungsbreite bewegt.

Die Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wie auch sonst bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235. Das aufgeführte Plutonium ist wieder in MOX-Brennelementen aus Belgien enthalten.

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich gleichermaßen bei der Ausfuhr. Bestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe wurden nicht eingeführt.

**Tabelle 1.2-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in kg im Jahr 2007
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2007)**

| Versenderland | abger. Uran | Natururan | bis 3% U-235 | >3-10% U-235 | >85% U-235 | Plutonium | Thorium | Summe |
|----------------|-------------|-----------|-----------------|-----------------|---------------|-----------|---------|-----------|
| | in kg | | | | | | | |
| Frankreich | 0 | 1.245.681 | 0 | 144.338 | 33 | 0 | 0 | 1.390.052 |
| Belgien | 28.169 | 0 | 3.957 | 13.708 | 0 | 2.156 | 0 | 47.990 |
| Niederlande | 0 | 0 | 6.048 | 67.990 | 0 | 0 | 0 | 74.038 |
| Großbritannien | 0 | 779.847 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 779.847 |
| Schweden | 0 | 790 | 0 | 71.159 | 0 | 0 | 0 | 71.949 |
| Spanien | 0 | 1.016 | 0 | 25.930 | 0 | 0 | 0 | 26.946 |
| Schweiz | 157 | 0 | 0 | 321 | 0 | 0 | 0 | 478 |
| USA | 858 | 361.336 | 3.003 | 3.699 | 0 | 0 | 0 | 368.896 |
| Kanada | 1 | 603.604 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 603.605 |
| Russland | 2.109 | 169.635 | 0 | 291.888 | 0 | 0 | 0 | 463.632 |
| China | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | 41 |
| Sonstige | 2.782* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.782 |
| Summe | 34.076 | 3.161.909 | 13.008 | 619.033 | 33 | 2.156 | 41 | 3.830.256 |

* Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen

1.3 Ausfuhrstatistik (Export statistics)

Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide bis 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr gemäß Tabelle 1.3-1 nahm von 238.211 GBq (2006) weiter ab auf 197.017 GBq (2007). Das Nuklidspektrum ist gegenüber 2006 unverändert geblieben; lediglich Fe-55 wurde, wenn auch mit geringen Aktivitäten, zusätzlich in diese Tabelle aufgenommen.

Beinahe das gesamte ausgeführte Tritium war im Berichtszeitraum in Gaslichtquellen enthalten. Ausfuhren von Tritium-Leuchtfarbe wurden hingegen in 2007 nicht registriert.

**Tabelle 1.3-1 Ausfuhr offener und ungeschlossener Radionuklide bis 1850 GBq im Jahr 2007
(Export of sealed and unsealed radionuclides up to 1850 GBq in the year 2007)**

| Verbraucherland | H-3 | C-14 | F-18 | Fe-55 | Co-60 | Ni-63 | Se-75 | Kr-85 | Sr-90 | Y-90 | I-125 | I-131 | Cs-137 | Pm-147 | Ir-192 | Am-241 | Sonst. | Summe |
|------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Aktivität in GBq | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schweiz | 6.467 | 1 | 16.805 | 7 | 1 | 13 | 1.591 | 1.118 | 24 | 0 | 203 | 290 | 11 | 37 | 3.890 | 1 | 47 | 30.506 |
| Norwegen | 4.180 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 295 | 4 | 0 | 7 | 26 | 4.526 |
| USA | 23.553 | 4.774 | 0 | 101 | 576 | 2.507 | 15.362 | 3.949 | 328 | 23 | 544 | 0 | 4.119 | 3.042 | 2.022 | 2.487 | 103 | 63.490 |
| Kanada | 2.165 | 0 | 0 | 0 | 12 | 26 | 0 | 0 | 1 | 0 | 494 | 0 | 91 | 0 | 9 | 0 | 0 | 2.798 |
| Australien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 6 | 0 | 14.746 | 63 | 0 | 96 | 0 | 0 | 296 | 8 | 15.222 |
| Neuseeland | 138 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15 | 0 | 0 | 154 |
| Japan | 104 | 0 | 0 | 18 | 340 | 229 | 0 | 1.620 | 12 | 7 | 1 | 0 | 274 | 967 | 15.170 | 515 | 0 | 19.257 |
| Südkorea | 0 | 0 | 0 | 19 | 323 | 68 | 0 | 43 | 1 | 0 | 4 | 25.214 | 622 | 99 | 391 | 566 | 0 | 27.350 |
| Türkei | 0 | 0 | 0 | 0 | 92 | 8 | 0 | 70 | 4 | 0 | 31 | 0 | 377 | 43 | 3 | 12 | 15 | 655 |
| Kroatien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 807 | 1 | 0 | 0 | 0 | 18 | 827 |
| Ukraine | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.498 | 0 | 0 | 44 | 0 | 1.563 |
| Russland | 0 | 0 | 0 | 0 | 152 | 12 | 0 | 16 | 0 | 0 | 424 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 604 |
| Brasilien | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 102 | 50 | 0 | 29 | 0 | 209 |
| Chile | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 | 6 | 0 | 145 |
| Mexico | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 16 | 50 | 0 | 244 | 0 | 343 |
| Sudafrika | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 648 | 18 | 0 | 253 | 7 | 973 |
| Kuwait | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.410 | 0 | 5 | 7.416 |
| Saudi-Arabien | 0 | 0 | 0 | 0 | 99 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 132 | 0 | 0 | 0 | 0 | 241 |
| Marokko | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 193 | 0 | 0 | 218 |
| Tunesien | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 | 0 | 0 | 713 |
| Thailand | 12 | 0 | 0 | 0 | 95 | 1 | 0 | 1.123 | 2 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 9 | 0 | 1.258 |
| Laos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 206 | 0 | 0 | 0 | 0 | 206 |
| China | 0 | 4 | 0 | 0 | 29 | 59 | 0 | 81 | 23 | 0 | 0 | 0 | 5.673 | 87 | 0 | 46 | 1 | 6.396 |
| Taiwan | 4 | 0 | 0 | 0 | 46 | 2 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 846 | 55 | 0 | 22 | 0 | 996 |
| Indien | 0 | 0 | 0 | 0 | 314 | 13 | 0 | 388 | 9 | 0 | 0 | 0 | 2.495 | 25 | 0 | 2.423 | 3 | 5.670 |
| Bangladesch | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 222 | 0 | 263 |

| Verbraucherland | H-3 | C-14 | F-18 | Fe-55 | Co-60 | Ni-63 | Se-75 | Kr-85 | Sr-90 | Y-90 | I-125 | I-131 | Cs-137 | Pm-147 | Ir-192 | Am-241 | Sonst. | Summe |
|------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Aktivität in GBq | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kasachstan | 0 | 0 | 0 | 0 | 248 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 666 | 0 | 915 |
| Turkmenistan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 | 0 | 751 | 0 | 825 |
| Jordanien | 1.201 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 25 | 0 | 0 | 0 | 1.238 |
| Iran | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 189 | 0 | 0 | 5 | 0 | 207 |
| Israel | 288 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 4 | 210 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 513 |
| Sonstige | 9 | 0 | 0 | 5 | 286 | 28 | 0 | 84 | 6 | 47 | 1 | 29 | 422 | 87 | 56 | 244 | 16 | 1.320 |
| Summe | 38.121 | 4.780 | 16.805 | 184 | 3.022 | 2.989 | 16.953 | 8.673 | 416 | 14.928 | 1.977 | 26.340 | 18.277 | 4.589 | 29.844 | 8.866 | 253 | 197.017 |

Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq (Tabelle 1.3-2) hat sich in erster Linie wegen der etwa halbierten Aktivität bei Co-60 und Se-75 auch insgesamt auf etwas mehr als die Hälfte reduziert.

Obwohl keine Rücklieferungen von Co-60-Quellen nach Kanada stattgefunden haben, findet sich der größte Posten trotzdem in der Summe für Co-60.

Tabelle 1.3-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2007
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2007)

| Verbraucherland | Co-60 | Se-75 | Cs-137 | Ir-192 | Summe |
|------------------------------|------------------|---------|---------|--------|-----------|
| | Aktivität in GBq | | | | |
| Norwegen | 128.000 | 0 | 0 | 0 | 128.000 |
| Türkei | 610.000 | 0 | 0 | 0 | 610.000 |
| USA | 0 | 145.600 | 1.850 | 0 | 147.450 |
| Ukraine | 757.000 | 0 | 0 | 0 | 757.000 |
| Kroatien | 0 | 0 | 0 | 9.940 | 9.940 |
| Marokko | 379.000 | 0 | 0 | 0 | 379.000 |
| Ägypten | 0 | 0 | 0 | 16.095 | 16.095 |
| Vereinigte Arabische Emirate | 0 | 0 | 0 | 8.510 | 8.510 |
| Kuwait | 0 | 0 | 0 | 14.245 | 14.245 |
| China | 0 | 0 | 92.500 | 0 | 92.500 |
| Indien | 355.000 | 0 | 0 | 0 | 355.000 |
| Kenia | 0 | 0 | 0 | 1.850 | 1.850 |
| Malaysia | 0 | 0 | 0 | 14.060 | 14.060 |
| Singapur | 0 | 0 | 81.400 | 0 | 81.400 |
| Taiwan | 0 | 0 | 81.400 | 0 | 81.400 |
| Libyen | 0 | 0 | 0 | 2.035 | 2.035 |
| Summe GBq | 2.229.000 | 145.600 | 257.150 | 66.735 | 2.698.485 |
| Stückzahl | 11 | 56 | 10 | 28 | 105 |

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.3-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Ausfuhrmenge ist in 2007 mit 3.836.072 kg gegenüber 3.111.251 kg (2006) hauptsächlich wegen des Anstiegs bei abgereichertem Uran weiter angestiegen.

So liegt hier mit 3.138.413 kg, die zum Zwecke der Wiederanreicherung auf den U-235-Gehalt von Natururan nahezu vollständig nach Russland verbracht wurden, der mengenmäßig größte Anteil, es sind 81,8% der Gesamtausfuhr.

Der beinahe gesamte Rest findet sich bei angereichertem Uran mit 3-10%igem Anteil an U-235.

Uran mit höheren Anreicherungsgraden ist im Berichtszeitraum ebenso wenig in relevanten Mengen ausgeführt worden, wie auch Plutonium und Thorium.

Das unter „Sonstige“ (Länder) aufgeführte abgereicherte Uran stellt Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen dar und findet sich gleichermaßen bei der Einfuhr.

Tabelle 1.3-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe in kg im Jahr 2007
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2007)

| Verbraucherland | abger. Uran | Natururan | bis 3% U-235 | >3-10%U-235 | Summe |
|-----------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|
| | in kg | | | | |
| Frankreich | 3.098 | 523 | 0 | 101.697 | 105.318 |
| Belgien | 0 | 0 | 223 | 183.092 | 183.315 |
| Niederlande | 0 | 0 | 0 | 61 | 61 |
| Großbritannien | 5 | 150 | 0 | 43.496 | 43.651 |
| Spanien | 0 | 0 | 0 | 39.783 | 39.783 |
| Schweden | 0 | 0 | 0 | 148.511 | 148.511 |
| Finnland | 0 | 0 | 0 | 4.145 | 4.145 |
| Schweiz | 0 | 0 | 0 | 342 | 342 |
| Südkorea | 0 | 0 | 0 | 36.059 | 36.059 |
| USA | 362 | 158 | 0 | 121.920 | 122.440 |
| Russland | 3.132.204 | 0 | 0 | 3.847 | 3.136.051 |
| Brasilien | 0 | 0 | 0 | 13.652 | 13.652 |
| Sonstige | 2.744* | 0 | 0 | 0 | 2.744 |
| Summe | 3.138.413 | 831 | 223 | 696.605 | 3.836.072 |

* Abschirm- bzw. Transport- sowie Lagerbehälter für umschlossene Strahlenquellen

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.3-4 waren bisher die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt und zwar im Wesentlichen für solche, die zum Zwecke des Rezyklierens verbraucht worden waren. Durch § 9a Abs. 1 Satz 2 AtG ist dies nicht mehr zulässig und es blieben lediglich Kleinmengen, die nicht unter die genannte Regelung fallen wie z. B. bestrahlte Brennstabsegmente zu Forschungszwecken oder MTR („Material-Testing-Reactor“)- Brennelemente, die Eigentum der Vereinigten Staaten sind und somit nach deren Nutzungsdauer zurückzuliefern waren.

Für das Jahr 2007 entfällt diese Tabelle, da keine Lieferungen derartiger Kleinmengen registriert wurden.

1.4 Genehmigungen und Anzeigen (Licenses and notifications)

Tabelle 1.4-1 zeigt die Anzeigen und Genehmigungen im Jahr 2007. Neu in dieser Tabelle ist die Rubrik „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“. Hier sind die Genehmigungen zur Einfuhr für jene hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQs) aufgeführt, deren grenzüberschreitende Verbringung auf Grund des HRQ-Gesetzes vom August 2005 nicht im Anzeigeverfahren zulässig und daher genehmigungspflichtig ist.

Die Genehmigungen zur Ausfuhr solcher HRQs sind sinngemäß in der Rubrik „Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ enthalten, wo sich zuvor lediglich Genehmigungen für diejenigen sonstigen radioaktiven Stoffe fanden, deren Aktivität das 10⁸-fache der Freigrenzen pro Versandstück überschritt.

Ferner ist in der Tabelle seit dem Berichtsjahr 2002 die rechte Spalte „Genehmigungen nach § 108 StrlSchV“ enthalten; sie ersetzt die Auflistung der Anzeigen nach § 12 Abs. 3 der alten Strahlenschutzverordnung.

Da grenzüberschreitende Verbringungen von Konsumgütern nach § 108 StrlSchV jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden, wird in dieser Spalte lediglich die Anzahl der im Berichtszeitraum erteilten Genehmigungen angegeben, welche jeweils eine Gültigkeit von zwei Jahren haben (je 8 für Ein- und Ausfuhr).

Die einschneidendste Änderung ebenfalls seit 2002 liegt jedoch im Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe. Die vorliegende Statistik enthält daher hierüber keine Daten.

Durch den Beitritt der 10 neuen Mitgliedstaaten zum 01. Mai 2004 sind diese in den Tabellen bereits seit der Statistik für 2005 auch nicht mehr aufgeführt. Die im Jahr 2006 der EU neu beigetretenen Mitgliedstaaten entfallen so in der vorliegenden Jahresstatistik ebenfalls.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 39 Einfuhr- und 81 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 50 Ausfuhr- und 32 Einfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Die vorliegende Statistik enthält auf Grund der „Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung“ (AtAV) keine Daten über radioaktive Abfälle; diese sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission (Bericht der Kommission Dritter Bericht über die Anwendung in den Mitgliedsstaaten der Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur

Überwachung und Kontrolle der Verbringungen radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft, Daten von 2007 noch unveröffentlicht) zu entnehmen.

Im Jahr 2007 gingen 3.584 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 6.021 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 beinahe gleich geblieben.

Tabelle 1.4-1 Zusammenstellung über die Anzahl der Genehmigungen und Anzeigen im Jahr 2007
(*Overview of the number of licenses and notifications in the year 2007*)

| Anzahl der Genehmigungen § 3 AtG und § 19 StrlSchV | | | Anzahl der Anzeigen § 20 StrlSchV | | Anzahl der Genehmigungen § 108 StrlSchV | |
|---|---------|---------|--------------------------------------|---------------------|--|--------------------|
| für | erteilt | genutzt | Abs. 1 u. 3 (Einfuhr) | Abs. 2 (Ausfuhr) | Nr. 1 (Einfuhr) | Nr. 2 (Ausfuhr) |
| Einfuhr § 3 AtG | 39 | 32 | 3.584 | 6.021 | 8* | 8* |
| Ausfuhr § 3 AtG | 81 | 52 | | | | |
| Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen) | 32 | 31 | | | | |
| Ausfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen) | 50 | 44 | | | | |

* In 2007 erteilte Genehmigungen nach § 108 StrlSchV; die Laufzeiten betragen zwei Jahre.

Diese Aufstellung sowie folglich auch die gesamte Jahresstatistik enthält, bedingt durch die Strahlenschutzverordnung von 2001, keine Daten über innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe, wodurch sich die deutliche Abnahme der Anzahlen an Anzeigen seit 2002 erklärt.

Bei den Ausfuhrgenehmigungen nach § 19 Abs. 1 StrlSchV für sonstige radioaktive Stoffe über dem 10⁸-fachen der Freigrenzen sind auch Genehmigungen auf Grund des HRQ-Gesetzes vom 12.08.2005 für HRQs > A1 enthalten. Ebenfalls infolge des HRQ-Gesetzes sind unter „Einfuhr § 19 Abs. 1 StrlSchV“ Genehmigungen für HRQs > A1 aufgeführt.

Die Ein- und Ausfuhr bzw. die grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Abfälle wird seit dem 01.08.1998 ausschließlich durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) geregelt.

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

Auf dem Gebiet des Transports von radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen ist das BfS die zuständige Bundesbehörde zur Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für alle Verkehrsträger gemäß § 4 Atomgesetz (Beförderung von Kernbrennstoffen) und § 16 Strahlenschutzverordnung (Beförderung von Großquellen).

Außerdem ist das BfS gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz und den darauf beruhenden Verordnungen zuständig für die Erteilung von verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen sowie für die Zulassung und Anerkennung von Transportbehältern.

Ein Schwerpunkt der Genehmigungsverfahren 2007 war die Erteilung der verkehrsrechtlichen Beförderungsgenehmigungen, die im Rahmen der Stilllegung der Kernkraftwerke Stade und Rheinsberg beim BfS als zuständige Genehmigungsbehörde in den vergangenen Jahren beantragt und nach Abschluss der Prüfungen jeweils in Form einer Sondervereinbarung erteilt wurden.

Auf der Grundlage dieser Genehmigungen wurden aus dem KKW Stade im September vier Dampferzeuger per Schiffs-transport nach Studsvik/Schweden transportiert und der Reaktordruckbehälter des KKW Rheinsberg auf einem Spezialwaggon per Bahntransport am 30./31. Oktober zum Zwischenlager der Energiewerke Nord GmbH bei Lubmin befördert.

Genehmigungen nach § 4 AtG wurden u. a. für die Versorgung des Forschungsreaktors in Garching mit unbestrahlten Platten-Brennelementen sowie für den Abtransport von unbestrahlten Platten-Brennelementen aus dem Forschungszentrum Jülich in die kerntechnische Anlage der SCK/CEN in Mol, Belgien, erteilt.

Im Jahre 2007 wurden vom BfS insgesamt 111 Beförderungsgenehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) für Kernbrennstoffe und Großquellen erteilt. Es wurden 15 Transporte von Großquellen und 382 Transporte von Kernbrennstoffen durchgeführt. Entsprechend den gefahrgutrechtlichen Anforderungen wurden durch das BfS 27 Versandstückmusterzulassungen und 16 Anerkennungen ausländischer Zulassungen für Transportbehälter sowie 2 verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen (als Sondervereinbarung) erteilt.

Weitere Informationen über die vom BfS erteilten Beförderungsgenehmigungen und Angaben über die durchgeführten Kernbrennstofftransporte werden auf der Homepage des BfS (www.bfs.de/de/transport/gv/tg.pdf) veröffentlicht.

Auf dem Gebiet der Weiterentwicklung des Gefahrgutbeförderungsrechts setzte auch im Jahr 2007 die Arbeitsgruppe „Klasse 7“, Beratungsgremium des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), unter der Leitung des BfS ihre Arbeit fort. Die dort gefassten Beschlüsse zur Regelwerksfortentwicklung wurden über den BMVBS an die Internationale Atomenergieorganisation in Wien und die für die Beförderung gefährlicher Güter zuständigen UN-Gremien in Genf weitergeleitet.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe (Overview of transport licenses and the transportation of radioactive material)

Gemäß § 23 AtG ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen (§ 4 AtG) für Kernbrennstoffe und Beförderungsgenehmigungen (§ 16 StrlSchV) für Großquellen. Im Jahr 2007 wurden zusammen 111 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of shipments of nuclear fuels reported – for various modes and types of transport)

| Anzahl der Inlandtransporte | | |
|--|------------|------------|
| | 2007 | 2006 |
| Schiene / unbestrahltes Material | 0 | 0 |
| Schiene / bestrahltes Material | 0 | 0 |
| Schiene / Reststoffe und Abfall | 0 | 0 |
| Straße / unbestrahltes Material | 70 | 79 |
| Straße / bestrahltes Material | 0 | 0 |
| Straße / Reststoffe und Abfall | 0 | 0 |
| Insgesamt | 70 | 79 |
| Anzahl der grenzüberschreitenden Transporte | | |
| Luft / unbestrahltes Material | 1 | 4 |
| Luft / bestrahltes Material | 0 | 0 |
| Luft / Reststoffe und Abfall | 0 | 0 |
| See / unbestrahltes Material | 122 | 100 |
| See / bestrahltes Material | 0 | 2 |
| See / Reststoffe und Abfall | 3 | 3 |
| Schiene / unbestrahltes Material | 0 | 0 |
| Schiene / bestrahltes Material | 0 | 0 |
| Schiene / Reststoffe und Abfall | 0 | 1 |
| Straße / unbestrahltes Material | 185 | 215 |
| Straße / bestrahltes Material | 1 | 19 |
| Straße / Reststoffe und Abfall | 0 | 0 |
| Insgesamt | 312 | 344 |

2007 wurden insgesamt 382 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 15 Transporte mit Großquellen durchgeführt.

Gemäß den gefahrgutrechtlichen Regelungen wurden 2007 vom BfS insgesamt 27 Zulassungen für Transportbehälter und 16 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen sowie 2 Beförderungsgenehmigungen (als Sondervereinbarung) erteilt.

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen (Transport of radioactive material in the rail- and shipping traffic)

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes

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

Die gesamte Anzahl der im Jahr 2007 beförderten Wagenladungen im Vergleich zu den Vorjahren ist in Tabelle 2.2-1 aufgeführt.

| Jahr | Anzahl Wagenladungen |
|------|----------------------|
| 1990 | 558 |
| 1991 | 744 |
| 1992 | 562 |
| 1993 | 662 |
| 1994 | 745 |
| 1995 | 654 |
| 1996 | 780 |
| 1997 | 678 |
| 1998 | 415 |
| 1999 | 204 a |
| 2000 | 258 a |
| 2001 | 336 |
| 2003 | 552 |
| 2004 | 509 |
| 2005 | 610 |
| 2006 | 536 |
| 2007 | 528 |

Tabelle 2.2-1

Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen mit radioaktiven Stoffen
(Number of yearly transported truck loads containing radioactive materials)

a rückläufig, überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 gibt einen Überblick hinsichtlich der Anzahl der Transporte mit der Eisenbahn in Abhängigkeit der jeweiligen rechtlichen Grundlage der erteilten Beförderungsgenehmigung.

| Rechtliche Grundlage | Genehmigungsbehörde | Anzahl Transporte | | Anzahl Wagenladungen | |
|----------------------|------------------------------------|-------------------|------|----------------------|------|
| | | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| AtG § 4 | Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) | - | 1 | - | 12 |
| AtG § 23 Abs. 2 | Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) | - | - | - | - |
| StrlSchV § 16 | Eisenbahn-Bundesamt (EBA) | 158 | 147 | 521 | 521 |
| StrlSchV § 17 | genehmigungsfrei | 6 | 3 | 7 | 3 |

Wie im letzten Jahr ist die Anzahl der Beförderungen, die nach § 16 StrlSchV durchgeführt worden sind, im Verhältnis zur Gesamtzahl an Beförderungen sehr hoch. Dies ist besonders sichtbar an der Zahl der beförderten Wagenladungen. Zurückzuführen ist dies vor allem auf das Mitte des Jahres 2005 in Kraft getretene Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen. Danach bedarf die Beförderung radioaktiver Stoffe, die ehemals genehmigungsfrei befördert wurden, dann einer Genehmigung, wenn sie nicht spätestens zwei Wochen vor der Beförderung der zuständigen Behörde angezeigt werden.

Da der Absender diese Frist nicht gewährleisten kann, wurden im Berichtszeitraum diese Beförderungen mit behördlicher Genehmigung durchgeführt.

Tabelle 2.2-3 listet die Anzahl der Wagenladungen des Jahres 2007, spezifiziert nach der Art der beförderten radioaktiven Stoffe, im Vergleich zum Vorjahr auf. Im Herbst 2007 wurde der komplette Reaktordruckbehälter des Kernkraftwerkes Rheinsberg mit einem 24-achsigen Tiefladewagen vom Kernkraftwerk Rheinsberg in Brandenburg zur Energiewerke Nord GmbH in Mecklenburg-Vorpommern befördert. Voraussetzung hierfür war die Erteilung einer Beförderungsgenehmigung nach § 16 StrlSchV durch das EBA. Diese konnte u. a. wiederum erteilt werden, da mit einer Beförderungsgenehmigung durch Sondervereinbarung nach 5.1.5.2.2 RID durch das BfS gemäß § 6 Abs. 3 Nr. 3 GGvSE die Bedingungen an die Verpackung als erfüllt anzusehen waren.

Die aufsichtlichen Tätigkeiten des EBA wurden vor- und nachverlagert in den KTA sowie während der Beförderung durchgeführt.

Tabelle 2.2-4 zeigt die Gesamtgammaaktivität für den Wagenladungsverkehr im Jahr 2007. In 2007 wurde keine Beförderung von HAW (high active waste)-Glaskokillen durchgeführt. Die Gesamtgammaaktivität im Wagenladungsverkehr wird nur durch die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen bestimmt, deshalb erfolgt die Angabe gegenüber anderen Jahren in TBq.

Tabelle 2.2-3 **Wagenladungssendungen 2007**
(*Truck-loads in 2007*)

| Art der beförderten Stoffe | Anzahl der Wagen | |
|---|------------------|------------|
| | 2006 | 2007 |
| Kernbrennstoffe | | |
| Unbestrahlte Brennelemente | - | - |
| Bestrahlte Brennelemente | - | - |
| Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW) | 12 | - |
| Bestrahlte Brennstoffproben | - | - |
| angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF ₆) - UF ₆ -Konversionsprodukten | - | - |
| Sonstige radioaktive Stoffe | | |
| Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆) Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels) Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆) | 218 | 218 |
| Urannerze, Urannerzkonzentrate | 187 | 202 |
| Radioaktiver Abfall aus kerntechnischen Anlagen (einschl. Reaktordruckbehälter Rheinsberg) | 113 | 90 |
| Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken | 3 | 5 |
| Leere Verpackungen, innen kontaminiert | - | 6 |
| Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente | - | - |
| Freigestellte Versandstücke | 3 | 7 |
| Summe | 536 | 528 |

Tabelle 2.2-4 **Beförderte Gesamtgammaaktivität 2007**
(*Total activity transported 2007*)

| Art der beförderten Stoffe | Beförderte Gesamtaktivität (Werte zum Teil geschätzt) | |
|---|--|-----------------|
| | 2006 (PBq) | 2007 (TBq) |
| Kernbrennstoffe | | |
| Unbestrahlte Brennelemente | - | - |
| Bestrahlte Brennelemente | - | - |
| Verglaste hochradioaktive Spaltproduktlösungen (HAW) | 4.100,642 | - |
| Bestrahlte Brennstoffproben | - | - |
| Angereichertes Uran in Form von - Uranhexafluorid (UF ₆) - UF ₆ -Konversionsprodukten | - | - |
| Sonstige radioaktive Stoffe | | |
| Uran der natürlichen Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆) Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels) Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆) | 0,139 | 132,47 |
| Urannerze, Urannerzkonzentrate | 0,122 | 183,95 |
| Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l-Metallfässern (einschl. Reaktordruckbehälter Rheinsberg) | 0,031 | 80,24 |
| Rückbauteile aus KKW in Typ A- und Typ B(U)-Versandstücken | 0,169 | 2.274,00 |
| Leere Verpackungen, innen kontaminiert | - | 0,65 |
| Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente | - | - |
| Freigestellte Versandstücke | - | - |
| Summe | 4.101,104 | 2.671,31 |

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

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

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

In Tabelle 3.1-1 ist die Zahl der in 2007 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 2007 im Wesentlichen zu 78,7% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 3,4% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, zu 2,1% auf Beförderung und zu 15,6% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen. Nur ca. 0,3% der Genehmigungen betrafen § 9 AtG und 0,1% den Zusatz radioaktiver Stoffe zu Konsumgütern.

Gemäß § 7 StrlSchV „Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen“ waren im Jahr 2007 14.922 Genehmigungen in Deutschland gültig. Die Zahl der Inhaber dieser Genehmigungen ist in Tabelle 3.1-2 aufgelistet und betrug insgesamt 10.486, davon waren

- 25% im Bereich der Medizin einschließlich der medizinischen Forschung und Lehre,
- 12% im Bereich Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- 57% im Bereich Industrie, gewerbliche Wirtschaft und
- 6% in sonstigen Bereichen, z. B. Behörden registriert.

In Tabelle 3.1-3 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender ausschließlich umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2007 dargestellt. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2007 deutlich höher als in den anderen Bereichen.

Eine Übersicht über die Zahl der Inhaber von Genehmigungen zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2007 gibt Tabelle 3.1-4.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2007 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-5 entnommen werden. Von den insgesamt 13.196 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 15 Präparate als undicht ermittelt. Davon betroffen waren u. a. drei Am-241-Quellen, drei Cs-137-Quellen, eine Ra-226-Quelle, eine Cd-109-Quelle, eine Co-60-Quelle, eine Fe-55-Quelle, eine Pu-238-Quelle, eine Pu-239-Quelle, eine Pu-239/Beryllium-Quelle, eine Ni-63-Quelle und ein sonstiges Nuklid. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

Die Daten der Länder Bremen, Saarland und Thüringen fehlen in der Zusammenstellung.

In den Tabellen 3.1-6 und 3.1-7 ist eine Übersicht über die Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen nach RöV im Jahr 2007 unterteilt auf die Bereiche „Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin“ sowie „Technik / Nichtmedizin“ für die einzelnen Bundesländer dargestellt. Die Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler betrug 1.442 und ist für die Bundesländer in Tabelle 3.1-7 gesondert aufgeführt. 36% der nach § 3 Abs.1 RöV genehmigten Röntgeneinrichtungen werden für die technische Radiographie zur Grobstrukturanalyse eingesetzt. Im Jahr 2007 wurden im technischen Bereich 9.411 Röntgeneinrichtungen gemäß § 4 Abs.1 angezeigt.

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

| Land | Am 31.12.2007 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 | 3.123 | Abs. 1: 8, Abs. 2: 79 | 668 | 137 | 3 | 15 |
| Bayern | 1.519 | Abs. 1: 1, Abs. 2: 75 | 374 | 11 | 6 | 12 |
| Berlin | 948 | Abs. 2: 58 | 194 | 40 | 0 | 2 |
| Brandenburg | 299 | Abs. 2: 10 | 63 | 8 | 0 | 0 |
| Bremen | keine Angaben | | | | | |
| Hamburg | 275 | Abs. 2: 8 | 67 | 3 | 0 | 0 |
| Hessen | 911 | Abs. 1: 1, Abs. 2: 47 | 203 | 6 | 0 | 6 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 189 | Abs. 1: 2, Abs. 2: 10 | 82 | 1 | 0 | 0 |
| Niedersachsen | 2.105 | Abs. 2: 66 | 279 | 54 | 0 | 2 |
| Nordrhein-Westfalen | 3.464 | Abs. 1: 8, Abs. 2: 155 | 481 | 59 | 0 | 11 |
| Rheinland-Pfalz | 477 | Abs. 2: 19 | 147 | 31 | 0 | 2 |
| Saarland | 135 | Abs. 2: 9 | 20 | 5 | 0 | 0 |
| Sachsen | 542 | Abs. 2: 27 | 181 | 13 | 2 | 5 |
| Sachsen-Anhalt | 394 | Abs. 2: 19 | 71 | 15 | 0 | 0 |
| Schleswig-Holstein | 541 | Abs. 2: 36 | 123 | 6 | 2 | 1 |
| Thüringen | keine Angaben | | | | | |
| Summe: | 14.922 | Abs. 1: 20, Abs. 2: 618 | 2.953 | 389 | 13 | 56 |

^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: 31.12.2007)
(Survey of the number of licencees according to § 7 StrlSchV relating to the handling of radioactive substances (as at December 31, 2007))**

| Land | Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV | | | |
|------------------------|--|---|-----------------------------------|---------------------------|
| | Medizin einschl. med. Forschung und Lehre | Forschung und Lehre außerhalb der Medizin | Industrie, gewerbliche Wirtschaft | Sonstige (z. B. Behörden) |
| Baden-Württemberg | 433 | 171 | 1.047 | 79 |
| Bayern | 249 | 36 | 713 | 139 |
| Berlin | 416 | 292 | 194 | 12 |
| Brandenburg | 28 | 25 | 234 | 13 |
| Bremen | keine Angaben | | | |
| Hamburg | 48 | 19 | 133 | 9 |
| Hessen | 179 | 90 | 374 | 34 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 45 | 31 | 88 | 18 |
| Niedersachsen | 179 | 92 | 620 | 36 |
| Nordrhein-Westfalen | 788 | 218 | 1.683 | 101 |
| Rheinland-Pfalz | 91 | 69 | 260 | 52 |
| Saarland | 26 | 2 | 47 | 3 |
| Sachsen | 101 | 122 | 261 | 42 |
| Sachsen-Anhalt | 37 | 42 | 253 | 23 |
| Schleswig-Holstein | 42 | 13 | 122 | 12 |
| Thüringen | keine Angaben | | | |
| Summe: | 2.662 | 1.222 | 6.029 | 573 |

^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: 31.12.2007)
(Survey of the number of licences according to § 7 StrlSchV relating to the handling of sealed radioactive sources only (as at December 31, 2007))

| Land | Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 7 StrlSchV (umschlossene rad. Stoffe) | | | | |
|--------------------|---|---|-----------------------------------|--|---------------------------|
| | Medizin einschl. med. Forschung und Lehre | Forschung und Lehre außerhalb der Medizin | Industrie, gewerbliche Wirtschaft | davon zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung | Sonstige (z. B. Behörden) |
| Baden-Württemberg | 128 | 62 | 650 | 60 | 45 |
| Bayern | 42 | 22 | 669 | 11 | 126 |
| Berlin | 124 | 20 | 114 | 12 | 2 |
| Brandenburg | 21 | 13 | 209 | 10 | 7 |
| Bremen | keine Angaben | | | | |
| Hamburg | 2 | 8 | 109 | 3 | 7 |
| Hessen | 24 | 9 | 255 | 3 | 17 |
| Mecklenburg-Vorp. | 17 | 15 | 73 | 1 | 10 |
| Niedersachsen | 31 | 22 | 473 | 26 | 17 |
| Nordrhein-Westf. | 109 | 126 | 1.416 | 89 | 46 |
| Rheinland-Pfalz | 65 | 42 | 189 | 11 | 36 |
| Saarland | 3 | 1 | 39 | 5 | 3 |
| Sachsen | 34 | 47 | 232 | 12 | 25 |
| Sachsen-Anhalt | 7 | 8 | 214 | 19 | 16 |
| Schleswig-Holstein | 26 | 8 | 72 | 4 | 13 |
| Thüringen | keine Angaben | | | | |
| Summe: | 633 | 403 | 4.714 | 266 | 370 |

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 zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 11 StrlSchV (Stand: 31.12.2007)
(Survey of the number of licences according to § 11 StrlSchV relating to the construction and operation of devices for the production of ionising radiation (as at December 31, 2007))

| Land | Zahl der Inhaber von Genehmigungen nach § 11 StrlSchV | | | |
|------------------------|---|---|-----------------------------------|---------------------------|
| | Medizin einschl. med. Forschung und Lehre | Forschung und Lehre außerhalb der Medizin | Industrie, gewerbliche Wirtschaft | Sonstige (z. B. Behörden) |
| Baden-Württemberg | 39 | 12 | 4 | 0 |
| Bayern | 44 | 8 | 9 | 0 |
| Berlin | 23 | 17 | 0 | 0 |
| Brandenburg | 6 | 1 | 1 | 0 |
| Bremen | keine Angaben | | | |
| Hamburg | 7 | 1 | 1 | 1 |
| Hessen | 20 | 4 | 2 | 0 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 9 | 1 | 0 | 0 |
| Niedersachsen | 21 | 6 | 6 | 0 |
| Nordrhein-Westfalen | 96 | 9 | 8 | 0 |
| Rheinland-Pfalz | 14 | 1 | 0 | 0 |
| Saarland | 5 | 0 | 1 | 0 |
| Sachsen | 18 | 6 | 2 | 1 |
| Sachsen-Anhalt | 7 | 0 | 3 | 0 |
| Schleswig-Holstein | 22 | 2 | 0 | 0 |
| Thüringen | keine Angaben | | | |
| Summe: | 331 | 68 | 37 | 2 |

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 2007
(Survey on the results of leakage tests of sealed radioactive sources according to § 66 StrlSchV - year 2007)

| 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 | 2.141 | 165 | 586 | 427 | 30 | 4 | 81 | 435 | 106 | 307 | 1 x Cd-109, 1 x Co-60, 1 x Cs-137, 1 x Fe-55, 2 x Am-241 | |
| Bayern | 2.526 | 149 | 432 | 577 | 38 | 1 | 83 | 460 | 165 | 621 | 1 x Ni-63 | |
| Berlin | 360 | 33 | 113 | 124 | 3 | 0 | 4 | 29 | 12 | 42 | 1 x Cs-137 | |
| Brandenburg | 575 | 81 | 16 | 248 | 3 | 0 | 12 | 90 | 36 | 89 | 1 x Am-241, 1 x sonstiges Nuklid | |
| Bremen | | | | | | | keine Angaben | | | | | |
| Hamburg | 236 | 31 | 47 | 64 | 0 | 0 | 5 | 31 | 8 | 50 | 0 | |
| Hessen | 441 | 106 | 88 | 112 | 9 | 0 | 12 | 30 | 21 | 63 | 0 | |
| Mecklenburg-Vorp. | 287 | 46 | 30 | 129 | 1 | 0 | 1 | 44 | 5 | 31 | 0 | |
| Niedersachsen | 1.762 | 201 | 210 | 621 | 13 | 0 | 119 | 245 | 107 | 246 | 1 | |
| Nordrhein-Westfalen | 2.438 | 289 | 335 | 651 | 48 | 0 | 36 | 653 | 35 | 391 | 0 | |
| Rheinland-Pfalz | 213 | 5 | 48 | 73 | 2 | 0 | 6 | 48 | 0 | 31 | 0 | |
| Saarland | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Sachsen | 1.693 | 865 | 88 | 453 | 9 | 0 | 7 | 103 | 48 | 120 | 1 x Ra-226, 1 x Cs-137, 1 x Pu-238, 1 x Pu-239 | |
| Sachsen-Anhalt | 241 | 34 | 6 | 87 | 0 | 0 | 0 | 16 | 23 | 96 | 1 x Pu-239/Be | |
| Schleswig-Holstein | 283 | 19 | 60 | 107 | 9 | 0 | 12 | 26 | 23 | 29 | 0 | |
| Thüringen | | | | | | | keine Angaben | | | | | |
| Summe: | 13.196 | 2.024 | 2.059 | 3.673 | 165 | 5 | 378 | 2.210 | 589 | 2.116 | 15 | |

Tabelle 3.1-6

Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen (RöE) in der Humanmedizin, Zahnmedizin und Tiermedizin in 2007
(Survey on the granted and registered X-Ray installations (RöE) in medicine, dentistry and veterinary medicine in 2007)

Am 31.12.2007 gültige Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen

| Land | Humanmedizin | | Zahnmedizin | | Tiermedizin | | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------|
| | Behandlung | Untersuchung | Behandlung | Untersuchung | Behandlung | Untersuchung | |
| Baden-Württemberg | 65 | 1.044 (30) | 4.358 | 1.725 | 12.176 | 345 | 559 |
| Bayern | 45 | 619 (61) | 5.308 | 688 | 13.214 | 329 | 831 |
| Berlin | 17 | 100 (3) | 1.775 | 51 | 3.779 | 42 | 339 |
| Brandenburg | 3 | 54 (14) | 854 | 6 | 2.096 | 55 | 203 |
| Bremen | | | keine Angaben | | | | |
| Hamburg | 10 | 71 (2) | 886 | 57 | 2.352 | 25 | 77 |
| Hessen | 21 | 121 (41) | 2.310 | 130 | 6.264 | 126 | 469 |
| Mecklenburg-Vorp. | 1 | 31 (9) | 677 | 5 | 1.877 | 12 | 121 |
| Niedersachsen | 39 | 256 (29) | 3.931 | 246 | 8.058 | 112 | 795 |
| Nordrhein-Westfalen | 126 | 1.421 (56) | 8.364 | 1.800 | 16.330 | 293 | 1.056 |
| Rheinland-Pfalz | 17 | 120 (21) | 1.838 | 51 | 3.637 | 55 | 314 |
| Saarland | 9 | 75 (12) | 588 | 21 | 893 | 15 | 72 |
| Sachsen | 12 | 177 | 1.887 | 61 | 4.936 | 45 | 292 |
| Sachsen-Anhalt | 10 | 64 (10) | 1.094 | 9 | 2.617 | 18 | 157 |
| Schleswig-Holstein | 15 | 180 (11) | 1.104 | 91 | 3.069 | 60 | 270 |
| Thüringen | 9 | 22 (10) | 959 | 2 | 2.621 | 11 | 142 |

Tabelle 3.1.7 Übersicht über genehmigte und angezeigte Röntgeneinrichtungen sowie genehmigte Störstrahler in Technik / Nichtmedizin im Jahr 2007
(Survey on the granted and registred X-Ray installations and granted interfering radiation sources in technological / non-medical areas in 2007)

Am 31.12.2007 gültige Gesamtzahl der Genehmigungen und Anzeigen

| Land | Gesamtzahl der genehmigten Röntgeneinrichtungen (RöE) (nach § 3 Abs. 1 RöV) | | Gesamtzahl der angezeigten RöE (nach § 4 Abs. 1) | | Gesamtzahl der genehmigten Störstrahler (nach § 5 Abs. 1 RöV) |
|---------------------|---|--------------|---|--|---|
| | RöE in der technischen Radiographie zur Grobstrukturanalyse (nach § 3 Abs. 1 i.V.m. § 4 Abs. 4 Nr. 1 RöV) | Sonstige RöE | RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 1 RöV und RöE nach § 4 Abs. 1 Nr. 3 RöV | RöE (Hochschutz- und Vollschutzgeräte sowie Schulröntgeneinrichtungen) (nach § 4 Abs. 1 Nr. 1 i.V.m. Anlage 2 Nr. 2 bis 4 RöV) | |
| Baden-Württemberg | 49 | 865 | 924 | 492 | 318 |
| Bayern | 312 | 571 | 631 | 609 | 291 |
| Berlin | 84 | 222 | 240 | 201 | 96 |
| Brandenburg | 87 | 53 | 85 | 71 | 14 |
| Bremen | keine Angaben | | | | |
| Hamburg | 70 | 70 | 171 | 84 | 40 |
| Hessen | 123 | 619 | 421 | 308 | 121 |
| Mecklenburg-Vorp. | 32 | 18 | 33 | 21 | 14 |
| Niedersachsen | 153 | 173 | 464 | 371 | 123 |
| Nordrhein-Westfalen | 726 | 659 | 855 | 1093 | 205 |
| Rheinland-Pfalz | 80 | 174 | 1167 | 172 | 45 |
| Saarland | 14 | 25 | 142 | 25 | 42 |
| Sachsen | 162 | 159 | 209 | 91 | 68 |
| Sachsen-Anhalt | 112 | 51 | 79 | 57 | 47 |
| Schleswig-Holstein | 48 | 18 | 130 | 106 | 9 |
| Thüringen | 47 | 27 | 96 | 63 | 9 |

3.2 Bestand radioaktiver Abfälle (Stock of radioactive waste)

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursacherguppen 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 2007 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und konditionierte Abfälle.

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

| Abfallart | vernachlässigbar wärmeentwickelnd | | wärmeentwickelnd | |
|--|-----------------------------------|--------|------------------|-------|
| | in m ³ | | | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Jahresende | 18.506 | 17.035 | 61 | 61 |
| Zwischenprodukte Bestand Jahresende | 8.541 | 9.503 | 1.252 | 1.252 |

| Abfallart | vernachlässigbar wärmeentwickelnd | | wärmeentwickelnd | |
|--|--------------------------------------|--------|------------------|------|
| | in m ³ | | | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| konditionierte Abfälle Bestand Jahresende | 91.077 | 88.515 | 544 | 544 |
| Anfall Jahresende | 2.383 | 3.983 | 0 | 60 |

insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern 18.506 m³ unbehandelte Abfälle (Vorjahr: 17.035 m³); wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung belief sich auf 8.541 m³ (Vorjahr: 9.503 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 2007 insgesamt 91.077 m³ (Vorjahr: 88.515 m³). Auch dieser Bestand lagert sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2007 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
(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)

| Gruppe | unbehandelte Rohabfälle | | Zwischenprodukte | | konditionierte Abfälle | |
|---------------------------------------|----------------------------|--------|------------------|-------|------------------------|--------|
| | in m ³ | | | | | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| Forschungseinrichtungen | 6.225 | 6.113 | 2.655 | 2.685 | 39.526 | 39.190 |
| kerntechnische Industrie | 884 | 465 | 2.120 | 2.403 | 6.884 | 6.433 |
| Atomkraftwerke | 3.830 | 3.166 | 710 | 849 | 16.034 | 15.010 |
| stillgelegte Atomkraftwerke | 4.859 | 4.825 | 836 | 949 | 11.478 | 10.707 |
| Landessammelstellen | 899 | 1.222 | 144 | 654 | 3.291 | 3.343 |
| Sonstige | 1.553 | 1.226 | 0 | 1.963 | 0 | 0 |
| Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK) | 256 | 18 | 2.076 | 0 | 13.864 | 13.832 |
| Summe | 18.506 | 17.035 | 8.541 | 9.503 | 91.077 | 88.515 |

Der Mittelwert des jährlichen Anfalls über alle Verursacherguppen beträgt in den 24 Jahren, in denen eine Abfallerhebung durchgeführt wurde, ca. 4.440 m³ (Vorjahr: ca. 4.400 m³).

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2007 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 61 m³ wärmeentwickelnde Rohabfälle (Vorjahr: ca. 61 m³) und ca. 544 m³ wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle (Vorjahr: ca. 544 m³). Zusätzlich waren 1.252 m³ wärmeentwickelnde Zwischenprodukte zwischengelagert (Vorjahr: 1.252 m³). Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Abfälle aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) sowie um Spaltproduktkonzentrat aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK). Als Zwischenprodukte wurden die aus dem THTR (Hamm-Uentrop) entladenen Kugelbrennelemente gemeldet.

Neben den HAW (high active waste)-Kokillen aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich, die im Zwischenlager in Gorleben gelagert werden, handelt es sich bei den konditionierten wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen u. a. um ca. 200 Fässer mit zementierten Abfällen, größtenteils Feedklärschlämme, Hülsen und BE-Strukturteile aus dem Betrieb und dem Rückbau der WAK, die in der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe des FZK (HDB) lagern. Die Aufteilung des Bestandes an wärmeentwickelnden Abfällen ist in Tabelle 3.2-3 aufgezeigt.

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

| Verursachergruppe | unbehandelte Rohabfälle | | konditionierte Abfälle | |
|---|-------------------------|------|------------------------|------|
| | in m ³ | | | |
| | 2007 | 2006 | 2007 | 2006 |
| Forschungseinrichtungen | 2337 | | 90 | 90 |
| kerntechnische Industrie | | | | |
| Atomkraftwerke | | 5 | 1 | 1 |
| stillgelegte Atomkraftwerke | | | | |
| Landessammelstellen | | | 19 | 19 |
| Wiederaufarbeitung Karlsruhe (WAK) | 56 | 56 | 56 | 56 |
| Wiederaufarbeitung europäisches Ausland (HAW) | | | 378 | 378 |
| Summe | 2393 | 61 | 544 | 544 |

Bis zum 31.12.2007 sind in Deutschland 12.490 Tonnen Schwermetall (Uran + Plutonium) in Form von bestrahlten Brennelementen angefallen (Vorjahr: 12.122 Tonnen), davon rund 370 Tonnen Schwermetall im Jahr 2007. Hierin enthalten sind bestrahlte Brennelemente aus den in Betrieb befindlichen und den stillgelegten Atomkraftwerken mit Leistungsreaktoren > 50 MW. Von dieser Gesamtmenge wurden 6.662 Tonnen Schwermetall an die Wiederaufarbeitungsanlage AREVA NC (vormals COGEMA) in Frankreich, an die Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield Ltd. (vormals BNFL) in Großbritannien und an die WAK in Karlsruhe abgegeben sowie in sonstigen Anlagen im europäischen Ausland entsorgt.

3.3 Hochradioaktive Quellen (HRQ) (*High-activity sealed sources (HASS)*)

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, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktiv umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Standort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ- Register) wird vom Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A₁-Wertes (gemäß StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a): z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o.g. Richtlinie der EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

In Deutschland existiert für hochradioaktiv umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z. B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cs-137 oder Ir-192). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung. Hier wird u. a. Co-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Cf-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

Bis zum Ende des Jahres 2007 wurden im Register für hochradioaktive Strahlenquellen insgesamt 453 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten aufgenommen (bis Ende 2006: 321) und 47 (bis Ende 2006: 43) Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt. Zu 7.626 (bis 2006: 1.740) registrierten hochradioaktiven Quellen wurden 16.863 Meldungen über deren Erhalt und Abgabe in das Register eingepflegt.

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (*Unusual incidents subject to reporting*)

Tabelle 4-1 enthält eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2007. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkennt-

nisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalles, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

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

Tabelle 4-1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen (Radiological incidents in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and X-ray devices and during transport of radioactive material)

| Datum | Vorkommnis | Ursache | radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|----------|---|--|---|---|
| 02.01.07 | Lösen einer Halterung mit Strahler (Ir-192, 1,3 TBq) vom Ausfahrseil einer Gammarradiographieanlage bei Durchstrahlungsprüfungen | Fehlerhafte Arretierung des Ausfahr Schlauchs | Zusätzliche Expositionen für zwei Mitarbeiter (0,6 mSv und 0,025 mSv) durch die Bergung | Belehrung des Mitarbeiters, Überarbeitung der Arbeitsanweisungen |
| 08.01.07 | Verkauf von mit radioaktivem Leuchtstoff versehenen Zifferblättern (Ra-226, 28 kBq) über eine elektronische Auktionsbörse | Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe | Keine | Polizeiliche Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung, Dekontaminationsmaßnahmen bei einem Zwischenhändler, Vereinbarung von Kontrollen bei der elektronischen Auktionsbörse |
| 10.01.07 | Fund eines Messgeräts mit einem Strahler (Ra-226) bei einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung, vermutlich ohne Kenntnis des radioaktiven Inhalts | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 16.01.07 | Fund eines elektronischen Bauteils mit radioaktiv markierter Leuchtfarbe (Ra-226, 25 µSv/h am Bauteil) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.01.07 | Funktionsausfall einer Messsonde mit einem Strahler (H-3, 70 GBq) | Deformation während einer Messung unter Druck | Keine | Ordnungsgemäße Beseitigung durch Fachfirma |
| 23.01.07 | Fund eines Handkompasses mit radioaktiv markierter Leuchtfarbe (Ra-226, 10 µSv/h am Handkompass) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 28.01.07 | Freisetzung von ca. 50 l kontaminiertem Wasser (I-131, 122 MBq) aus einem Heißlabor eines Klinikums | Rückstau in der Abwasserleitung einer nahe gelegenen Therapiestation durch nicht ordnungsgemäß durchgeführte Umbauarbeiten | Geringfügige Kontaminationen, keine Inkorporationen | Dekontaminationsmaßnahmen, vorübergehende Einstellung der Radiojod-Therapie, Reparatur der verstopften Abwasserleitung |
| 29.01.07 | Versand eines Brachytherapie-Applikators mit einem radioaktiven Seed | Mangelnde Eingangskontrolle, Verstoß gegen Transportvorschriften | Keine | Verbesserung der Dokumentation und der messtechnischen Überprüfung in der Eingangskontrolle |
| 29.01.07 | Fund von 26 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85, je 18,5 MBq) | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 06.02.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 13 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Entsorgung und Sortierung durch Fachfirma |

| Datum | Vorkommnis | Ursache | radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|----------|---|---|---|---|
| 08.02.07 | Fund von kontaminiertem Material (I-131) in einer Restabfallbehandlungsanlage | Unzulässige Entsorgung, vermutlich durch einen Therapie-Patienten | Keine | Abklinglagerung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 21.02.07 | Versehentliche Exposition eines Mitarbeiters bei Röntgen-Durchstrahlungsprüfungen auf einer Werft | Unbeabsichtigtes Passieren eines Kontrollbereiches in einem Schiffsrumpf | Nach Abschätzung weniger als 22 µSv Dosis | Untersuchung durch ermächtigten Arzt, Dosisermittlung durch Nachstellung der Prüfung und Messung, Belehrung der verantwortlichen Personen |
| 22.02.07 | Fund von 14 Uran-Pellets (Uran-angereichert 3,5%) auf dem Grundstück einer Privatperson | Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe | Keine | Sicherstellung der Pellets, Kontaminationsmessungen am Fundort |
| 27.02.07 | Fund eines radioaktiven Stoffes im Hausmüll (Ra-226, 8 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Entsorgung und Sortierung durch Fachfirma |
| 02.03.07 | Fund eines Stücks Uran (Uran-natürlich, 1 µSv/h an der Oberfläche) in einer Schule | Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe durch einen Schüler bei einer elektronischen Auktionsbörse | Keine | Sicherstellung des radioaktiven Materials |
| 05.03.07 | Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 30 kBq) bei Reinigungsarbeiten nach einem Trafobrand | Unzulässige Entsorgung | Keine | Verbesserung der Strahlenschutzanweisungen und Belehrung zur Strahlenschutzorganisation |
| 08.03.07 | Verlust eines Gaschromatographen mit Strahler (Ni-63, 370 MBq) | Irrtümlich konventionelle Entsorgung bei Umbau und Umzugsmaßnahmen | Keine | Nachforschungen bei Schrotthändlern, bisher erfolglos |
| 13.03.07 | Versendung einer Nebelkammer inklusive der in der Kammer befindlichen Strahler (Th-232, 37 kBq und 3,6 kBq) | Verstoß gegen Transportvorschriften | Keine | Keine |
| 16.03.07 | Fund eines Strahlers (Cs-137, 6 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 29.03.07 | Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 26 µSv/h am Radium-Trinkbecher) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.03.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (Th-232, 0,4 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Freigabe zur weiteren Verwendung |
| 02.04.07 | Fund eines radioaktiven Bauteils (Co-60, 870 Bq/g) in einer Schrottladung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 02.04.07 | Fund von 80 Stück Auslöseknopf-Notfallschirmen (Ra-226, 15 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Rücknahme und Entsorgung durch die Bundeswehr |
| 14.04.07 | Verlust von 13 Ionisationsrauchmeldern im Brandschutt | Brand einer Firmenhalle mit 25 Ionisationsrauchmeldern und einem Strahler (Pm-147) | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung der restlichen 12 Ionisationsrauchmelder, Bergung des Pm-147-Strahlers |

| Datum | Vorkommnis | Ursache | radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|----------|--|---|---|---|
| 19.04.07 | Angebot eines Ra-Emanators bei einer elektronischen Auktionsbörse | Unkenntnis nach Fund des Emanators im Schrott | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.04.07 | Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierter Asche mit Metallspänen im Schrott | Unkenntnis | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 26.04.07 | Fund eines Uran-Abschirmbehälters (Uran-abgereichert, 240 MBq) bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 27.04.07 | Fund eines radioaktiv kontaminierten Zellstoffstücks (I-131, 800 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.04.07 | Störung am Quellen-Ausfahrmechanismus eines Afterloading-Gerätes (Ir-192, 15,5 GBq) nach Quellenwechsel | Lösen des Seilzuges von der Antriebsrolle | Nach Abschätzung 45 μ Sv Personendosis für den Medizinphysik-Experten durch die Strahlerbergung | Sicherstellung des Strahlers im Notfall-Container, Absperrung, sicherheitstechnische Überprüfung nach Reparatur |
| 03.05.07 | Fund von zwei Radium-Trinkbechern, ein Gefäß mit Strahler (Ra-226, 48 kBq), ein Gefäß mit Kontaminationen (Ra-226) | Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe auf Grund von Unkenntnis | Keine | Ablieferung an die Landessammelstelle |
| 08.05.07 | Fund von 3 Behältern mit radioaktiven Stoffen (Cs-137, je 1 GBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und Klärung des Verbleibs |
| 18.05.07 | Fund eines Blitzableiters (Ra-226, 25 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Metallverarbeitungs-firma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma |
| 21.06.07 | Exposition eines Mitarbeiters bei einer Durchstrahlungsprüfung | Mangelnde Kennzeichnung und Information, Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften | Nach Berechnung 240 μ Sv Exposition | Verbesserungen der Arbeitsabläufe und Anweisungen bei der Firma |
| 22.06.07 | Fund eines nicht genehmigten Prüfstrahlers (Cs-137, 296 kBq) bei einer Privatfirma | Fehlende Umgangsgenehmigung, mangelnde Information | Keine | Sichere Aufbewahrung, Wischprüfung und Kennzeichnung des Prüfstrahlers, Einleitung eines Genehmigungsverfahrens nach § 7 StrlSchV durch den Betreiber |
| 01.07.07 | Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen |
| 03.07.07 | Fund von 6 radiumhaltigen Kathodenstrahlröhren (Ra-226, 700 kBq) bei der Verschrottung in einer Wiege- und Sortieranlage | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 06.07.07 | Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, 370 kBq) bei einer Privatfirma | Nicht angezeigter Umgang | Keine | Unbekannt |
| 16.07.07 | Verlust eines Strahlers (Am-241) beim Brand eines Mähreschers | Brand mit völliger Zerstörung der Quellenaufnahme, Löschung nicht möglich | Keine erhöhte Kontamination nachweisbar | Ordnungsgemäße Entsorgung des ölkontaminierten Bodens |

| Datum | Vorkommnis | Ursache | radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|----------|--|---|---|--|
| 19.07.07 | Fund von zwei Strahlenquellen (Ba-133, 20 µSv/h in 10 cm Entfernung vom Strahler) in einer Schrottlieferung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 23.07.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 3 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma |
| 02.08.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 26 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma |
| 16.08.07 | Unerlaubtes Abstellen einer Lieferung mit Radiopharmaka (Ge-68, 330 MBq) in einer nuklearmedizinischen Abteilung | Verantwortungslosigkeit | Keine | Ordnungsgemäße Lagerung, Verhängung eines Bußgeldes gegen den Fahrzeugführer |
| 17.08.07 | Verlust eines Prüfstrahlers (Sr-90, 20 MBq) beim Transport | Unbekannt | Keine | Nachforschungen bisher erfolglos |
| 24.08.07 | Fund eines Strahlers (Cs-137, 10 GBq) im Eisenschrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Nach Abschätzung max. 0,2 mSv Ganzkörperdosis für Transportpersonal | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 28.08.07 | Fund eines Strahlers (Cs-137, 12 GBq) im Eisenschrott bei einem Stahlwerk | Unzulässige Entsorgung | Nach Abschätzung max. 0,2 mSv Ganzkörperdosis für Transportpersonal | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 03.09.07 | Fund eines Strahlers (Ra-226, 0,9 µSv/h an der Containeroberfläche) beim Hauptzollamt | Unzulässige Einfuhr radioaktiver Stoffe | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 04.09.07 | Fund eines Prüfstrahlers (Ra-226, 2,22 GBq) in einer Privatfirma | Zufälliger Fund bei Aufräumarbeiten, evt. unterlassene Entsorgung durch den vorherigen Nutzer | Keine | Dichtheitsprüfung, ordnungsgemäße Entsorgung |
| 05.09.07 | Unbeabsichtigte Exposition von 9 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage | Illegaler Aufenthalt der Personen im Laderaum eines LKW | Keine | Übergabe des Vorgangs an die Bundespolizei |
| 17.09.07 | Fund eines radioaktiven Strahlers (Ra-226, 1,2 MBq) in einer Schrottladung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Rückgabe an den Genehmigungsinhaber |
| 17.09.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 4,5 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 19.09.07 | Behandlung einer mit radioaktivem Jod (I-131, 110 MBq) therapierten Patientin außerhalb von Strahlenschutzbereichen | Erfordernis einer zusätzlichen Diagnostik nach Auftreten einer akuten neuralgischen Symptomatik bei der Patientin | Keine | Begleitung durch Strahlenschutzbeauftragten, Einrichtung eines temporären Kontrollbereichs, ordnungsgemäße Entsorgung der Ausscheidungen, Entlassung der Patientin nach Dosismessung |

| Datum | Vorkommnis | Ursache | radiologische Folgen | Maßnahmen / Bemerkungen |
|----------|--|---|---|--|
| 26.09.07 | Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 29 $\mu\text{Sv/h}$ an der Containeroberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 04.10.07 | Unbeabsichtigte Exposition von 14 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage | Illegaler Aufenthalt der Personen im Laderaum eines LKW | Keine | Übergabe des Vorgangs an die Bundespolizei |
| 24.10.07 | Vorübergehender Verlust von Jod-Therapie-Kapseln (I-131, 9,5 GBq) beim Transport | Unbekannt | Keine | Keine, Versandstück wurde wiedergefunden |
| 29.10.07 | Fund von radioaktiven Stoffen und Abfällen in einer nuklearmedizinischen Laborpraxis nach Insolvenz | Unterlassene Entsorgung | Keine | Anordnung der Entsorgung an den Insolvenzverwalter, Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens |
| 30.10.07 | Fund eines Flugrichtung-Anzeigeelements mit Leuchtfarbe (Ra-226) | Übergabe durch den Besitzer | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 07.11.07 | Fund von radioaktiv kontaminiertem Staub (Cs-137, 37 Bq/g) im Filter eines Stahlwerks | Unbekannt | Keine | Beprobung des Filterstaubes, Prüfung der endgültigen Verbringung des kontaminierten Materials, polizeiliche Ermittlungen |
| 13.11.07 | Verlust von Bleibausteinen aus einem Forschungszentrum | Diebstahl | Keine, da die Bleibausteine bereits vermessen und zur Freigabe vorgesehen waren | Polizeiliche Ermittlungen |
| 22.11.07 | Fund von kupferrohrähnlichem Kabel mit Kontaminationen (Ra-226, max. 80 $\mu\text{Sv/h}$ an der Oberfläche) in einer Schrottladung | Unzulässige Entsorgung | Keine | Ordnungsgemäße Entsorgung |
| 27.11.07 | Fund von zwei Anzeigeelementen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 1,5 MBq) im Schrott bei einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung |
| 30.11.07 | Verlust eines freigestellten Versandstückes (P-32, 25,8 MBq) beim Transport | Verstoß gegen Transportvorschriften | Keine | Nachforschungen, bisher erfolglos |
| 07.12.07 | Fund von radioaktiv kontaminiertem Isoliermaterial (Th-232) im Schrott bei einer Schrotthandelsfirma | Unzulässige Entsorgung | Keine | Laboruntersuchungen des Isoliermaterials, Prüfung des Entsorgungswegs |
| 10.12.07 | Verkauf eines Aufsteckvisiers mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 22 Bq) bei einer elektronischen Auktionsbörse | Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung | Keine | Polizeiliche Ermittlungen |
| 27.12.07 | Fund von kontaminiertem Material (I-131) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage | Unzulässige Entsorgung | Keine | Abklinglagerung und ordnungsgemäße Entsorgung |

VI NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

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

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

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien wird in der Fachwelt eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder z. B. für kindliche Leukämie bei zeitlich gemittelten magnetischen Flussdichten über etwa 0,4 μT diskutiert. Die SSK hat ein erhöhtes Risiko für Leukämieerkrankungen bei Kindern, die längere Zeit einer nächtlichen Exposition von 0,4 μT magnetischer Flussdichte und darüber ausgesetzt sind, als Verdacht für eine mögliche gesundheitliche Beeinträchtigung eingestuft. Von der IARC (International Agency for Research on Cancer) werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft, ebenso wie z. B. Koffein oder Autoabgase. Da für niedrige Intensitäten niederfrequenter Magnetfelder nach wie vor kein Wirkungsmechanismus bekannt ist, empfiehlt die SSK, die geltenden Grenzwerte beizubehalten.

In der wissenschaftlichen Literatur wird über einen Einfluss niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin und bestimmten Krebsmedikamenten auf Brustkrebszellen berichtet. Die wachstumshemmende Wirkung wurde dabei abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des UFOPLANs von 1999 bis 2004 durchgeführt wurde, bestätigte diese Ergebnisse, die zunächst nur einen biologischen Effekt an einigen Brustkrebszelllinien beschreiben. Ein Wirkungsmechanismus hierzu ist unbekannt.

Um die gesundheitliche Relevanz für den Menschen beurteilen zu können, wird 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. An der Zelllinie MCF-7 konnte gezeigt werden, dass nach Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer magnetischen Flussdichte von 1,2 μT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe so genannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, wurden die interessantesten und für die Krebsentstehung (Kanzergenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene mit weiteren Methoden näher untersucht. Es ergaben sich erneut einige signifikante Veränderungen. Bei der Überprüfung der Ergebnisse, die mit Hilfe der Mikroarrays anhand anderer Methoden erzielt wurden, zeigten sich Veränderungen, die im Zusammenwirken das veränderte Wachstumsverhalten der Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Tamoxifen (Krebsmedikament) und niederfrequenten Magnetfeldern zumindest teilweise erklären können. Der in dem Vorläufervorhaben beobachtete Effekt, dass eine Flussdichte von 1,2 μT eine stärkere Wirkung auf die wachstumshemmende Wirkung des Tamoxifen (Krebsmedikament) hat als eine Flussdichte von 100 μT konnte bei den Untersuchungen der Genexpression bestätigt werden. Die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente, die einen anderen Wirkmechanismus aufweisen als Tamoxifen, wurde durch niederfrequente Magnetfelder kaum oder gar nicht beeinflusst.

Im Jahr 2007 wurde zum Thema Wirkmechanismen niederfrequenter Magnetfelder eine weitere Studie begonnen mit dem Titel: "Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologischen Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion". Ziel dieses Vorhabens ist die weitere Aufklärung des Mechanismus für die biologischen Wirkungen von NF-MF im Bereich niedriger magnetischer Flussdichten. Neben der direkten Wirkung auf das genetische Material (Veränderungen der Genexpression und Genotoxizität) sollen auch andere Effekte untersucht werden, die für das Krebsgeschehen relevant sind, z. B. auf daran beteiligte Proteine, die Zellproliferation, die Signaltransduktion und die Apoptose.

Bei einem Vorhaben zum Thema "Elektrosensibilität", das im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms durchgeführt wurde (siehe Kapitel "Hochfrequente elektromagnetische Felder"), konnten die Ergebnisse einer Vorläuferstudie an einer größeren Gruppe von Personen im Wesentlichen bestätigt werden.

Es zeigte sich, dass die zahlreichen Beschwerden, die von den Betroffenen auf elektrische und magnetische Felder zurückgeführt werden, in der Bevölkerung weit verbreitet sind. Es ergaben sich aber keine Hinweise auf eine spezifische Häufung von Symptomen bei einer bestimmten Gruppe von Personen, womit möglicherweise die Existenz einer Gruppe von "elektrosensiblen" Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt gewesen wäre. Mit Hilfe der "transkraniellen Magnetstimulation" wurden die objektive motorische Schwelle und die möglicherweise vorhandene Fähigkeit elektrosensibler Personen und Kontrollpersonen gemessen, subjektiv zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Dabei zeigte sich, dass die objektiven motorischen Schwellen der Elektrosensiblen nicht verschieden waren von denen der Kontrollpersonen. Andererseits konnte eine klar verminderte Fähigkeit der subjektiv elektrosensiblen Personen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem tatsächlichen Magnetimpuls zu unterscheiden. Da die Altersverteilung der Probanden in dieser Studie gegenüber der Machbarkeitsstudie wesentlich breiter war, konnten auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen aufgezeigt werden. Der Abschlussbericht und eine kurze Bewertung aus der Sicht des BfS sind auf der Website des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms unter http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_015.html veröffentlicht.

Die Ergebnisse dieses Vorhabens werden im Zusammenhang mit weiteren Studienergebnissen zu diesem Thema aus dem Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms diskutiert und bewertet, wobei auch die Ergebnisse der internationalen Untersuchungen zum Thema "Elektrosensibilität" berücksichtigt werden.

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

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2007 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html). Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört auch die Intensivierung und Koordinierung der Forschung. Das BfS koordiniert im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von Mobilfunkfeldern nachzugehen.

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF)

Um die Risikobewertung bezüglich möglicher „Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, hat das BMU das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) initiiert, das im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans durch das BfS umgesetzt und fachlich betreut wird. Hierfür stehen für den Zeitraum von 2002 bis 2008 insgesamt 17 Mio. Euro zur Verfügung, die vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern anteilig übernommen werden.

Gestützt auf mehrere öffentliche Fachgespräche unter Beteiligung der deutschen Strahlenschutzkommission und Vertretern aus Wissenschaft, Politik, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie der Öffentlichkeit im Rahmen einer öffentlichen Konsultation über das Internet (www.emf-forschungsprogramm.de/oeffentlichkeit) wurde das Gesamtprogramm mit Priorisierung der Forschungsvorschläge festgelegt.

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm beinhaltet insgesamt 54 Forschungsprojekte, wovon 22 Projekte dem Bereich Biologie, 15 Projekte dem Bereich Dosimetrie, 10 Projekte dem Bereich Epidemiologie und 7 Projekte dem Bereich Risikokommunikation zugeordnet sind. 2006 wurden die Finanzmittel vollständig festgelegt. Es ist sichergestellt, dass im Rahmen des DMF die zugesagten Mittel von insgesamt 17 Mio. Euro vollständig ausgeschöpft werden. Eine Übersicht über die Vorhaben befindet sich in Tabelle 1.2-1.

Tabelle 1.2-1 Forschungsvorhaben zum Mobilfunk

| Biologie |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie <i>A. Demodulation / Kommunikation</i> Es wird die elektrische Feldverteilung an und in der Zellmembran unter dem Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder berechnet und experimentell überprüft. An neuronalen Netzwerken wird die Aktivität der einzelnen Nervenzellen und die Signalübertragung zwischen den Nervenzellen untersucht. • Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie <i>B. Pinealdrüse</i> In der Hirnanhangsdrüse wird u. a. das Hormon Melatonin gebildet. Es soll geklärt werden, ob die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks die Hirnanhangsdrüse in ihrer Funktion beeinflussen. • Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie <i>C. Funktionen</i> An Immunzellen wird der Einfluss eines GSM-Mobilfunksignals auf zelltypspezifische Funktionen wie die Phagozytoseaktivität, die Produktion freier Radikale (Superoxide und Stickoxide) und die Bildung von Interleukinen sowie mögliche Einflüsse auf das Proteinstmuster der Zellen untersucht. • Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder Mäuse eines für die Entstehung einer bestimmten Form des Blutkrebses (lymphoblastische Lymphome) empfindlichen Zuchtstammes werden lebenslang elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt. Es werden die Überlebensrate und das Körpergewicht dokumentiert, Blutwerte analysiert, und relevante Organe auf das Auftreten von Tumormarkern (Tumorkennzeichen) untersucht. |

- In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation
 - A. Langzeituntersuchungen*
Hier werden über drei Generationen hinweg Labornager Mobilfunkfeldern ausgesetzt. Der Gesundheitszustand der Tiere, die Körperentwicklung, die Vermehrungsfähigkeit und vor allem mögliche Auswirkungen auf Lernleistung und Gedächtnis werden untersucht.
- In-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation
 - B. Kanzerogenese*
Hier wird untersucht, ob die Felder der UMTS-Mobilfunktechnologie bei dauerhafter Befeldung die Leukämierate oder die Bildung solider Tumore in einem Leukämie-Tiermodell, den AKR-Mäusen, beeinflussen.
- In-vitro-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation
 - C. Blut-Hirn-Schranke*
Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung der Frage, ob und wie Zellen der Blut-Hirn-Schranke durch hochfrequente Felder der Mobilfunktechnologie beeinflusst werden.
- Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo)
Aufgabe dieses Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke im Tiermodell Ratte zu bestimmen. Es wird untersucht, ob Schäden – ggf. auch zeitverzögert – auftreten, ob sich eine eventuell erhöhte Durchlässigkeit wieder rückbildet, und ob etwaige Veränderungen als Hinweis für eine Gesundheitsschädigung gewertet werden können.
- Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut
In der geplanten Studie über mögliche HF-bedingte, genotoxische Effekte werden DNA-Strangbrüche, chromosomale Veränderungen, Mikrokerne und Schwesterchromatidaustausche untersucht. Dazu wird Blut von mehreren Spendern (Erwachsene und Kinder) mit Mobilfunksignalen befeldet und nach einem einheitlichen Protokoll in drei Labors, die nicht die Befeldung durchgeführt haben, parallel analysiert.
- Einfluss von GSM Signalen auf isoliertes menschliches Blut
 - B. Differenzielle Genexpression*
Ziel des Projekts ist die Untersuchung der Frage, ob Felder des Mobilfunks das Proteinmuster in Blutzellen (z. B. die Bildung von Stressproteinen) beeinflussen. Analog zum Projekt Genotoxizität werden Blutzellen (Lymphozyten) erwachsener und jugendlicher Spender befeldet und analysiert.
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane
 - A. Das Hörsystem*
Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Hörsystem zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.
- Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)
Als Ergänzung zu dem Projekt „Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem“ soll hier untersucht werden, ob und ab welcher Intensität hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks Tinnitus auslösen könnten.
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane.
 - B. Das visuelle System*
Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Auge zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.
- Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
In einer umfassenden Literatur- und Datenrecherche wurden mögliche altersabhängige Auswirkungen der HF-Exposition untersucht und kritische Zielstrukturen diskutiert. Als Ergebnis wird empfohlen, kopfnah betriebene Strahlungsquellen mit höchster Priorität zu betrachten. Obwohl auch biologische und epidemiologische Studien machbar sind, werden Projekte mit dosimetrischer Ausrichtung favorisiert. Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass in einer einzelnen Hauptstudie zwar die Fragestellung nicht umfassend beantwortet werden kann, wichtige Teilaspekte aber sinnvoll bearbeitet werden können. Eine Hauptstudie wird auf Basis der Machbarkeitsstudie durchgeführt.

- Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter (Hauptstudie)
Durch möglichst realitätsnahe Modellierung sowohl des kindlichen Kopfes als auch der Strahlungsquelle soll die Frage nach Ausmaß und Verteilung der Energieaufnahme und Temperaturveränderungen im kindlichen Kopf untersucht werden. Dabei werden altersabhängige Unterschiede so weit wie möglich berücksichtigt. Untersuchungen an Probanden (Dicke und Elastizität des Ohres, Temperaturmessungen im Gehörgang und auf der Haut) fließen in die Modellierungen ein.
- Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
Ziel des Vorhabens ist es, zu klären, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobiltelefonen abgegeben werden, die Gehirnaktivität (Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit) beeinflussen können.
- Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
Ziel des Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Basisstationen des Mobilfunks auf die Schlafqualität der Bevölkerung in der Nähe einer Mobilfunksbasisstation zu untersuchen.
- Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
In Ergänzung zu dem Projekt „Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen“ soll hier die Reaktion auf den Wegfall der elektromagnetischen Exposition in den Wohnungen von Betroffenen untersucht werden.
- Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ an Patienten, die sich als elektrosensibel gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks betrachten. Die Studie soll klären, ob der selbstdiagnostizierten Elektrosensibilität eine besondere Empfindsamkeit oder Wahrnehmung elektromagnetischer Felder zu Grunde liegt und wie die Gruppe der „Elektrosensiblen“ hinsichtlich psychischer und labor-klinischer Parameter charakterisiert ist.
- Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
In dem Forschungsvorhaben soll anhand objektiver medizinischer Tests geklärt werden, ob Allergien und eine besonders hohe Belastung mit bzw. eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien tatsächlich bedeutsam für das Auftreten von Elektrosensibilität sind, und wie sich dieser Zusammenhang gegebenenfalls auf Art und Stärke der gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Betroffenen auswirkt.
- Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen
In dieser Studie soll geklärt werden, ob eine Langzeitexposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks nach UMTS-Standard Vermehrungsfähigkeit und Entwicklung beeinflusst.
- Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)
Im Forschungsprojekt „Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder“ wurde eine signifikant höhere Gewichtszunahme bei den nach GSM-Standard mit SAR 0,4 W/kg chronisch exponierten Tieren im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Im vorliegenden Projekt soll untersucht werden, ob diese detektierte Gewichtszunahme auf eine Beeinflussung des Metabolismus unterhalb der Schwelle für gesicherte thermische Effekte zurückzuführen ist.

Dosimetrie

- Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren
Mit Hilfe rechnerischer Methoden soll die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Körper von exponierten Versuchstieren ermittelt und mit der experimentell ermittelten, möglichst hoch aufgelösten, räumlichen SAR-Verteilung verglichen werden.
- Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen
Ziel des Vorhabens ist es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, die Exposition der Bevölkerung im Umfeld von Mobilfunk Basisstationen zu ermitteln.
- 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
Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für die Erfassung der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgehend von Mobilfunkbasisstationen im Rahmen epidemiologischer Studien.

- Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer detaillierten Übersicht aus strahlenschutztechnischer Sicht über gegenwärtig bereits verwendete und in naher Zukunft am Markt zu erwartende drahtlose Kommunikationseinrichtungen für Heim- und Büroanwendungen sowie die Erarbeitung von mess- und rechentechnischen Verfahren zur Expositionsbestimmung.
- Bestimmung der Expositionsverteilung von HF-Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter
Aufbauend auf den gegenwärtig wissenschaftlich dokumentierten Erkenntnissen bezüglich der Absorption hochfrequenter elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper, sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiterreichende Untersuchungen, speziell im Hinblick auf anatomisch kleine und empfindliche Organstrukturen des Kopfes (z. B. Auge, Innenohr, Pinealdrüse) durchgeführt werden.
- Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Verfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition der Nutzer von Mobiltelefonen zu diskutieren. Des Weiteren soll durch das Vorhaben an einer Reihe konkreter Beispiele die zeitliche Variabilität sowie die Abhängigkeit der Belastung der Nutzer vom Gerät, von der Netzstruktur und von Umgebungseinflüssen gezeigt werden.
- Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless-LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
Im Rahmen dieses Projektes soll die reale Feldverteilung im Umfeld von WLAN-Sendeantennen in innerstädtischen Gebieten erfasst werden, um ein Bild über die reale Expositionssituation zu bekommen, die sich durch diese Sender für die Bevölkerung ergibt.
- Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
Als Ergänzung zum Projekt „Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen“ sollen in diesem Projekt Verfahren zur Messung und Berechnung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen entwickelt werden.
- Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
Die Hypothese, dass die drahtlose Telekommunikation in teilgeschirmten Räumen (z. B. Handynutzung in Kraftfahrzeugen, der Bahn oder in bestimmten Innenräumen) zu erhöhten Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder führt, soll im Rahmen dieses Projektes überprüft und quantifiziert werden.
- Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
Dieses Forschungsvorhaben soll die Frage beantworten, ob es im Rumpfbereich sensible, lokale Bereiche gibt, die unter den angesprochenen Randbedingungen stärker exponiert sind, und denen im Rahmen eines wirksamen Strahlenschutzkonzeptes besonders Rechnung zu tragen ist.
- Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern
Ziel des Vorhabens ist es, Untersuchungen an relevanten Typen von DVB-T- und DAB-Sendeanlagen durchzuführen sowie die unterschiedlichen Versorgungskonzepte (analog, digital, Verteilung der Sender) in Hinblick auf die damit verbundene Exposition der Bevölkerung zu bewerten.
- Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
Dielektrische Eigenschaften von biologischen Geweben wie etwa die elektrische Leitfähigkeit oder die Dielektrizitätskonstante sind makroskopische Größen. Im Rahmen dieses Projektes soll geprüft werden, ob diese Eigenschaften beim Übergang in zelluläre oder gar subzelluläre Dimensionen weiterhin ihre Gültigkeit besitzen.
- Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen
Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der realen SAR-Werte in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen.
- Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte
Ziel des Vorhabens ist, zu untersuchen, welchen Einfluss das Design von Antennen und Geräten sowie die Wahl der Sendefrequenz auf die resultierenden SAR-Werte von körpernah betriebenen Endgeräten drahtloser Kommunikationsdienste hat.

- Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien

Mit Ultrawideband (UWB) steht eine neue Technologie vor der Einführung, die anders als die bisher üblicherweise zur Funkübertragung eingesetzten schmalbandigen Verfahren Expositionen über einen besonders weiten Frequenzbereich hervorrufen wird. Derzeit stehen noch keine geeigneten und anerkannten Verfahren für die Expositionserhebung von UWB-Technologien zur Verfügung. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts soll daher der Frage nachgegangen werden, wie derartige Immissionen geeignet zu erheben und zu bewerten sind.

Epidemiologie

- Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs-)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisiko durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen

Ziel des Vorhabens war es, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu prüfen, ob in Deutschland eine Kohortenstudie zu hoch exponierten (Berufs-)gruppen durchgeführt werden kann. Es wurden 30 potenzielle Berufsgruppen identifiziert und auf festgelegte Kriterien zur Machbarkeit einer Kohortenstudie geprüft. Nur drei Gruppen erfüllten die Kriterien. Für diese wurde ein mögliches Studiendesign erarbeitet und Vor- und Nachteile der Durchführung einer entsprechenden Kohortenstudie bewertet. Gesamtergebnis der Bewertung war, dass kein Studiendesign für eine Kohortenstudie festgelegt werden konnte, welches eine verzerrungsfreie Abschätzung des Erkrankungsrisikos durch HF-EMF erlaubt hätte. Das BfS hat deshalb entschieden, keine Kohortenstudie an hoch HF-exponierten Personen durchzuführen.

- Machbarkeit einer prospektiven Kohortenstudie unter Handynutzern

Zur Untersuchung von Langzeiteffekten von Handynutzung ist geplant, international eine prospektive Kohortenstudie zu Handynutzern mit 250.000 Kohortenmitgliedern in mehreren Studienzentren durchzuführen. In einer Machbarkeitsstudie wurde geprüft, ob in Deutschland eine Studie mit 50.000 Kohortenmitgliedern aufgebaut werden kann, die die Anforderungen des internationalen Studienprotokolls erfüllt. Die Machbarkeitsstudie zeigte, dass auf Grund der geringen Teilnahmeraten der Probanden eine solche Studie nur mit extrem großen Aufwand aufgebaut werden könnte. Aus diesem Grund hat das BfS beschlossen, im Rahmen des DMF-Programms keine solche Studie zu finanzieren.

- Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)

In einer von der DFG und der Uni Essen finanzierten Fall-Kontroll-Studie wird der Frage nachgegangen, inwieweit für häufige Nutzer eines Mobiltelefons ein erhöhtes Risiko besteht, an einem seltenen Augentumor zu erkranken. Ziel der zusätzlichen finanziellen Unterstützung durch das BfS war es, zusätzliche Interviews bei Fällen und Kontrollen durchzuführen, um die Aussagekraft der Studie zu erhöhen. Die Erhebung bei Fällen und Kontrollen ist abgeschlossen. Insgesamt wurden 458 Fälle und 1.210 Kontrollen interviewt. Die statistische Auswertung, die nicht Gegenstand dieses Projekts war, erfolgt derzeit.

- Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen

Im Rahmen einer Basiserhebung wurde ein bundesweiter Querschnitt von ca. 40.000 Personen zu gesundheitlichen Beschwerden und subjektivem Expositionserleben befragt, sowie eine grobe Abschätzung der Felder von Mobilfunkbasisstationen über die Standortdaten der Basisstationen und Angaben der Probanden vorgenommen. Auf Basis einer Vertiefungserhebung bei 3.200 regional aus der Basiserhebung ausgewählten Probanden erfolgen detaillierte Erhebungen der Beschwerden und Confounder. Darauf aufbauend werden Risikoanalysen durchgeführt.

- Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie

Im Rahmen der Vertiefungserhebung des Vorhabens „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunk-Basisstationen“ werden zusätzlich Personendosimeter zur Expositionsbestimmung eingesetzt.

- Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie

Auf der Grundlage der in der Ergänzungsstudie zur Querschnittsstudie für 1.500 Probanden durchgeführten Messungen soll eine externe Validierung des Expositionssurrogats der Hauptstudie durchgeführt werden.

- Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)

Zur Klärung, ob bei Verwendung eines Mobiltelefons ein erhöhtes Hirntumorrisiko vorliegt, initiierte die WHO eine internationale Fallkontrollstudie, die in 13 Ländern nach einem einheitlichen Studienprotokoll durchgeführt wird. Durch das DMF wird eine Erweiterungsstudie finanziert, mit der die Aussagekraft des deutschen Studienteils gestärkt und die Übertragung der Ergebnisse der internationalen Studie auf deutsche Verhältnisse verbessert werden soll.

- Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie

Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein wichtiger Aspekt der Auswertung der Interphone-Rohdaten - die retrospektive Expositionsabschätzung - mitfinanziert.

- Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
Ziel des Vorhabens ist es, die Hypothese eines erhöhten Kinderleukämierisikos in der Umgebung starker Fernseh- und Rundfunksender in einer deutschlandweiten epidemiologischen Studie zu untersuchen.
- Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
Ziel dieses Vorhabens ist es, im Rahmen einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie den Zusammenhang der akuten subjektiven Befindlichkeit mit der individuell gemessenen und selbsteingeschätzten Exposition von Mobilfunkfeldern bei Kindern und Jugendlichen zu untersuchen.

Risikokommunikation

- Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information
Ziel des Vorhabens war es, die zentralen Zielgruppen für die Informations- und Kommunikationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk zu identifizieren und hinsichtlich ihrer charakterisierenden Merkmale und Eigenschaften zu beschreiben, um eine Grundlage für die zielgruppengerechte Information im Bereich Mobilfunk zu gewinnen.
- Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
Ziel des Vorhabens war es, eine fundierte, objektive und interessensunabhängige Informationsquelle zu schaffen, um die Diskussion über mögliche gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf eine sachlichere Grundlage zu stellen und den interessierten Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit zu geben, die tatsächlichen oder vermeintlichen Risiken durch elektromagnetische Felder objektiv einzuschätzen.
- Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen
In jährlichen repräsentativen Umfragen werden die Wahrnehmung und Sorgen der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks ermittelt und mögliche Veränderungen erfasst.
- Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen
Ziel des Vorhabens ist es, exemplarische Lösungen für die Standortproblematik zu finden und anhand eines Leitfadens eine sachliche Auseinandersetzung um den Mobilfunk vor Ort zu unterstützen. Anhand dieses Leitfadens soll den Kommunen Informationen an die Hand gegeben werden, wie die angemessene Information der Bürger im Rahmen der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen erfolgen kann.
- Ergänzende Informationen über Elektrosensible
Ziel des Vorhabens ist es, nähere beschreibende Informationen über elektrosensible Personen im Bereich der soziodemografischen und weiteren Persönlichkeitsmerkmale zu erheben. Damit sollen die Kenntnisse über elektrosensible Personen über den medizinisch-biologischen Bereich hinaus ergänzt und diese Personengruppe „im Ganzen“ beschrieben werden.
- Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen
Ziel dieses Vorhabens ist es, die Kenntnis und Wirkung in der Öffentlichkeit der im Bereich Mobilfunk zahlreich vorhandenen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen zu untersuchen.
- Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21
Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die vorhandenen Erfahrungen und Potenziale aus den lokalen Agenda 21-Prozessen auszuwerten und daraus Empfehlungen für die Kooperation der Beteiligten im Mobilfunkbereich abzuleiten.

Abschluss des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF)

Bevor die Ergebnisse des gesamten DMF in 2008 bewertet werden, wurden wie bereits in 2006 auch in 2007 themenspezifische Diskussionen der jeweiligen Teilbereiche des DMF im Rahmen von internationalen Fachgesprächen durchgeführt. An diesen Gesprächen nahmen die Forschungsnehmer, international anerkannte Spezialisten für die entsprechenden Teilgebiete, Vertreter internationaler Organisationen sowie nationale wie internationale Wissenschaftler mit einer breiten Expertise im Bereich „Nichtionisierende Strahlung“ (NIR) teil. Um die Ergebnisse auch für internationale Organisationen, die übergreifende Regelungen und Empfehlungen aussprechen, verfügbar zu machen, wurden die Berichte der einzelnen Fachgespräche teilweise in englischsprachigen, wissenschaftlichen Fachjournalen und auf den Internetseiten des DMF (<http://www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase>) veröffentlicht.

Im Mai 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Wirkmechanismen statt. Schwerpunkt waren die Forschungsprojekte, die sich auf zellulärer und subzellulärer Ebene mit den Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befassen. Zu den in den Studien untersuchten Endpunkten gehören z. B. die Funktion von Zellen, Einflüsse auf die Melatoninproduktion, schädigende Einflüsse auf die DNA oder auf die Expression von Genen sowie die biophysikalischen Eigenschaften von Zellen, Zellmembranen und Zellsuspensionen, von denen die Energieabsorption

im exponierten Gewebe abhängt. Weiterhin wurden Vorhaben vorgestellt, die mit elektrophysiologischen Methoden die Funktionalität neuronaler Netzwerke in einem Netzhautpräparat und von Hörzellen in der isolierten Hörschnecke während einer Exposition untersuchten.

Im Oktober 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Langzeitwirkungen statt, auf dem vor allem tierexperimentelle Langzeitstudien und epidemiologische Studien, die sich mit Langzeiteffekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befasst haben, vorgestellt und diskutiert wurden. In den biologischen Studien wurden u. a. Auswirkungen chronischer HF-Exposition auf die Blut-Hirn-Schranke, auf das Stress- und Immunsystem, die Kognition, Tinnitus, Fortpflanzung und Entwicklung sowie auf die Entwicklung von Leukämie in einem speziellen Tiermodell untersucht. Im epidemiologischen Teil wurden u. a. die deutschen Teilergebnisse der INTERPHONE-Studie, vorläufige Daten einer umfassenden Studie zum Uvealmelanom und der Stand einer Fall-Kontroll-Studie zu kindlichen Leukämie um Radio- und Fernsehsender präsentiert.

Zur abschließenden Gesamtbewertung der Ergebnisse des DMF wird im Juni 2008 zusammen mit der WHO eine internationale Abschluss-Konferenz durchgeführt. Ziel dieser Tagung ist, ein wissenschaftliches Fazit des DMF unter Berücksichtigung des internationalen Kenntnisstandes zu ziehen und eine ganzheitliche Risikobewertung zu erstellen.

Die einzelnen Forschungsvorhaben sowie weitere ausführliche Informationen zum Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm sind im Internet unter <http://www.emf-forschungsprogramm.de> veröffentlicht.

Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ (173. Sitzung, www.ssk.de/werke/volltext/2001/ssk0103.pdf) darauf hingewiesen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen.“ Sie weist darauf hin, dass „– entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft – die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder von Geräten, z. B. von Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne.“ Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys, 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/oe-kolabel.html.

Ende 2007 umfasste diese Erhebung insgesamt 999 Geräte von 34 verschiedenen Herstellern, wovon 73 Handys UMTS-Geräte waren. Ein standardisiert ermittelter SAR-Wert konnte für 882 Handys gefunden werden. Es lässt sich erkennen, dass aus Sicht des Strahlenschutzes mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 29% der in 2007 auf dem deutschen Markt befindlichen Handys mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ hätten ausgezeichnet werden können, wobei der Aspekt der umwelt- und recyclingfreundlichen Produktion allerdings nicht berücksichtigt ist. Informationen zu den Vergabegründungen für den „Blauen Engel“ für Handys sind auf der Internetseite des RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. zu finden.

Die Handyhersteller lehnen das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte nahezu 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.

Ende 2006 wurde für weitere Endgeräte, nämlich Babyüberwachungsgeräte, die Vergabegründung für den „Blauen Engel“ veröffentlicht (siehe http://www.blauer-engel.de/_downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-125.zip). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des „Blauen Engels“ ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Bis Ende des Jahres 2007 hat ein Hersteller den „Blauen Engel“ erhalten.

Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone

DECT-Telefone halten auf Grund ihrer niedrigen mittleren Sendeleistung von weniger als 20 mW den geltenden SAR-Basisgrenzwert von 2 W/kg ein. Es muss daher nicht, wie bei Mobiltelefonen üblich, der SAR-Wert nach DIN EN 50360 zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Grenzwerten ermittelt und von Herstellerseite angegeben werden.

Die Basisstationen der nach dem DECT-Standard arbeitenden Schnurlos-Telefone senden allerdings im Stand-by-Betrieb (kontinuierliches Kontrollsignal zwischen Basisstation und Mobilteil), also auch dann wenn nicht telefoniert wird. Darüber hinaus wird beim Telefonieren unabhängig vom Abstand zwischen dem Telefon und der Basisstation permanent mit der maximalen Leistung gesendet.

Unter dem Aspekt einer vorsorglichen Reduzierung der Exposition ist zu fordern, dass die Basisstationen im Stand-by-Betrieb automatisch abgeschaltet und die Telefone mit einer bedarfsgerechten Regelung der Sendeleistung ausgestattet werden.

Strahlungsarme DECT-Telefongeräte sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Abschaltung oder mindestens 100.000-fache Absenkung des Kontrollsignals im Standby-Betrieb unabhängig von der Anzahl der angemeldeten Mobilteile, wobei sich das Mobilteil nicht notwendigerweise in der Basis befinden muss,
- bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung des Mobilteils beim Telefonieren in mehr als 2 Stufen ähnlich der beim Handy,
- bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung der Basisstation während des Telefonierens,
- Möglichkeit des Anschlusses eines Headsets an das Mobilteil und
- Möglichkeit der Einstellung / Begrenzung der Reichweite.

Mittlerweile sind einige Hersteller diesen Forderungen zumindest teilweise nachgekommen. Ende des Jahres 2007 waren einige Geräte auf dem deutschen Markt, die eine Absenkung bzw. völlige Abschaltung des Kontrollsignals zwischen Basisstation und Mobilteil ermöglichen. Hierzu muss sich aber das Mobilteil in der Basisstation befinden und es darf nur ein Mobilteil an der Basis angemeldet sein. Bei einem Gerät wird das Kontrollsignal auch dann abgeschaltet, wenn bis zu sieben Mobilteile angemeldet sind und sich kein Mobilteil in der Basisstation befindet. Mehrere Geräte senken die Sendeleistung des Mobilteils entfernungsabhängig ab und bei einigen Geräten ist auch eine manuelle Absenkung der Sendeleistung der Basisstation möglich. Diese Geräte können als „bedingt strahlungsarm“ bezeichnet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine Liste der in 2007 auf dem deutschen Markt erhältlichen bzw. angekündigten „bedingt strahlungsarmen“ DECT-Schnurlostelefone sowie Art und Ausmaß ihrer Strahlungsreduzierung zusammengestellt. Diese Liste ist im Internet unter: www.bfs.de/elektro/Strahlungsarme_Dect_Schnurlostelefone.html veröffentlicht.

2. Optische Strahlung **(Optical radiation)**

2.1 Solares UV-Monitoring **(Terrestrial UV-Monitoring)**

An den Messstationen des deutschen UV-Messnetzes (ausführliche Informationen in Teil A - VI - 1.4) wird täglich die UV-Strahlung gemessen.

Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden vom BfS (<http://www.bfs.de/uv/uv2/uvi>) als UVI-Werte veröffentlicht. In Abbildung 1.1-1 sind für das Jahr 2007 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen Dortmund, Lindenberg und Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

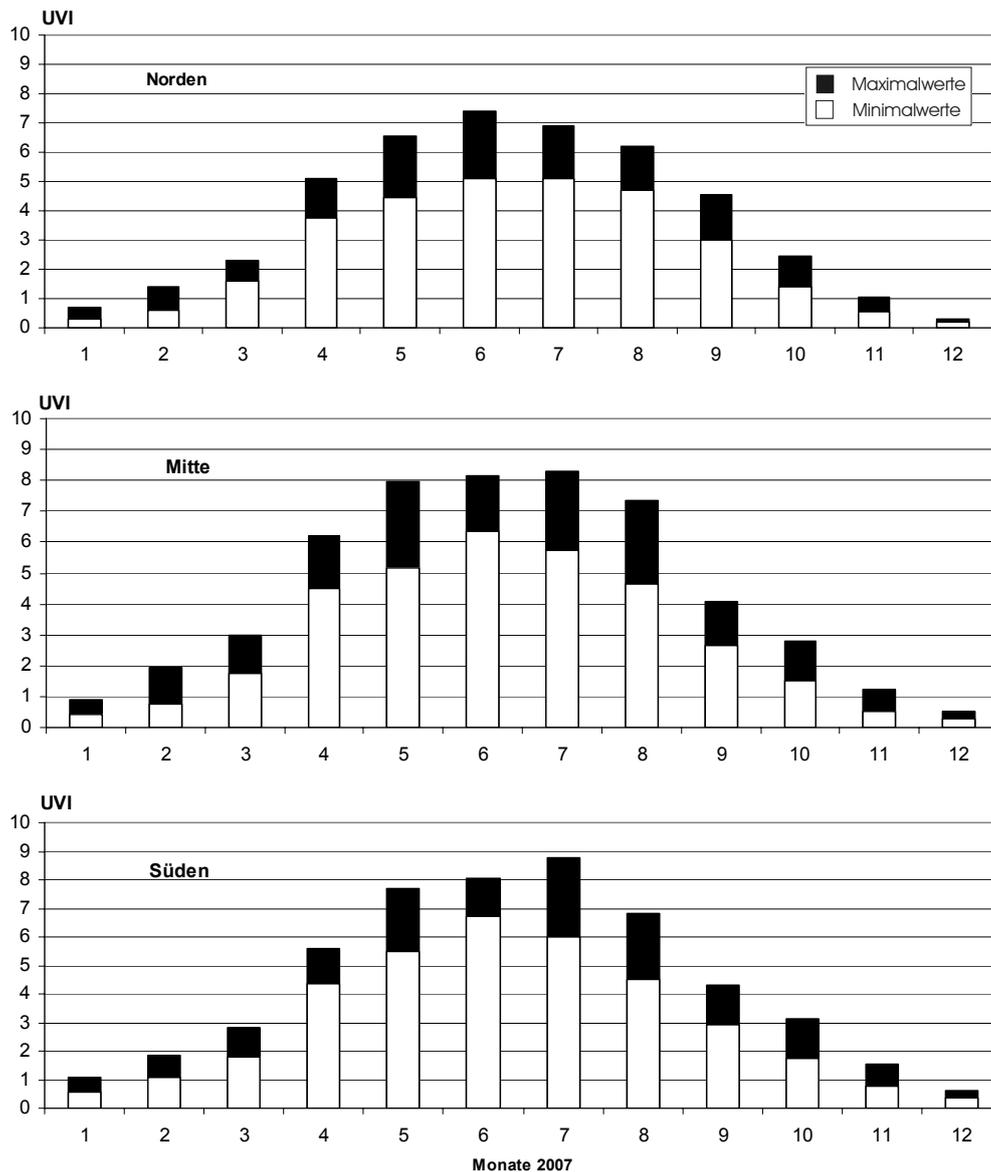


Abbildung 1.1-1 Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2007
(Maximum and mean UVI values per month in the year 2007)

2.2 Forschung (Research)

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Geringe Sonnenexposition sind dagegen gesundheitsfördernd. Unter anderen wird durch UV-B in der Haut die Produktion von Pro-Vitamin D3 induziert, welches den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Neuere epidemiologische Studien lieferten Hinweise, dass einige Krebsarten (Darmkrebs, aber auch Brust- und Prostatakrebs) mit Vitamin-D-Mangel korreliert sind. Auf Grund dieser Tatsachen liegen widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf gesundheitsfördernde UV-Bestrahlung vor.

Weiterhin konnte mittels epidemiologischer Studien und durch Untersuchungen an Tiermodellen und Zellen gezeigt werden, dass auch chronische Bestrahlung mit Infrarot (IR; Wärmestrahlung) sowohl allein als auch in Kombination mit UV-Strahlung Hautschäden hervorrufen kann. Einerseits kommt es dabei zu einer Beschleunigung der Hautalterung, andererseits können auch Hautschäden auftreten (z. B. thermale Keratosen), die als Vorstufen von Hautkrebs anzusehen sind. Bekannt ist bisher, dass die Wirkung von IR-Strahlung und auch das Zusammenwirken von IR- mit UV-Strahlung auf Veränderungen der Signaltransduktion und der Genexpression beruht. Eine Beteiligung der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies wird ebenfalls diskutiert. Außerdem beeinflusst IR-Strahlung die DNA-Reparatur und die durch UV-Strahlung ausgelöste Apoptose (programmierter Zelltod). Der genaue molekulare Wirkungsmechanismus für diese Effekte ist aber bisher noch wenig erforscht.

Neuere Untersuchungen deuten außerdem darauf hin, dass der Gebrauch von Sonnenschutzmitteln zwar vor Sonnenbrand, aber kaum vor Hautkrebs schützt. Eine Ursache dafür könnte in dem Zusammenwirken von UV-A, UV-B- und IR-Strahlung bei der Entstehung von Hautkrebs liegen.

Deswegen wurden im Jahr 2007 Forschungsvorhaben im Bereich UV und auch in Bezug auf das mögliche Zusammenwirken von UV und IR durch das BfS betreut.

Forschungsvorhaben zum Thema UV

- Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs
- UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin D₃-Bedarfs im menschlichen Körper

Ziel des Vorhabens „Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs“ ist die weitere Aufklärung der Entstehungsmechanismen von Hautkrebs und dabei vor allem die Bedeutung der unterschiedlichen Expositionsparameter und der Zusammenhang mit den individuellen Risikofaktoren. Unter anderem soll geklärt werden, ob akute Expositionen mit höheren UV-Dosen zu anderen Ergebnissen führen als chronische Expositionen mit kleinen UV-Dosen und welche Rolle UVA-Strahlung spielt. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen dabei die sog. schwer geschädigten epidermalen Zellen (CRBCs). Diese Zellen reparieren die UV-bedingten DNA-Schäden nicht vollständig und bleiben auch über einen Regenerationszyklus der Hautzellen hinaus in der Epidermis erhalten. Es wird vermutet, dass es sich dabei um Stammzellen der Haut handelt. Sie entstehen sowohl nach chronischer Bestrahlung der Haut mit suberythemalen Dosen als auch nach akuter Bestrahlung mit einer höheren Dosis. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen diese Zellen möglichst eindeutig charakterisiert werden und vor allem soll untersucht werden, ob und wie sie sich zu Hautkrebszellen weiterentwickeln und welche Einflussfaktoren dabei eine Rolle spielen.

Ziel des Vorhabens „UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin D₃ Bedarfs im menschlichen Körper“ ist es, das quantitative Verhältnis von UV-Exposition und Vitamin-D₃-Level unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Schwangere, ältere Menschen, Patienten, etc.) näher zu charakterisieren. Hierauf basierend soll eine Empfehlung zur optimalen UV-Exposition differenziert nach Bevölkerungsgruppen erarbeitet werden. Das Projekt startete Ende 2007. Eine umfassende Literaturstudie zu diesem Thema sowie erste Ergebnisse werden in 2008 erwartet.

Forschungsvorhaben zum Thema IR

- Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung

Ziel des Vorhabens ist es zu beschreiben, auf welchem Weg IR-Strahlung allein und in Kombination mit UV-A- und UV-B-Strahlung zur beschleunigten Hautalterung und Krebsentstehung beiträgt und soweit möglich den Wirkungsmechanismus aufzuklären.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine Reduktion des apoptotischen Zelltodes, wenn Keratinozyten in vitro drei Stunden vor der UV-Bestrahlung mit IR bestrahlt wurden. Diese Ergebnisse konnten in vivo bestätigt werden. Durch eine Vorbestrahlung mit IR ließ sich die Zahl der Sonnenbrandzellen deutlich reduzieren. Außerdem bewirkt eine Vorbestrahlung mit IR sowohl in vitro als auch in vivo eine Reduktion der UV-bedingten DNA-Schäden. Welche Bedeutung diese Ergebnisse für die Entstehung von Hautkrebs durch UV-Strahlung haben, ist Gegenstand der weiteren Untersuchungen. Beruhend auf den Ergebnissen des Vorhabens sollen verbesserte Empfehlungen für einen optimalen Schutz vor den schädlichen Wirkungen sowohl von UV- als auch von IR-Strahlung im Alltag erstellt werden.

2.3 Zertifizierung von Solarienbetrieben (*Certification of solaria*)

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Beobachtung einer Zunahme von Hautkrebs ist mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Deswegen hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz auch 2007 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren.

Grundlage ist das im Mai 2003 etablierte Verfahren für die Zertifizierung der Solarien. Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind:

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

Bis Ende 2007 wurden insgesamt 166 Sonnenstudios von ca. 5.500 Sonnenstudios deutschlandweit (nach Angaben von Vertretern der Solarienbranche) zertifiziert.

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz

1. Erläuterung zu den verwendeten Begriffen (Explanation of terms)

1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten (Radiation dose and related units)

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die auf Grund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die Ionendosis, die Einheit ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als Energiedosis bezeichnet. Sie wird in der Einheit Gray (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht (1 Gy = 1 J/kg). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$$

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis (Strahlungsenergie pro Masseneinheit) abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung (Strahlenqualität).

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z. B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z. B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20-mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Die Dichte der Ionisierung wird mit der Größe „Linearer Energietransfer“ (LET) angegeben. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die Organdosis. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ Energiedosis im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ Organdosis im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten Strahlenschutzverordnung entsprechend Tabelle 1.1-1 festgelegt.

**Tabelle 1.1-1 Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C
(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)**

| Strahlenart und Energiebereich | w_R |
|--|-------|
| Photonen, alle Energien | 1 |
| Elektronen, Myonen, alle Energien | 1 |
| Neutronen | |
| < 10 keV | 5 |
| 10 KeV bis 100 keV | 10 |
| > 100 keV bis 30 MeV | 20 |
| > 2 MeV bis 20 MeV | 10 |
| > 20 MeV | 5 |
| Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV | 5 |
| Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne | 20 |

Die Einheit der Organdosis ist das Sievert (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Strahlendosen im Sievertbereich treten selten auf, es wird daher üblicherweise die Untereinheit Millisievert verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden verschieden empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die effektive Dosis eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.

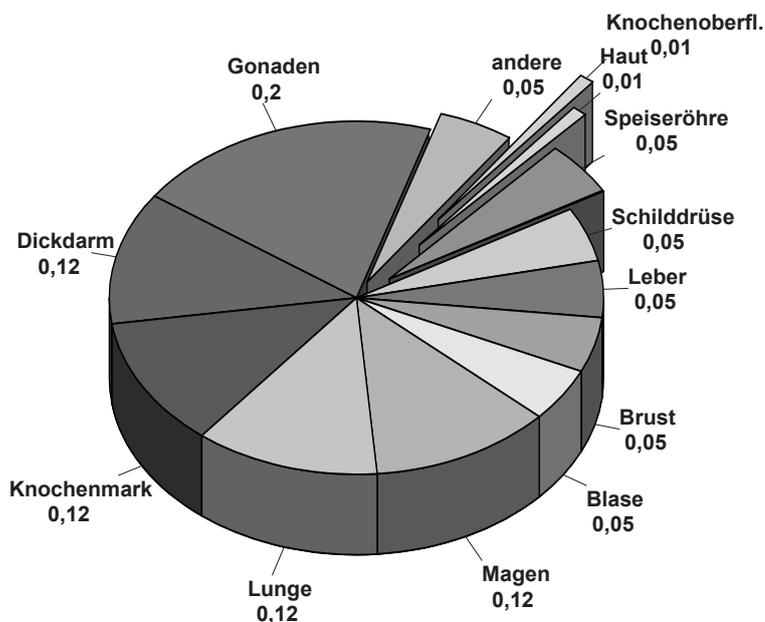


Abbildung 1.1-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV, Anl. VI, Teil C)
(Tissue weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

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

1.2 Die Messung der Strahlendosen (Measurement of radiation dose)

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Diese Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm³, Massenzusammensetzung 76,2% Sauerstoff, 11,1% Kohlenstoff, 10,1% Wasserstoff und 2,6% Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission

on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Die Strahlenschutzverordnung definiert als Messgrößen die Personendosis als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

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

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07, \Omega)$. Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

1.3 Äußere und innere Bestrahlung¹ (*External and internal radiation exposure*)

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betastrahlung relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphastrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

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

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimm-

1. Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff

ten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z.B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts $60 \mu\text{m}^2$ den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30% aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa $8 \mu\text{m}$) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelt Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

1.4 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung¹ (Stochastic and deterministic radiation effects)

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb 1.4-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

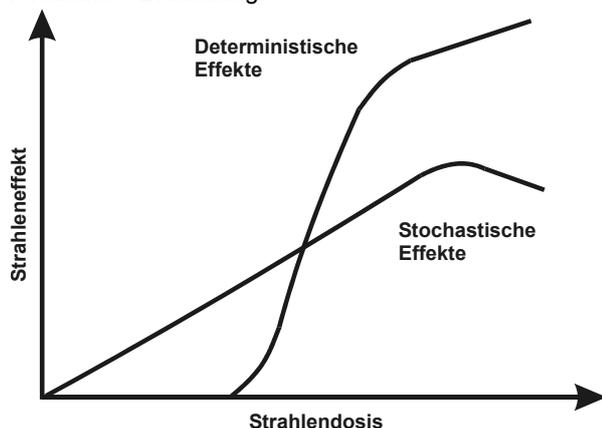


Abbildung 1.4-1
Schematische Darstellung der Dosis- Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte
(Chart of the dose-response-relationships in stochastic and deterministic effects)

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abb. 1.4-1)

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwir-

1. Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff

kung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

1.5 Induktion bösartiger Neubildungen (*Induction of malignant neoplasms*)

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d. h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen (u. a. Bergarbeiter),
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe,

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d. h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren ab etwa 50 mSv. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in 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 Lebenszeitrisko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9% für Männer, 13% für Frauen und (Mittelwert für beide Geschlechter 11%) bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japa-

1. United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

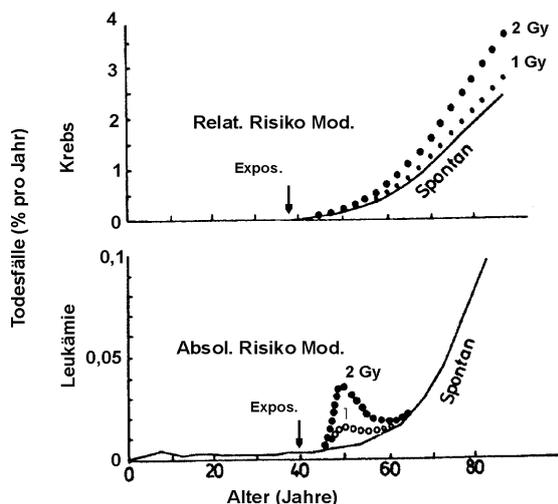


Abbildung 1.6-1
Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs
und Leukämie
(Chart of the mortality due to cancer and leukaemia)

nischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisko deshalb um etwa 1 %, bei 10 mSv um 0,1%. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25 Prozent aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h. von einer Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.

1.7 Strahlenschutzmaßnahmen *(Radiation protection measures)*

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung [1] „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrlSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

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

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

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

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

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

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)

2. Physikalische Einheiten (Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

**Tabelle 2-1 Basiseinheiten
(Basic units)**

| Einheiten | Kurzzeichen | Basisgröße |
|-----------|-------------|-------------|
| Meter | m | Länge |
| Kilogramm | kg | Masse |
| Sekunde | s | Zeit |
| Ampère | A | Stromstärke |
| Kelvin | K | Temperatur |
| Mol | mol | Stoffmenge |
| Candela | cd | Lichtstärke |

**Tabelle 2-2 SI-Einheiten in der Radiologie
(SI units applied in radiology)**

| Physikalische Größe | SI-Einheit | alte Einheit | Beziehung |
|----------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| Aktivität | Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s | Curie (Ci) | 1 Ci = 3,7 10 ¹⁰ Bq * 1 Bq = 2,7 10 ⁻¹¹ Ci = 27 pCi |
| Energiedosis | Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg | Rad (rd) | 1 rd = 0,01 Gy * 1 Gy = 100 rd * |
| Äquivalentdosis | Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg | Rem (rem) | 1 rem = 0,01 Sv * 1 Sv = 100 rem * |
| Ionendosis | Coulomb pro Kilogramm (C/kg) | Röntgen (R) | 1 R = 2,58 10 ⁻⁴ C/kg * = 0,258 mC/kg * 1 C/kg = 3876 R |
| Energiedosisleistung | Gray pro Sekunde (Gy/s) | Rad pro Sekunde (rd/s) | 1 rd/s = 0,01 Gy/s * 1 Gy/s = 100 rd/s * |
| Ionendosisleistung | Ampere pro Kilogramm (A/kg) | Röntgen pro Sekunde (R/s) | 1 R/s = 2,58 10 ⁻⁴ A/kg * = 0,258 mA/kg * |

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet.

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2-3 Präfixe (Prefixes)

| Präfix | Kurzbezeichnung | Faktor | Präfix | Kurzbezeichnung | Faktor |
|--------|-----------------|------------------|--------|-----------------|-------------------|
| Exa | E | 10 ¹⁸ | Dezi | d | 10 ⁻¹ |
| Peta | P | 10 ¹⁵ | Zenti | c | 10 ⁻² |
| Tera | T | 10 ¹² | Milli | m | 10 ⁻³ |
| Giga | G | 10 ⁹ | Mikro | μ | 10 ⁻⁶ |
| Mega | M | 10 ⁶ | Nano | n | 10 ⁻⁹ |
| Kilo | k | 10 ³ | Piko | p | 10 ⁻¹² |
| Hekto | h | 10 ² | Femto | f | 10 ⁻¹⁵ |
| Deka | da | 10 ¹ | Atto | a | 10 ⁻¹⁸ |

Tabelle 2-4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung (Physical quantities in non-ionising radiation)

| Niederfrequente elektrische und magnetische Felder | | | |
|--|-----|---|--|
| Elektrische Feldstärke | E | V/m (Volt pro Meter) | |
| Magnetische Feldstärke | H | A/m (Ampere pro Meter) | |
| Magnetische Flussdichte | B | Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μT Veraltet: G (Gauss) | $B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ ¹⁾ für Luft und organische Materialien gilt: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$ |
| 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 Ω (Ohm) = 376,7 V/A |
| Magnetische Feldstärke | H | A/m (Ampere pro Meter) | |
| Leistungsflussdichte | S | W/m ² (Watt pro Quadratmeter) | $S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld) |
| Spezifische Absorptionsrate | SAR | W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe | |

1) dabei ist μ die Permeabilitätskonstante, μ₀ die Permeabilitätskonstante im Vakuum und μ_r die Permeabilitätszahl eines Mediums

3. Glossar (Glossary)

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

| | |
|---|--|
| Äquivalentdosis | Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert |
| Ärztliche und zahnärztliche Stellen (ÄS) | Zur Qualitätssicherung einer medizinischen Strahlenanwendung am Menschen bestimmt die zuständige Landesbehörde ärztliche und zahnärztliche Stellen. Die zuständige Behörde legt fest, in welcher Weise diese Stellen die Prüfungen durchführen, mit denen sichergestellt wird, dass bei der Anwendung von ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen die Erfordernisse der medizinischen Wissenschaft beachtet werden und die angewendeten Verfahren und eingesetzten Einrichtungen oder Geräte den nach dem Stand der Technik jeweils notwendigen Qualitätsstandards entsprechen, um die Strahlenexposition des Patienten so gering wie möglich zu halten |
| Athermische Effekte | Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten |
| Becquerel | SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie |
| Betastrahlung | Teilchenstrahlung, die aus Elektronen besteht, die beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt werden |
| Betasubmersion | Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre |
| Biologische Effekte | Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen) |
| Brachytherapie | Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen |
| Blut-Hirn-Schranke | Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet |
| Bystander-Effekt | Der Begriff „Bystander-Effekt“ beschreibt die Beobachtung, dass nicht nur Zellen, die von Strahlung getroffen werden, also Energiedepositionen erhalten, Schäden aufweisen, sondern dass zusätzlich auch in nicht getroffenen Zellen, in den sog. „bystander cells“ ebenfalls Schäden gefunden werden |
| Computertomographie (CT) | Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild |
| Dekontamination | Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen |
| Deterministisch | Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch) |
| Diagnostischer Referenzwert (DRW) | In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren“. Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den Ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen |
| Digitale Subtraktionsangiographie | Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht |

| | |
|-------------------------------|---|
| Dosimetrie | Quantitative Erfassung der Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder |
| Dosimeter | Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch ionisierende Strahlung oder elektromagnetische Felder |
| Dosis | Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, effektive Dosis, Organdosis, Kollektivdosis, Ortsdosis, Personendosis |
| Dosisfaktor | Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt |
| Effektive Dosis | Summe der gewichteten mittleren Organdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung |
| Elektrisches Feld | Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert |
| Elektrische Feldstärke | Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m) |
| Elektrische Ladung | Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C) |
| Elektrostatisches Feld | Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen |
| Elektrische Spannung | Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V) |
| Elektrischer Strom | Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A) |
| Elektrosensibilität | Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden |
| Elektrosensitivität | Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung |
| Energiedosis | Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy) |
| Epidemiologie | Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten |
| Fall-Kontroll-Studie | In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird |
| Fall-out | Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist |

| | |
|------------------------------------|--|
| Fernfeld | Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle) |
| Frequenz | Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz) |
| Gammastrahlung | Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann |
| Gammasubmersion | Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre |
| Ganzkörperdosis | Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers |
| Globalstrahlung | Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf eine horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung |
| Gray | SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm |
| Hall-Sonde | Die Sonde beruht auf dem Hall-Effekt und dient zur Ausmessung statischer Magnetfelder |
| Hochfrequenz | Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung) |
| Hot spots | Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder |
| Induktion | Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird |
| Influenz | Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten |
| Ingestion | Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung |
| Inhalation | Allgemein: Einatmung von Gasen Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft |
| Inkorporation | Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper |
| Interventionelle Radiologie | Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden |
| Ionisierende Strahlung | Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können |
| Isotop | Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl |
| Kohortenstudie | Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht |
| Kollektivdosis | Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert |
| Kontamination | Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen |
| Kosmische Strahlung | Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum |
| LET | Der Lineare Energietransfer ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen |
| Leukämie | Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 - 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit |

| | |
|------------------------------------|--|
| LNT-Hypothese | Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Dosis und Krebsrisiko ohne Annahme einer Schwellendosis (linear non threshold, LNT). Da sich für den niedrigen Dosisbereich keine sicheren Angaben zum Verlauf der Dosis-Effekt-Kurve machen lassen, ist man auf eine Extrapolation der im höheren Dosisbereich beobachtbaren Wirkungen hin zu kleinen Dosen angewiesen. Die LNT-Hypothese stellt eine vorsorgliche Annahme für den praktischen Strahlenschutz dar |
| Machbarkeitsstudie | In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann |
| Magnetfeld | Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert |
| Magnetische Feldstärke | Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m) |
| Magnetische Flussdichte | Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden |
| Magnetische Induktion | Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist Tesla (T) |
| Medianwert | Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen |
| Nahfeldexposition | Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle) |
| Nichtionisierende Strahlung | Elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können |
| Nuklearmedizin | Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken |
| Nuklid | Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart |
| Organdosis | Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition |
| Ortsdosis | Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort |
| Ortsdosisleistung | Ortsdosis pro Zeitintervall |
| Personendosis | Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm. |
| Perzentil | Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95% Perzentil ist der Wert, der von nur 5% der Stichprobe überschritten wird) |
| Pyranometer | Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung |
| Querschnittsstudie | Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben |
| Radioaktive Stoffe | Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden |
| 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. 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 (<i>Federal Research Centre for Fisheries</i>) |
| BfG | Bundesanstalt für Gewässerkunde (<i>Federal Institute of Hydrology</i>) |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz (<i>Federal Office for Radiation Protection</i>) |
| BGBl | Bundesgesetzblatt (<i>Federal Law Gazette</i>) |
| BGR | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (<i>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources</i>) |
| BNetzA | Bundesnetzagentur (<i>Federal Network Agency</i>) |
| BSH | Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (<i>Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography</i>) |
| /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>) |
| IARC | International Agency for Research on Cancer (<i>Internationale Agentur für Krebsforschung</i>) |
| ICNIRP | Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (<i>International Commission on Non-Ionising Radiation Protection</i>) |

| | |
|-----------|---|
| ICRP | Internationale Strahlenschutzkommission (<i>International Commission on Radiological Protection</i>) |
| IMIS | Integriertes Mess- und Informationssystem (<i>Integrated Measuring and Information System</i>) |
| JAZ | Jahresaktivitätszufuhr (<i>Annual Intake of Activity</i>) |
| FZ | Kernforschungsanlage (<i>Nuclear Research Facility</i>) |
| KFZ | Kernforschungszentrum (<i>Nuclear Research Centre</i>) |
| KKW | Atomkraftwerk (<i>Nuclear Power Plant</i>) |
| KNK | Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage (<i>Compact Sodium cooled nuclear plant</i>) |
| KTA | Kerntechnischer Ausschuss (<i>Nuclear Safety Standards Commission</i>) |
| LET | Linearer Energietransfer (<i>Linear energy transfer</i>) |
| MED | Minimale 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>) |
| < | [vor Mittelwerten] enthält mindestens einen Messwert < NWG (<i>[in front of mean values] includes at least one value < detection limit</i>) |

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl
(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)

Gesetze

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - **AtG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 12.08.2005 (BGBl. I S. 2365)
2. Arzneimittelgesetz (**AMG**) in der Fassung vom 11. Dezember 1998 (BGBl. I 1999, Nr. 80), zuletzt geändert durch Artikel 8 § 1 des Gesetzes vom 6. August 2002 (BGBl. I, S. 3082)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - **StrVG**) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 43 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2304)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz (**BAStrlSchG**) vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes (BAusfAmtG) vom 28. Februar 1992, (BGBl. I S. 376), zuletzt geändert durch Art. 93 der Verordnung vom 25.11.2003 (BGBl. I, S. 2304)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - **ENeuOG**) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378), Zuletzt geändert durch Artikel 4 Nr. 8 des Gesetzes vom 23. 3.2005 (BGBl. I, S. 931)
7. Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen vom 12. August 2005 (BGBl. I 2005, S. 2365)
8. Gesetz über Krebsregister (**KRG**) vom 4. November 1994 (BGBl. I, S. 3351)
9. Gesetz zur Neugestaltung des Umweltinformationsgesetzes und zur Änderung der Rechtsgrundlagen zum Emissionshandel (**UIG**) vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I 2004, Nr. 73, S. 3704)
10. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages (**EinigVtr**) vom 31. August 1990 (BGBl. II S. 885) in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag (**EinigVtrG**) vom 23. September 1990 (BGBl. II, S. 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (**VOAS**) vom 11. Oktober 1984 und Durchführungbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI DDR I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI DDR I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien (**HaldAO**) vom 17. November 1980 (GBI DDR 1980 Nr. 34, S. 347)

Verordnungen

11. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - **RöV**) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I S. 114) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
12. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - **StrlSchV**) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Art. 3, § 15 Nr. 1 und 2 des Gesetzes vom 13. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2930)
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 |

| Ordnungszahl Z | Element | Radionuklid | Physik. HWZ | Strahlungsart |
|----------------|--------------|-------------|------------------------|---|
| 52 | Tellur | Te-123m | 120 d | R |
| 53 | Jod | I-123 | 13,1 h | ϵ , R |
| | | I-125 | 59,4 d | ϵ , R |
| | | I-129 | $1,6 \times 10^7$ a | β^- , γ |
| | | I-131 | 8,02 d | β^- , γ |
| 54 | Xenon | Xe-131m | 11,9 d | R |
| | | Xe-133 | 5,25 d | β^- , R |
| | | Xe-133m | 2,19 d | R |
| 54 | Xenon | Xe-135 | 9,1 h | β^- , γ |
| | | Xe-135m | 15,3 min | R |
| | | Xe-137 | 3,84 min | β^- , γ |
| | | Xe-138 | 14,1 min | β^- , γ |
| 55 | Cäsium | Cs-134 | 2,06 a | β^- , γ |
| | | Cs-137 | 30,2 a | β^- , γ |
| 56 | Barium | Ba-140 | 12,8 d | β^- , γ |
| 57 | Lanthan | La-140 | 40,3 h | β^- , γ |
| 58 | Cer | Ce-141 | 32,5 d | β^- , γ |
| | | Ce-144 | 285 d | β^- , γ |
| 61 | Promethium | Pm-147 | 2,6 a | β^- , γ |
| 63 | Europium | Eu-152 | 13,3 a | ϵ , β^+ , β^- , γ |
| | | Eu-154 | 8,8 a | β^- , γ |
| 64 | Gadolinium | Gd-153 | 239 d | ϵ , R |
| 73 | Tantal | Ta-182 | 114 d | β^- , γ |
| 77 | Iridium | Ir-192 | 73,8 d | β^- , R |
| 81 | Thallium | Tl-201 | 73 h | ϵ , R |
| 82 | Blei | Pb-210 | 22 a | β^- |
| | | Pb-214 | 27 min | β^- , γ |
| | | Bi-214 | 19,9 min | α |
| 83 | Wismut | Po-210 | 138 d | α |
| | | Po-214 | 164 μ sec | α |
| | | Po-218 | 3,05 min | α |
| | | Rn-219 | 3,96 sec | α , γ |
| 84 | Polonium | Rn-220 | 55,6 sec | α |
| | | Rn-222 | 3,8 d | α |
| | | Ra-224 | 3,66 d | α , γ |
| 86 | Radon | Ra-226 | 1600 a | α , γ |
| | | Ra-228 | 5,75 a | β^- |
| | | Th-228 | 1,91 a | α , γ |
| 88 | Radium | 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 |
| | | Pa-234 | 6,7 h | β^- , γ |
| 90 | Thorium | 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 |
| 91 | Protactinium | U-233 | $1,6 \times 10^5$ a | α |
| 92 | Uran | 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 |
| | | Np-239 | 2,35 d | β^- , γ |
| 93 | Neptunium | Np-239 | 2,35 d | β^- , γ |

| Ordnungszahl Z | Element | Radionuklid | Physik. HWZ | Strahlungsart |
|----------------|-----------|-------------|---------------------|---------------|
| 94 | Plutonium | Pu-238 | 87,7 a | α , R |
| | | Pu-239 | $2,4 \times 10^4$ a | α , R |
| | | Pu-240 | 6563 a | α , R |
| | | Pu-241 | 14,4 a | β^- |
| 95 | Americium | Am-241 | 432 a | α , R |
| 96 | Curium | Cm-242 | 163 d | α , R |
| | | Cm-244 | 18,1 a | α , R |

* Pu-(239+240): Historisch gewachsene, zusammenfassende Schreibweise (auch Pu-239/240) der beiden Radionuklide Pu -239 und Pu-240. Die Energien der Alphastrahlung dieser Radionuklide liegen so dicht beisammen, dass mit üblichen Alphaspektrometern meist nur die Summe ihrer Aktivitäten gemessen werden kann.

h = Stunden, d: Tage, a: Jahre

α = Helium-Kerne

β^- = Elektronen

ε = Elektroneneinfang

γ = Gammastrahlung

R = Röntgenstrahlung

β^+ = Positronen