

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht
2001

Herausgeber:

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Redaktion:

Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenhygiene
FG SH 3.1
85762 Oberschleißheim

Bonn, Dezember 2002

Vorwort

Der vorliegende Bericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung die wichtigsten aktuellen Daten für das Jahr 2001 über die Entwicklung der Umweltradioaktivität sowie der natürlichen und zivilisatorischen Strahlenexposition in Deutschland. Um der öffentlichen Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien wie z. B. UMTS gerecht zu werden, enthält der Bericht erstmals auch Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIR).

Der Bericht zeigt, dass die Gesamtexposition durch ionisierende Strahlung in Höhe von 4,1 Millisievert (mSv) unverändert geblieben ist. Etwa die Hälfte der gesamten Strahlenbelastung der Bundesbürger stammt aus **natürlichen Quellen**, wie der kosmischen Strahlung (0,3 mSv), der natürlichen Strahlung aus Boden und Gestein (0,4 mSv) und der Aufnahme natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (0,3 mSv). Die Strahlenbelastung durch Inhalation von **Radon** übertrifft dabei alle anderen Beiträge, in einigen eng begrenzten Gebieten Deutschlands sogar sehr deutlich. Da Strahlenexpositionen durch Radon überall auftreten, und speziell auch in Wohnungen, richtet sich das Hauptinteresse der Radonforschung in den letzten Jahren auf die Klärung der Frage des Radon-Risikos für die allgemeine Bevölkerung. Nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission könnten 4 - 12% der Lungenkrebsfälle auf die Inhalation von Radonzerfallsprodukten zurückgeführt werden. Die Studien (BEIR VI Report) lassen den Schluss zu, dass das Lungenkrebsrisiko der Bevölkerung durch Radon in Häusern tatsächlich von der Größe ist, die bereits früher auf der Basis von Bergarbeiter-Studien postuliert wurde (Zunahme der Lungenkrebsrate um etwa 10%, wenn die Radonkonzentration der Luft um 100 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) steigt). Im Rahmen einer groß angelegten Messkampagne werden deshalb die Radongebiete in der Bundesrepublik von den Ländern mit Unterstützung durch das Bundesumweltministerium und dem Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt.

Die durchschnittliche **zivilisatorische Strahlenexposition** hat sich im Jahr 2001 kaum geändert. Sie stammt von der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Medizin, Technik und Wissenschaft. Den größten Beitrag liefert die medizinische Strahlenexposition, die im Mittel bei etwa 2 mSv pro Jahr liegt. Dies ist ein Wert, der im Vergleich zu den anderen europäischen Staaten sehr hoch ist. Von daher ist auch in diesem Bereich Handlungsbedarf angezeigt. So sieht die novellierte Röntgenverordnung Regelungen vor, die dazu beitragen werden, die medizinische Strahlenexposition in Deutschland insbesondere im Bereich der Diagnostik zu senken.

Bei der **beruflichen Strahlenexposition** hat sich der Beitrag gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2001 ca. 316 000. Die mittlere Jahresdosis mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten beläuft sich auf 1,03 mSv.

Die durch den **Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl** resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,01 mSv im Jahr 2001 zurück. Nur bei einzelnen Lebensmitteln wie Pilzen und Wildfleisch sind noch erhöhte Werte der Radioaktivität festzustellen. Die EG VO 737 begrenzt den Import solcher Produkte in den EU-Raum auf Werte von 600 Bq/kg.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten **Kernwaffenversuche** zur effektiven Dosis ist weiterhin rückläufig. Im Jahr 2001 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch **Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen** in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2001 deutlich unter einem Prozent der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten deutlich unterhalb der genehmigten Werte.

Zu dem Bereich der **nichtionisierenden Strahlung** zählen niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV-Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) gehört. Die Wirkung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Hierdurch werden Ströme im Körper verursacht, die bei hohen Frequenzen u. a. zu Temperaturerhöhungen führen können.

Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Fel-

der; 26. BImSchV) festgeschrieben. Die Einhaltung der Grenzwerte für feststehende Hochfrequenzanlagen wird durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Gleichzeitig hat die Bundesregierung im Berichtsjahr zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Vorsorge ergriffen. Dazu zählt auch die Verstärkung der Forschung auf diesem Gebiet.

Laut Aussage der RegTP wurden die Grenzwerte nicht überschritten. Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von feststehenden Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, liegen laut einer bayerischen Studie im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Die **UV-Belastung** der Bevölkerung ist auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und des zunehmend in Mode kommenden "Wellness"-Bereiches mit Solariennutzung gestiegen. Dies hat zu einer besorgniserregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamt erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte der Tagessummen von über 3000 Joule pro Quadratmeter (J/m^2) in den Monaten April bis August auf; die Minimalwerte dieser Monate liegen bei $1000 J/m^2$. Eine statistische Auswertung der vorliegenden Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen.

Der Bericht macht deutlich, dass der Strahlenschutz in der Bundesrepublik auf hohem Niveau steht. Gleichwohl ist die Bundesregierung bestrebt, im Rahmen der Novellierung des Strahlenschutzrechts die Strahlenbelastung weiter zu senken.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	13
Summary	18
Résumé	23

ABSCHNITT A IONISIERENDE STRAHLUNG (*Ionising Radiation*)

TEIL I	UMWELTRADIOAKTIVITÄT (<i>Environmental radioactivity</i>)	
	Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung	30 (<i>Historical and legal basis of surveillance</i>)
1.	Natürliche Umweltradioaktivität	32 (<i>Natural environmental radioactivity</i>)
1.1	Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt	32 (<i>Natural radioactive substances in the environment</i>)
1.2	Natürlich radioaktive Stoffe im Boden	33 (<i>Natural radioactive substances in soil</i>)
1.3	Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser	34 (<i>Natural radioactive substances in water</i>)
1.4	Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre	36 (<i>Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level</i>)
1.5	Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	37 (<i>Natural radioactive substances in foodstuffs</i>)
1.6	Natürliche Strahlenexposition	39 (<i>Natural radiation exposure</i>)
2.	Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität	42 (<i>Technologically enhanced natural environmental radioactivity</i>)
2.1	Radon in Gebäuden	42 (<i>Radon in buildings</i>)
2.2	Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	45 (<i>Radioactive substances in building materials and industrial products</i>)
2.3	Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen .	48 (<i>Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources</i>)
2.3.1	Berufliche Strahlenexposition aus zivilisatorisch veränderten natürlichen Strahlenquellen ...	49 (<i>Occupational radiation exposure from technologically enhanced natural radiation sources</i>)
2.3.2	Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition	52 (<i>Limitation of the radiation exposure to the population due to technologically enhanced natural radiation exposure</i>)
2.4	Bergbauliche Hinterlassenschaften Sachsens, Thüringens und Sachsen-Anhalts	53 (<i>Mining relics of Saxony, Thuringia, and Saxony-Anhalt</i>)
3.	Künstliche Umweltradioaktivität	54 (<i>Artificial radioactivity in the environment</i>)
3.1	Luft und Niederschlag, γ -Ortsdosisleistung	54 (<i>Air and precipitation, ambient γ dose rate</i>)
3.1.1	Radioaktive Stoffe in der Luft	55 (<i>Radioactive substances in air</i>)

3.1.2	Radioaktive Stoffe im Niederschlag 60 <i>(Radioactive substances in precipitation)</i>	60
3.1.3	γ -Ortsdosisleistung 61 <i>(Ambient γ dose rate)</i>	61
3.2	Boden, Pflanzen und Futtermittel 68 <i>(Soil, plants, and animal feedstuffs)</i>	68
3.3	Gewässer 75 <i>(Bodies of water)</i>	75
3.3.1	Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer 75 <i>(Surface water, suspended matter, and sediment in inland waters)</i>	75
3.3.2	Meerwasser, Schwebstoff, Sediment 92 <i>(Seawater, suspended matter, and sediment)</i>	92
3.4	Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser) 102 <i>(Foodstuffs and drinking water - including groundwater)</i>	102
3.4.1	Grundwasser und Trinkwasser 102 <i>(Groundwater and drinking water)</i>	102
3.4.2	Milch und Milchprodukte 104 <i>(Milk and milk products)</i>	104
3.4.3	Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer 107 <i>(Fish and seafood, fish from inland waters)</i>	107
3.4.4	Einzel Lebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung 114 <i>(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)</i>	114
3.4.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 127 <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials)</i>	127
3.5	Abwasser und Klärschlamm 129 <i>(Waste water and sludge)</i>	129
3.6	Reststoffe und Abfälle 138 <i>(Residues and wastes)</i>	138
3.7	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 140 <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	140
3.8	Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl 145 <i>(Radiation exposure from the Chernobyl accident)</i>	145
3.9	Kernwaffenversuche 146 <i>(Nuclear weapons tests)</i>	146
TEIL II	RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN <i>(Radioactive substances from nuclear and uranium mining facilities)</i>	
1.	Radioaktive Stoffe aus kerntechnischen Anlagen 150 <i>(Radioactive substances from nuclear facilities)</i>	150
1.1	Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen 150 <i>(General data on nuclear facilities)</i>	150
1.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen 155 <i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)</i>	155
1.3	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen 163 <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)</i>	163
1.4	Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 166 <i>(Monitoring of environmental media from the surroundings of nuclear facilities)</i>	166
1.4.1	Luft 166 <i>(Air)</i>	166

1.4.2	Boden, Bewuchs und Milch <i>(Soil, vegetation and milk)</i>	170
1.4.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer <i>(Surface water and sediment from inland waters)</i>	178
1.4.4	Fische und Wasserpflanzen <i>(Fish and aquatic plants)</i>	187
1.4.5	Grundwasser und Trinkwasser <i>(Groundwater and drinking water)</i>	189
1.4.6	Pflanzliche Nahrungsmittel <i>(Foodstuffs of vegetable origin)</i>	191
1.5	Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen <i>(Radiation exposures from nuclear facilities)</i>	200
2.	Radioaktive Stoffe aus Uranbergbauanlagen <i>(Radioactive substances from uranium mining facilities)</i>	205
2.1	Allgemeine Angaben über die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe <i>(General data on the remediation facilities of the Wismut GmbH and the monitoring of discharges of radioactive substances)</i>	205
2.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) <i>(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)</i>	206
2.3	Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen) <i>(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities - Immissions)</i>	207
2.3.1	Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft <i>(Radon-222 concentrations in air close to ground level)</i>	207
2.3.2	Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern <i>(Monitoring of uranium and radium-226 activity concentrations in surface waters)</i>	210
TEIL III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION <i>(Occupational radiation exposures)</i>	
1.	Personendosismessungen <i>(Personal dose measurements)</i>	214
1.1	Vorbemerkungen <i>(Preliminary remarks)</i>	214
1.2	Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen <i>(Overview of data for all occupationally exposed persons)</i>	214
1.3	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	218
1.4	Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern . <i>(Occupational radiation exposures from radon daughter products in the new federal Länder)</i>	219
1.5	Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung <i>(Radiation exposures to flight personnel from cosmic radiation)</i>	224
2.	Inkorporationsüberwachung <i>(Incorporation monitoring)</i>	226
3.	Strahlenexposition bei Radarpersonal <i>(Radiation exposures to radar personnel)</i>	227

4.	Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 228 <i>(Unusual events subject to reporting)</i>	228
TEIL IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(Radiation exposures from medical applications)</i>		
1.	Diagnostische Strahlenanwendungen 238 <i>(diagnostic applications of radiation)</i>	238
1.1	Röntgendiagnostik 238 <i>(X-ray diagnostics)</i>	238
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik 243 <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	243
1.3	Strahlenhygienische Bewertung 245 <i>(Evaluation in terms of radiation hygiene)</i>	245
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren 245 <i>(Alternative examination procedures)</i>	245
1.5	Qualitätssicherung 246 <i>(Quality assurance)</i>	246
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen 249 <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	249
2.1	Strahlentherapie 249 <i>(Radiotherapy)</i>	249
2.2	Nuklearmedizin, Therapie 249 <i>(Therapeutic nuclear medicine applications)</i>	249
3.	Herzschrittmacher 251 <i>(Pacemakers)</i>	251
4.	Medizinische Forschung 252 <i>(Medical Research)</i>	252
4.1	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung 253 <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)</i>	253
4.2	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung 253 <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)</i>	253
4.3	Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 24 Abs. 2 RöV 253 <i>(Application of x-rays on humans in medical research according to article 24 subsection 2 RöV)</i>	253
TEIL V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDEN STRAHLEN <i>(The handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)</i>		
1.	Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe 258 <i>(Border-crossing transport of radioactive material)</i>	258
1.1	Einleitung 258 <i>(Introduction)</i>	258
1.2	Rechtsgrundlagen und Verfahren 258 <i>(Legal basis and procedures)</i>	258
1.3	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 260 <i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive materials)</i>	260

1.4	Einfuhrstatistik <i>(Import statistics)</i>	262
1.5	Ausfuhr <i>(Export statistics)</i>	266
2.	Beförderung radioaktiver Stoffe <i>(Transportation of radioactive materials)</i>	270
2.1	Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe <i>(Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)</i>	271
3.	Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen <i>(The handling of sealed and unsealed radioactive sources)</i>	272
3.1	Allgemeine Angaben <i>(General data)</i>	272
3.2	Radioaktive Stoffe in Gebrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen <i>(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)</i>	279

ABSCHNITT B NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG ***(Non-ionising radiation)***

1.	Statische Felder <i>(Static fields)</i>	282
2.	Niederfrequente Felder <i>(Low frequency fields)</i>	283
3.	Hochfrequente Felder <i>(High frequency fields)</i>	285
4.	Optische Strahlung <i>(Optical radiation)</i>	287
5.	Aktuelle Themen <i>(Actual topics)</i>	288

ANHANG ***(Annex)***

1.	Erläuterung zu den verwendeten Begriffen <i>(Explanation of terms used)</i>	290
1.1	Strahlendosis und ihre Einheiten <i>(Radiation dose and related units)</i>	290
1.2	Stochastische und deterministische Strahlenwirkung <i>(Stochastic and deterministic radiation effects)</i>	291
1.3	Effektive Dosis <i>(Effective dose)</i>	291
1.4	Strahlenschutzmaßnahmen <i>(Radiation protection measures)</i>	292
2.	Physikalische Einheiten <i>(Physical units)</i>	293
3.	Glossar <i>(Glossary)</i>	295
4.	Liste der verwendeten Abkürzungen <i>(List of abbreviations)</i>	298

5.	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl 302 <i>(Laws, ordiances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)</i>
6.	Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide 306 <i>(List of nuclides referred to in the text)</i>

Zusammenfassung

A IONISIERENDE STRAHLUNG

Zum 1. August trat die Novelle der Strahlenschutzverordnung in Kraft (BGBl. I S. 1714). Damit wurden Anforderungen der Richtlinie 96/29/EURATOM über die Grundnormen für den Strahlenschutz und der Patientenschutzrichtlinie 97/43/EURATOM in deutsches Recht umgesetzt. Unmittelbare Auswirkungen betreffen u. a. die Dosisberechnungen bei der natürlichen Strahlenexposition durch Radonfolgeprodukte (Teil I 2), bei der Exposition durch kerntechnische Anlagen (Teil II), bei der beruflichen Exposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung (Teil III 1) sowie bei der Inkorporationsüberwachung (Teil III 2).

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 über die Strahlenexposition getroffen durch:

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2001 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis ist im Vergleich zu den Vorjahren in den meisten Bereichen unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2001

		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
	durch Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)	ca. 0,2
	durch Aufenthalt in Gebäuden (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 kerntechnische Anlagen	< 0,01
2.2	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	ca. 2
2.3	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt (ohne 2.4)	< 0,01
	2.3.1 Industrieerzeugnisse	< 0,01
	2.3.2 technische Strahlenquellen	< 0,01
	2.3.3 Störstrahler	< 0,01
2.4	durch berufliche Strahlenexposition (Beitrag zur mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung)	< 0,01
2.5	durch besondere Vorkommnisse	0
2.6	durch Fallout von Kernwaffenversuchen	< 0,01
	2.6.1 von außen im Freien	< 0,01
	2.6.2 durch inkorporierte radioaktive Stoffe	< 0,01
2.7	Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl	< 0,015
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition		ca. 2

Natürliche Strahlenquellen und zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Bodenstrahlung des natürlichen Radioisotops Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des Uran-238 und des Thorium-232 bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation des natürlichen Edelgases Radon und dessen Zerfallsprodukte verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit dem Trinkwasser und der Nahrung. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein nomineller Wert von 2,1 Millisievert, wofür insbesondere Radon in Gebäuden maßgebend ist. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben die beträchtlichen regionalen Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlich radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und im geringen Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt an radioaktiven Stoffen bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die aus diesen Radionukliden entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte. Nationale und internationale epidemiologische Studien werden zur Zeit durchgeführt, um das gesundheitliche Risiko der Bevölkerung durch erhöhte Radonzerfallsprodukt-Expositionen weiter eingrenzend abschätzen zu können.

Eine bergbaubedingte erhöhte Radonkonzentration in der bodennahen Luft tritt nur in der unmittelbaren Nähe von bergbaulichen Anlagen auf und nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab. Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in Bergbaugebieten des Uran- und Kupferschieferbergbaus überdurchschnittlich hohe Radonkonzentrationen auftreten, die aber auch in geologisch vergleichbaren Gebieten beobachtet werden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Die Ableitung von Uran, Radium und deren Zerfallsprodukten aus bergbaulichen Anlagen in die großen Vorfluter der Bergbaugebiete ergibt keine oder nur geringfügige Veränderungen des natürlichen Niveaus dieser Radionuklide.

Zivilisatorische Strahlenquellen

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur mittleren effektiven Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe verursacht. Dieser Beitrag durch die medizinische Strahlenexposition liegt bei etwa 2 Millisievert pro Jahr.

Erhebungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über die Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik, die den weitaus größten Beitrag liefert, ergaben eine erhebliche Streubreite der Dosiswerte für einzelne Untersuchungen um mehr als zwei Größenordnungen, die durch individuelle Gegebenheiten bei jedem einzelnen Patienten und durch unterschiedliche technische Standards bedingt sind. Trotz breiter Anwendung alternativer Untersuchungsverfahren (Ultraschall, Endoskopie, Magnetresonanztomographie) weisen Erhebungen auf ein weiteres leichtes Ansteigen der Untersuchungsfrequenzen hin, vor allem bei den dosisintensiven Untersuchungsverfahren Computertomographie und Angiographie einschließlich interventioneller Radiologie. Der Wert der mittleren effektiven Dosis dürfte in den folgenden Jahren aber wegen der zunehmend greifenden Maßnahmen der Qualitätssicherung und -kontrolle in der Röntgendiagnostik und der Nuklearmedizin allenfalls sehr gering ansteigen. Erhebungen zur Strahlenexposition pro Untersuchung lassen einen Rückgang der Dosis je Untersuchung erkennen. Entsprechende Erhebungen zur Aktualisierung der Daten zur Häufigkeit und Dosis werden beim Bundesamt für Strahlenschutz mit Unterstützung der Kostenträger im Gesundheitswesen seit 1991 kontinuierlich durchgeführt.

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

In der Nuklearmedizin stellen Schilddrüsen- und Skelettszintigraphie die häufigsten Untersuchungen dar. Zunehmende Bedeutung gewinnt der Einsatz radioaktiv markierter monoklonaler Antikörper im Rahmen der Diagnostik von Entzündungsprozessen und Tumoren sowie in der Therapie von Tumoren. Auch die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren gewinnt mehr und mehr an Bedeutung.

Die am 1. August des Berichtsjahres in Kraft getretene neue Strahlenschutzverordnung wirkt sich auf dem Gebiet der Heilkunde vor allem durch die Regelungen zur rechtfertigenden Indikation, zu den anwendungsberechtigten Personen, zur Fachkunde und die Medizinphysik-Experten aus. Auf das BfS kommen neue Aufgaben zu, nämlich die Erstellung und Veröffentlichung diagnostischer Referenzwerte und die Genehmigungen bei Anwendungen radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse festgestellten Radionuklide sind natürlichen Ursprungs oder im Fall von Sr-90 eine Folge des globalen Fallouts. 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 2000 zeigen die berechneten Werte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen im Inland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland (Tabelle S. 13 - 2.1) lag auch 2001 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt

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

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch äußere Strahleneinwirkung für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 316 000) lag 2001 bei 0,15 Millisievert. Bei ca. 86% der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres eine effektive Dosis von 0 Millisievert ermittelt. Bei den übrigen Überwachten mit einer Jahresdosis mit oder mehr als 0,1 Millisievert (ca. 45 000) ergibt sich eine mittlere Personendosis von 1,0 Millisievert. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher 2001 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 2001 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Die in der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbaren langlebigen radioaktiven Stoffe stammen hauptsächlich aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Der Beitrag der damals freigesetzten Radionuklide zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ist für 2001 mit weniger als 0,01 Millisievert pro Person anzusetzen.

Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen selten. Die Übersicht über die besonderen Vorkommnisse ist in Teil III 4 einzusehen. Besonders zu nennen ist allerdings

Zusammenfassung

die Entwendung radioaktiv kontaminierter Gegenstände aus der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe (WAK). Bei diesem Ereignis wurden drei Personen durch Inkorporation radioaktiver Stoffe erheblich belastet. Die effektive Folgedosis dieser Personen betrug 5,5 Sv, 0,38 Sv und 0,18 Sv.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahr 1986 wurden die in der Bundesrepublik Deutschland vorliegenden Messdaten zur Umweltkontamination dokumentiert und strahlenhygienisch bewertet. Die Strahlenexposition infolge dieses Unfalls nahm 2001 weiter ab; die mittlere effektive Dosis, bedingt durch Cäsium-134 und Cäsium-137, betrug weniger als 0,015 Millisievert. Sie lag damit deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition und wird zu rund 90 % durch die Bodenstrahlung von Cäsium-137 verursacht. Die mittlere effektive Dosis durch mit der Nahrung aufgenommenes Radiocäsium für das Jahr 2001 lässt sich mit weniger als 0,002 Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein.

B NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische und hochfrequente elektromagnetische Felder sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette Strahlung (UV) gehört. Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze ausgesetzt. Der geplante Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS - Technologie, hat eine öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien ausgelöst. Das heutige Freizeitverhalten in der Sonne und der zunehmend in Mode kommende „Wellness“ – Bereich mit ansteigender Solariennutzung haben darüber hinaus einen Anstieg der UV-Belastung zur Folge. Durch die Verringerung der Ozonschicht wird eine weitere Zunahme der UV-Belastung der Bevölkerung befürchtet.

Grundsätzlicher Wirkungsmechanismus elektromagnetischer Felder

Die Wirkung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Hierdurch werden Ströme im Körper verursacht, die in Abhängigkeit von Frequenz und Intensität zu Stimulationsprozessen oder Temperaturerhöhungen führen können. Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nieder- und hochfrequenten Strahlung im Frequenzbereich von 0 bis 300 GHz die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden, und damit die Potenz zur dauerhaften Strukturschädigung des Erbguts, der DNS, als eine Voraussetzung für die Krebsentstehung.

Grenzwerte und Grenzwertempfehlungen

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

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen z.B. des Mobilfunks wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Laut Aussage der RegTP wurden im Jahr 2000 diese Grenzwerte nicht überschritten.

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

Aufbauend auf einem nationalen und internationalen Wissensaustausch werden die Grenzwertempfehlungen ständig geprüft und an die wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst. Eine solche Bewertung zeigt, dass wissenschaftliche Hinweise auf mögliche Risiken bestehen, denen mit Vorsorgemaßnahmen begeg-

net wird. Gleichzeitig werden Anstrengungen unternommen, durch gezielte Forschung die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu sichern und zu erweitern.

Solares UV-Monitoring

Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamtes erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte der Tagessummen von über 3000 J/m^2 in den Monaten April bis August auf, die Minimalwerte dieser Monate liegen bei max. 1000 J/m^2 . Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen, aber auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen ist es nicht möglich, einen durch die Verringerung der Ozonschicht bedingten Effekt sicher nachzuweisen.

Aktuelle Themen im Jahr 2001

Abgesehen von der Diskussion um nichtionisierende Strahlung allgemein und die im Berichtsjahr in der Öffentlichkeit heftig debattierten gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks wurde auch angesprochen, inwieweit hochfrequente elektromagnetische Strahlung Ursache für Krebserkrankungen von Bundeswehrsoldaten sein kann, die jahrelang militärische Radargeräte bedient und gewartet hatten. Von Bedeutung für die krebsinduzierende Strahlenexposition der Betroffenen ist hier jedoch die ionisierende Strahlung in Form von Röntgenstrahlung (siehe dazu Abschnitt A, Teil III, 3, Strahlenexposition bei Radargeräte-Personal).

Summary

A IONISING RADIATION

On 1st August 2001, the amendment to the Radiation Protection Ordinance (StrlSchV) has come into force (BGBl. I, p.1714). As a result of this the requirements of the Directive 96/29/EURATOM on the basic safety standards and the Medical Exposure Directive 97/43/EURATOM were implemented into German legislation. They have, among others, direct consequences on the dose calculations in natural radiation exposure from radon daughter products (Part I, 2), in the case of exposure from nuclear facilities (Part II), in the occupational exposure to air crews from cosmic radiation (Part III, 1), and in incorporation monitoring (Part III, 2).

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

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

The mean radiation exposure to the population in the Federal Republic of Germany during the year 2001 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose remained, for most areas, unchanged.

**MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2001**

		Mean effective dose mSv/year
1.	Exposure from natural radiation sources	
1.1	cosmic radiation (at sea level)	approx. 0.3
1.2	external terrestrial radiation	approx. 0.4
	outdoors (5 h/d)	approx. 0.1
	indoors (19 h/d)	approx. 0.3
1.3	inhalation of radon and its progeny	approx. 1.1
	outdoors (5 h/d)	approx. 0.2
	in dwellings (19 h/d)	approx. 0.9
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx. 0.3
Total natural radiation exposure		approx. 2.1
2.	Exposure from man-made radiation sources	
2.1	nuclear installations	< 0.01
2.2	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine	approx. 2
2.3	use of radioactive substances and ionising radiation in research, technology and the home environment (excluding 2.4)	< 0.01
	2.3.1 industrial products	< 0.01
	2.3.2 industrial radiation sources	< 0.01
	2.3.3 stray radiation	< 0.01
2.4	occupational radiation exposure (contribution to mean population exposure)	< 0.01
2.5	radiological emergencies	0
2.6	fallout from nuclear weapons tests	< 0.01
	2.6.1 external outdoor exposure	< 0.01
	2.6.2 incorporated radioactive substances	< 0.01
2.7	exposure due to the accident in the Chernobyl nuclear power plant	< 0.015
Total exposure from man-made sources		approx. 2

Natural radiation sources and technologically enhanced natural radioactivity

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic and terrestrial radiation from the natural radioisotope potassium-40 together with the radionuclides of the natural decay series of uranium-238 and thorium-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The nominal mean value is 2.1 millisievert, resulting in particular from exposure to radon in buildings. All individual contributions to the annual mean effective dose are listed in the above table.

Measurements performed during recent years have shown considerable regional variations in natural radiation exposure, due mainly to the significantly different concentrations of natural radioactive substances in soil and air. The construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium, and to a lesser extent, the use of building materials containing increased amounts of radioactive substances are assumed to be responsible for the increase in population exposure from the radioactive decay products of these radionuclides. National and international epidemiological studies are currently underway to further limit the risk to the health of the population from increased exposures to radon daughters.

A mining-related increased concentration of radon in air close to ground level is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; the concentration decreases with increasing distance from such facilities. The overall results of the measurements show the occurrence of above-average radon concentrations in mining regions of uranium and copper slate mining but, since such concentrations occur also in geologically comparable regions, these are assumed to be partly of natural origin. The discharge of uranium and radium and their respective decay products from mining facilities into large drainage areas of the mining regions does not cause an appreciable change in the natural level of these radionuclides.

Man-made sources of radiation

Medical applications

The largest part of the mean effective population dose from man-made exposure sources is due to the use of ionising radiation and radioactive substances in medicine. The dose attributable to medical radiation exposure is estimated to be about 2 millisievert per year.

Surveys performed by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) on exposures in diagnostic radiology, with these representing by far the largest contribution, yielded a considerable range of dose value scattering for individual examinations over more than two orders of magnitude, which is caused by the different conditions for each individual patient and the different technical standards applied. Surveys performed indicate a further slight increase in the frequency of application of examinations in spite of the broad use of alternative examination techniques (i.e. ultrasound, endoscopy and magnetic resonance tomography techniques), above all for the dose-intensive examination procedures computer tomography and angiography and including interventional radiology applications. The value for the mean effective dose may well increase over the coming few years - due to the increasingly successful quality assurance and control measures applied in diagnostic radiology and nuclear medicine, only slightly however. Surveys of the levels of radiation exposure per examination reveal a reduction in dose per individual examination. This type of survey for the updating of the data for frequency and dose has been performed continuously at the Federal Office for Radiation Protection since 1991, with the support of the health service organisations.

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

In diagnostic nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequently applied methods of examination. Of increasing importance is the use of radioactively labelled monoclonal antibodies, within the framework of the diagnosis of inflammatory processes and tumours and in tumour therapy. An ever increasingly important role is also played by Positron Emissions Tomography (PET) applied as a nuclear medicine procedure.

Summary

The new Radiation Protection Ordinance, which has come into force on 1st August of the reported year, has additional effects within the field of medical practice, particularly due to regulations on the justifying indication, on persons authorised to make applications, on the qualified competence in radiation protection, and on medical physics experts. The BfS will be involved in new tasks, such as the establishment and publication of diagnostic reference values, and the granting of licenses for the use of radioactive substances or ionising radiation in man in the scope of medical research.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and from the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) contributes only insignificantly to radiation exposure to the population. The radionuclides identified in the scope of environmental monitoring of the Asse mining facility are of natural origin or, in the case of strontium-90, a consequence of the natural fallout. The upper values for exposures to individuals, calculated in accordance with the "General Administrative Guideline relating to § 45 of the Radiation Protection Ordinance" of 21-2-1990 are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 2000. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the borders of Germany to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained below 0.01 millisievert, also in the year 2001 (Table p. 18 - 2.1).

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

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

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 316 000) controlled using personal dosimeters was about 0.15 millisievert in the year 2001. The effective dose of 0 millisievert was assessed, over the entire year, in about 86% of all controlled persons. In all other cases with an annual dose of 0.1 millisievert or more (approx. 45 000) a mean individual dose of 1.0 millisievert resulted. The contribution to the total mean effective population dose from occupational exposure is therefore less than 0.01 millisievert in 2001.

Nuclear weapons testing

In the year 2001, no nuclear weapons tests were carried out. The long-lived radioactive substances detectable in the atmosphere and in foodstuffs mainly originate from the above-ground nuclear weapons tests performed during the 1960s. The radionuclides emitted during this period contributed in the year 2001 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radiation accidents and radiological emergencies

Due to the strict regulations laid down in the Radiation Protection Act, radiological emergencies requiring persons to handle sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. An overview on radiological emergencies is shown in Part III 4. In particular has to be mentioned the theft of radioactively contaminated objects from the fuel reprocessing plant in Karlsruhe (WAK). During this incidence three persons were seriously contaminated from incorporation of radioactive substances. The effective dose commitment of these persons was 5.5 Sv, 0.38 Sv, and 0.18 Sv, respectively.

Reactor accident at Chernobyl

After the reactor accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986, all measured data available to the Federal Republic of Germany were documented and evaluated from the point of view of radiation hygiene.

Radiation exposure resulting from this accident decreased further in the year 2000; the mean effective dose from caesium-134 and caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus it was clearly below one percent of the dose from natural sources of exposure and was caused to a level of about 90% by external exposure due to caesium-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with foodstuffs is estimated to have been less than 0,002 millisievert in the year 2000. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be higher by one order of magnitude.

B NON-IONISING RADIATION

The domain of non-ionising radiation (NIR) consists of low frequency electric and magnetic, and high frequency electromagnetic fields as well as optical radiation involving ultraviolet (UV) radiation. In view of the growing technical development the general public is increasingly exposed to non-ionising radiation, above all to low frequency fields of energy supply and to high frequency fields of wireless communication networks. The planned development of communication networks in Germany, particularly the introduction of UMTS technology, has evoked a public discussion about possible risks to health from new communication technologies. Today's behaviour in leisure times with long sunbathing and the growing up-to-date wellness areas with increasing use of solariums cause additional UV exposure. Due to the decrease of the ozone layer a further increase of UV exposure to the population is feared.

General mechanism of the effects of electromagnetic fields

The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields are manifested in powers exerted to electric charges. This causes currents which dependent on frequency and intensity, may lead to stimulation processes or rising temperatures in biological tissues. Contrary to ionising radiation, the low and high frequency radiation in the frequency field of 0 to 300 GHz has not the energy to produce deleterious radicals in biological systems due to ionising procedures, and thus the potential to permanently damage the genetic structure, i.e. the DNA, as a prerequisite to cause cancer induction, is missing.

Limit values and recommendations for limit values

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

The adherence to the limit values for fixed high frequency installations, used, e.g., in mobile communications, is controlled in a notification procedure on the granting of a site certificate from the regulation office for telecommunication and postal affairs (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP) in accordance with the legal provisions of telecommunication. The RegTP declares that these limit values were not exceeded in the year 2000.

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

On the basis of a national and international exchange of scientific knowledge, the recommendations on limit values are continuously checked and adapted to the state-of-the-art in science and technology. This evaluation shows that from the scientific viewpoint, there exist possible risks which have to be met with precautionary measures. At the same time endeavours are made to ensure and enlarge scientific knowledge by means of specific research.

Solar UV monitoring

UV monitoring in Germany is carried out continuously in the Federal Office for Radiation Protection and in the Federal Environmental Agency with the daily registration of UV exposure. The data determined for the year of report show maximum values of the daily quantities of more than 3000 J/m² in the months from April to August; the minimum values in these months lie near max. 1000 J/m². According to the statistical evaluation of the recent measuring data, a small increase of UV radiation is assumed, however, due to many va-

Summary

rious influence factors it is not possible to prove almost certainly an effect caused by the decrease of the ozone layer.

Actual topics in the year 2001

Apart from the discussions about non-ionising radiation in general, and the concern of the general public about health effects of mobile communication in the year of report, the debate included also to which degree electromagnetic radiation caused cancer diseases in soldiers of the Federal Armed Forces, who have been engaged in the operation and maintenance of military radar devices. However, for the cancer inducing radiation exposure of the persons concerned, the X-ray type of ionising radiation is important (see Section A, Subsection III, 4. Radiation in personnel using radar devices).

Résumé

A RAYONNEMENTS IONISANTS

Le 1^{er} août 2001, la nouvelle du Décret sur la protection contre les rayonnements (StrlSchV) est entrée en vigueur (BGBl. I p.1714). Ainsi les demandes de la directive 96/29/EURATOM sur mesures fondamentales de la radioprotection et de la directive relative à la protection radiologique des personnes soumises à des examens médicaux 97/43/EURATOM ont été transposées dans la loi allemande. Des conséquences directes concernent, entre autres choses, l'évaluation de doses des rayonnements naturels dus aux produits de filiation de radon (Sect. I, 2) l'exposition due aux installations nucléaires (Sect. II), l'exposition professionnelle du personnel navigant due aux rayonnements cosmiques (Sect. III, 1), ainsi que la surveillance de l'incorporation (Sect. III, 2).

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 de la population aux rayonnements due aux sources naturelles et artificielles. Ceci inclut des informations sur l'exposition aux rayonnements due

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

Le tableau suivant indique l'exposition aux rayonnements moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne en 2001. Comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé dans la plupart des domaines.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2001

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

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

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par des substances radioactives naturelles dans l'environnement. La contribution externe est surtout l'exposition dans l'air et dans le sol du radioisotope naturel potassium-40, ainsi que les radionuclides des chaînes de désintégration de l'uranium-238 et de thorium-232. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation du gaz rare naturel de radon et de ses produits de filiation, et partiellement par l'absorption de substances radioactives naturelles avec l'eau potable et la nourriture. La contribution totale à la dose effective annuelle des sources naturelles de radiation est entre 1 et 6 millisievert. La valeur moyenne nominale est 2,1 millisievert, particulièrement en raison du radon à l'intérieur de maisons. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné ci-dessus.

Les mesurages effectués aux cours des dernières années ont mis en évidence les considérables différences régionales de l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et l'air. La construction de bâtiments sur du terrain avec une teneur élevée d'uranium et de radium et, d'une façon insignifiante, l'utilisation de matériaux de construction, avec une teneur élevée en substances radioactives naturelles, ont provoqué une augmentation de l'exposition aux rayonnements de la population, due aux produits radioactifs de décomposition qui en résultent. Actuellement des études épidémiologiques nationales et internationales sont effectuées pour estimer et limiter le risque de la population résultant des expositions aux produits de filiation de radon.

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

Exposition artificielle aux rayonnements

Application médicale

La plus grande partie à la dose effective moyenne de l'exposition artificielle aux rayonnements de la population résulte de l'application de rayonnements ionisants et de substances radioactives en médecine. Cette contribution en médecine de l'exposition aux rayonnements est environ 2 millisievert par an.

Les enquêtes de l'Office fédéral de radioprotection (BfS) sur l'exposition aux rayonnements dans la diagnostique aux rayons X, fournissant la plus grande contribution, résultait dans une grande distribution des valeurs de dose pour les examens individuels de plus de deux ordres de grandeur, dus aux situations individuelles de chaque patient et aux différents standards techniques. Malgré l'application fréquente de méthodes de diagnostique alternatives (ultrason, endoscopie, NMR) des enquêtes indiquent une augmentation légère des fréquences d'examens, surtout en ce qui concerne les examens à hautes doses de scanographie et angiographie, y compris la radiologie d'intervention. Dans les années suivantes la valeur de la dose effective moyenne devrait augmenter tout au plus légèrement en raison de la réalisation des mesures assurance qualité et contrôle qualité en diagnostique aux rayons X et en médecine nucléaire. Les enquêtes sur l'exposition aux rayonnements pour chaque examen indiquent une dose diminuée par examen. A partir de 1991, des enquêtes correspondantes pour actualiser les données sur le débit de doses sont faites continuellement à l'Office fédéral de radioprotection avec la subvention sur le domaine de l'hygiène sanitaire par les caisses d'assurance-maladie.

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

En médecine nucléaire, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. L'utilisation des anticorps monoclonaux marqués par radionucléides devient plus important dans le cadre de la diagnostique de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que dans la thérapie des tumeurs. La tomographie à émission de positrons (PET) acquiert également une plus grande importance dans les procédures d'examens en médecine nucléaire.

Le nouveau Décret sur la Protection contre les rayonnements étant en vigueur depuis le 1er août de l'année du rapport a des effets sur le domaine de la pratique médicale, surtout par le règlement sur l'indication justificative, les personnes autorisées aux applications, la compétence en radioprotection et les experts en physique médicale. Le BfS sera engagé dans de nouvelles tâches comme le développement et la publication de valeurs de référence diagnostiques et, sur le domaine de la recherche en médecine, les permissions des applications de substances radioactives ou des rayonnements ionisants chez l'homme.

Technique nucléaire

L'émission de matières radioactives, provenant des installations nucléaires et de l'ancien dépôt final de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM), n'a augmenté l'exposition aux rayonnements de la population que d'une façon insignifiante. Les radionucléides trouvés dans le cadre de la surveillance de l'exploitation minière d'Asse sont de l'origine naturel, ou quand il s'agit de strontium-90, une conséquence du fallout naturel. Les valeurs maximaux des émissions de l'exposition aux rayonnements pour des individus, déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 45 du Décret sur la Protection contre les rayonnements (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restés inférieurs aux limites de dose fixées par le Décret sur la protection contre les rayonnements. En général, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2000. En 2001, la contribution des installations nucléaires internes, ainsi que dans les pays voisins à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne (Tableau p. 23 - 2.1), était aussi inférieure à 0,01 millisievert par an.

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

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

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes pour toutes personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 316.000) a été environ 0,15 millisievert en 2001. Pendant toute l'année, une dose effective de 0 millisievert avait été mesurée chez environ 86% des personnes surveillées. Chez le reste des personnes surveillées avec une dose annuelle à 0,1 millisievert ou plus (environ 45 000), il en résulte une dose moyenne individuelle de 1,0 millisievert. Ainsi la contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne au total de la population était, également en 2001, inférieure à 0,01 millisievert.

Essais d'explosions nucléaires

En 2001, aucun essai d'explosions nucléaires n'a été effectué. Les substances radioactives de longue vie, décelables dans l'atmosphère et dans la nourriture, proviennent principalement des essais d'explosions nucléaires sur sol des années soixante. En 2001, on peut estimer la contribution à la dose effective moyenne de la population de la R.F.A. des radionucléides émis à cette époque à moins de 0,01 millisievert par personne.

Accidents et incidents radiologiques

Grâce aux strictes dispositions juridiques en matière de radioprotection, des incidents radiologiques avec personnes, survenant au cours de la manipulation de rayonnements ionisants et de substances radioactives, sont rares. Pour la vue d'ensemble des incidents radiologiques voir partie III 4. Notamment il faut mentionner le vol des objets avec contamination radioactive venant de l'atelier de retraitement du combustible irradié de Karlsruhe (WAK). Au cours de cet incident, trois personnes ont été contaminées sérieusement par incorporation de substances radioactives. La dose engagée effective de ces personnes était de 5,5 Sv, 0,38 Sv et 0,18 Sv.

Accident du réacteur de Tchernobyl

Après l'accident du réacteur dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986, les chiffres sur la contamination de l'environnement mesurés en République fédérale d'Allemagne étaient documentés et évalués du point de vue de la radiohygiène. En 2001, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer et, due au césium-134 et césium-137, la dose moyenne effective était en dessous de 0,015 millisievert. Elle était ainsi largement en dessous d'un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturelles, et résulte d'environ 90 % de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2001, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 0,002 millisievert. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur.

B RAYONNEMENTS NON IONISANTS

Par rayonnements non ionisants (NIR) nous entendons les champs à basse fréquence électriques et magnétiques, les champs à haute fréquence électromagnétiques et les rayons optiques, dont les rayonnements ultraviolets.

L'exposition du public aux rayonnements non ionisants, principalement aux champs de basse fréquence provenant du réseau électrique et aux champs de haute fréquence issus des réseaux de transmission sans fil est en forte augmentation par suite des continuelles avancées technologique dans ce domaine. En Allemagne, le déploiement prévu des réseaux de téléphonie mobile et, en particulier, l'introduction de la technologie UMTS ont provoqué une discussion publique sur les éventuels risques pour la santé liés à l'utilisation des nouvelles technologies de transmission.

De même, l'exposition du public aux UV ne cesse d'augmenter face aux habitudes de loisirs au soleil et à la mode du "wellness" - celle-ci se manifestant par un usage accru des solariums. La diminution de la couche d'ozone laisse également craindre une intensification de l'exposition aux UV.

Mécanisme fondamental des effets des rayonnements non ionisants

Les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques exercent des forces sur les charges électriques. Cet effet induit, dans le corps, la production de courants qui, selon leur fréquence et leur intensité, peuvent provoquer des effets de stimulation ou des hausses de température. Contrairement aux radiations ionisantes, les rayonnements de basse et haute fréquence compris entre 0 et 300 GHz ne produisent pas suffisamment d'énergie pour libérer des radicaux nuisibles dans le système biologique par phénomène d'ionisation et pour altérer durablement la structure du patrimoine héréditaire, l'ADN – cette altération étant une des causes d'induction du cancer.

Valeurs limites et recommandations sur les valeurs limites

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

L'application des valeurs limites pour les installations à haute fréquence, comme celle par exemple du service de radiotéléphonie mobile, est soumise au contrôle de l'agence de réglementation de la télécommuni-

cation et poste (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP), dans le cadre de la procédure de délivrance des licences d'installation et selon la réglementation relative aux télécommunications en vigueur. Le RegTP confirme que, pour l'année 2000, les valeurs limites ont été respectées.

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

Au niveau national et international, de fréquents échanges d'informations sur les derniers résultats de la recherche scientifique permettent de vérifier la validité et d'actualiser continuellement les recommandations relatives aux limites d'exposition. Cette évaluation a révélé qu'il existe des indications scientifiques de risques éventuels rendant nécessaire la prise de mesures de précaution. Dans un même temps, un programme de recherche ciblé est déployé pour confirmer et affiner les connaissances scientifiques dans ce domaine.

Surveillance de la radiation UV solaire

La surveillance des radiations UV est assurée en Allemagne par l'Office fédéral de radioprotection et l'Office fédéral de l'environnement, qui enregistrent quotidiennement les taux de rayonnements UV. Dans l'année du rapport, pour la période d'avril à août, les valeurs cumulées par jour maximales ont dépassé 3000 J/m^2 et les valeurs minimales ont atteint 1000 J/m^2 au maximum. L'analyse statistique des données mesurées permet de conclure à une légère augmentation des taux de radiation UV. Cependant, en raison de la multiplicité des facteurs d'influence, il n'est pas possible de prouver un effet relatif à l'ozone.

Thèmes d'actualité en 2001

Les rayonnements non ionisants et, en particulier, les conséquences pour la santé de la radiotéléphonie mobile firent l'objet d'une vive discussion publique dans l'année du rapport. A également dominé les débats, la question du rapport de causalité entre les rayonnements électromagnétiques de basse fréquence et les cas de cancer observés chez les soldats de l'armée fédérale qui ont opéré et entretenu des systèmes radar. La radiation incriminée ici dans le développement du cancer chez les personnes concernées est la radiation ionisante aux rayons X (voir section A, chapitre III, 4, exposition aux rayonnements chez le personnel s'occupant des systèmes).

ABSCHNITT A
IONISIERENDE STRAHLUNG
(Ionising Radiation)

Teil I

UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(Environmental radioactivity)

Bearbeitet von den Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität

Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung (*Historical and legal basis of surveillance*)

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

Überwachung der Umwelt

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

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

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

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

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

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

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

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

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

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

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

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

Deutscher Wetterdienst , Zentralamt Offenbach am Main	Messung von Luft und Niederschlag Ausbreitungsprognose Spurenanalyse
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig	Spurenanalyse Bereitstellung von Aktivitätsnormalen
Bundesanstalt für Gewässerkunde , Koblenz	Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie , Hamburg	Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesforschungsanstalt für Fischerei , Labor für Fischereiökologie, Hamburg	Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton
Bundesanstalt für Milchforschung , Institut für Chemie und Technologie der Milch, Kiel	Milch, Milchprodukte, Futtermittel, Boden, Pflanzen und Düngemittel Einzellebensmittel, Gesamt- und Babynahrung
Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim Fachbereich Strahlenhygiene, Freiburg	Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen Abluftüberwachung kerntechnischer Anlagen Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölkerung Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe γ -Ortsdosisleistung Spurenanalyse Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin und Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

1.1 **Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt** *(Natural radioactive substances in the environment)*

Natürlich radioaktive Stoffe - natürliche Radionuklide - sind seit jeher Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man drei Gruppen natürlich radioaktiver Stoffe:

- Radionuklide ohne Zerfallsreihen,
- Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen,
- Radionuklide, die ständig durch kosmische Strahlung erzeugt werden.

Die Radionuklide der ersten Gruppe haben ebenso wie die Ausgangsradiation der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40, es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. Rubidium-87, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

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

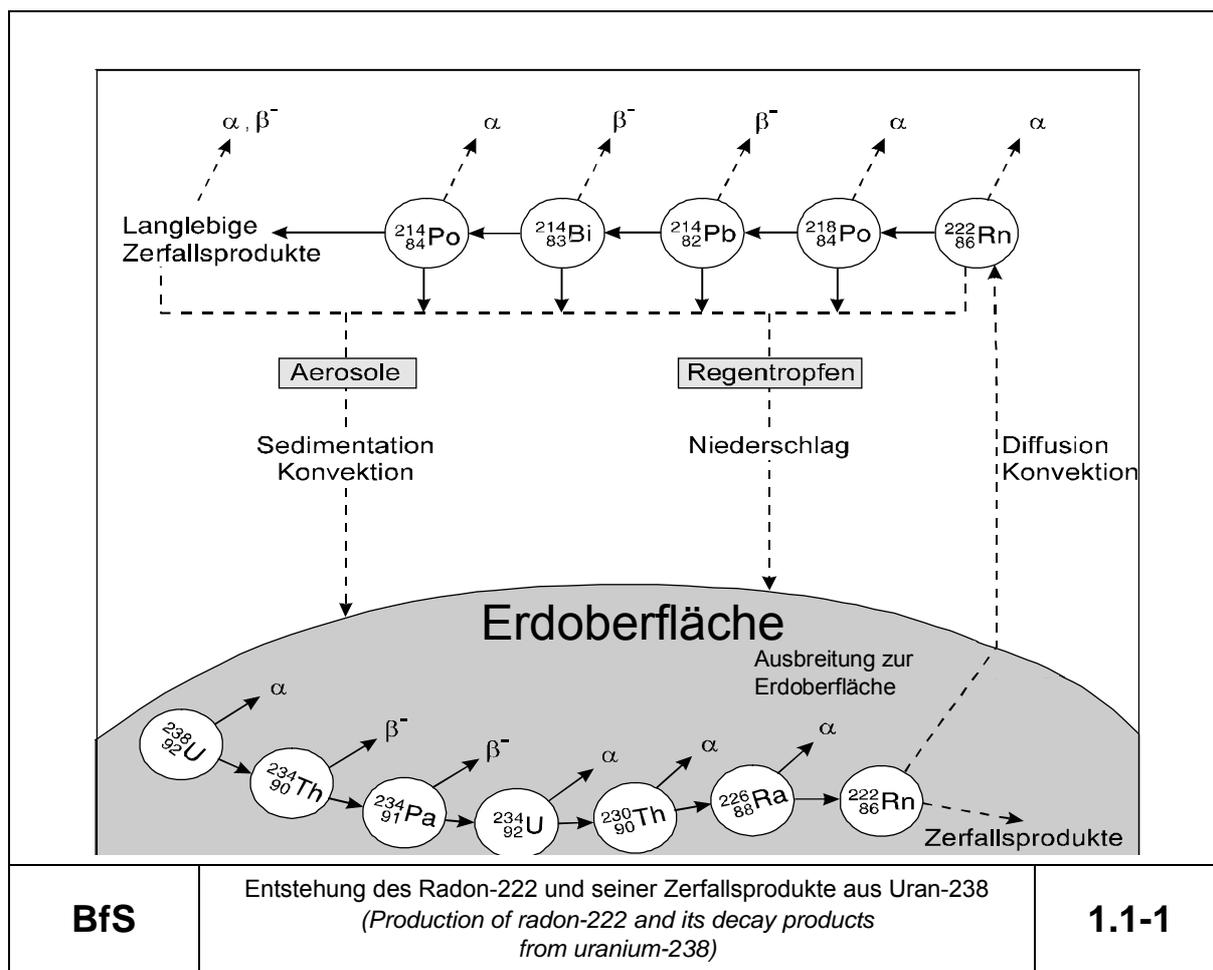
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Thorium-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

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

Zur dritten Gruppe gehören Radionuklide, die ständig durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre erzeugt werden, z. B. Tritium (HWZ 12,3 Jahre), Beryllium-7 (HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (HWZ 5730 Jahre) und Natrium-22 (HWZ 2,6 Jahre).

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

Die Abbildung 1.1-1 zeigt die Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte in der bodennahen Luft.



1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden
(Natural radioactive substances in soil)

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteinen auch höhere Werte dieser Nuklide. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide gestört werden. Die Tabelle 1.2-1 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität für einige Bodenarten.

Tabelle 1.2-1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten
(Typical values for the specific activity of different soil consistencies)

Bodenart	Kalium-40	Thorium-232	Uran-238
	spez. Aktivität (Bq/kg TM)		
Fahlerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

In Tabelle 1.2-2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Regionen des Uran- und Kupferschieferbergbaus in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangelhaltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in

den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

Tabelle 1.2-2 Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Radium-226 in Böden
(*Typical areas for specific radium-226 activity in soil*)

Gebiet	Wertebereich spez. Ra-226-Aktivität (Bq/kg TM)
Raum Mansfeld (Sachsen-Anhalt)	17 – 64
Raum Aue (Sachsen)	27 – 80 ^{*)}
Erzgebirgisches Becken	18 – 130
Thüringer Bergbauggebiet	21 – 170 ^{**)}
Mecklenburg-Vorpommern	8 – 12
Brandenburg	9 – 15
Übriges Bundesgebiet	10 – 200

*) Einzelwerte bis 300 Bq/kg

**) Einzelwerte bis 400 Bq/kg

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

(*Natural radioactive substances in water*)

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und Stollenwässer und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen von verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Umfangreiche Untersuchungen des damaligen Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes und des BfS an für die Trinkwassergewinnung genutzten Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der U-238- und Th-232-Zerfallsreihen im Allgemeinen nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. im gleichen Wasser liegen unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf den unterschiedlichen chemischen Charakter der einzelnen Zerfallsprodukte zurückzuführen, die in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen.

In Tabelle 1.3-1 wird ein Überblick über die aus den vorliegenden Messdaten ermittelten Mediane und Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen relevanter natürlicher Radionuklide in Trinkwässern gegeben. Berücksichtigt wurden nur aufbereitete Wässer, sogenannte Reinwässer und Wässer, die ohne weitere Behandlung als Trinkwasser genutzt werden. Die zugrundeliegenden Daten stammen mit Ausnahme der Radionuklide Ra-226, Rn-222 und K-40 überwiegend aus Gebieten erhöhter natürlicher Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) und sind daher nur eingeschränkt repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet. Neben den errechneten Medianwerten (50%-Perzentilen) werden für das Gesamtgebiet geschätzte Medianwerte (in Klammern) angegeben. Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet, d. h. in 5% der Fälle treten definitionsgemäß höhere Werte auf, die in Extremfällen um ein bis zwei Größenordnungen darüber liegen können.

**Tabelle 1.3-1 Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser
(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water)**

Radionuklid	Medianwert		Wertebereich**)
	spez. Aktivität (mBq/l)		
Uran-238	16	(5) ^{*)}	< 0,5 - 310
Uran-234	18	(6) ^{*)}	< 0,5 - 350
Uran-235	1	(0,3) ^{*)}	< 0,2 - 16
Radium-226	5		< 0,5 - 32
Radium-226 (Mineralwasser)	23		< 0,5 - 310
Thorium-232	0,5	(0,1) ^{*)}	< 0,1 - 4
Thorium-228	1	(0,2) ^{*)}	< 0,2 - 6
Radium-228	12	(3) ^{*)}	< 0,5 - 23
Radon-222	5900		<1 000 - 160 000
Blei-210	7	(1,5) ^{*)}	< 0,2 - 170
Polonium-210	2	(0,5) ^{*)}	< 0,1 - 40
Kalium-40	70		3 - 800
Kalium-40 (Mineralwasser)	1500		30 - 16 000

*) Bei den in Klammern angegebenen Werten handelt es sich um Schätzwerte, die sich aus dem Verhältnis der Werte aus Gebieten erhöhter Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) zum Gesamtgebiet (für Ra-226 beträgt der Faktor etwa 4) ergeben.

***) Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet.

Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergab sich ein Median von 5,9 Bq/l bei einem 95%-Perzentil von 160 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l; der höchste Wert betrug 1500 Bq/l. Die Messungen der Radon-222-Konzentrationen erfolgten zum größten Teil bei Endverbrauchern, z. B. in Privathaushalten, zum kleineren Teil in Wasserversorgungsanlagen.

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 Promille. Im Salz des Meeres sind auch natürliche Radionuklide enthalten, deren Konzentrationen zum Teil proportional zum Salzgehalt in den Küstengewässern abnehmen oder auch durch geochemische Prozesse aus der Wassersäule abgereichert werden.

Unter den natürlichen Radionukliden sind vor allen Dingen Kalium-40, Rubidium-87 sowie die Radionuklide der Uran-238-, Uran-235- und Thorium-232-Zerfallsreihen zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche U-238-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide Tritium (H-3) und Beryllium-7 werden über die Atmosphäre in das Meer eingetragen. Tabelle 1.3-2 gibt die Hintergrundkonzentrationen der wichtigsten natürlichen Radionuklide wieder. Für eine Strahlenexposition des Menschen durch Verzehr von Meerestieren spielt der α-Strahler Polonium-210 die größte Rolle.

**Tabelle 1.3-2 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten
(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)**

Gewässer	Radionuklid	Wertebereich spez. Aktivität (mBq/l)
Grundwasser	Tritium	<40 - 400
	Kalium-40	11 - 15000
	Uran-238	1 - 200
	Radium-226	<4 - 400
	Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte	2000 - 1500000
	Thorium-232	0,4 - 70
Oberflächenwasser	Tritium	20 - 100
	Kalium-40	40 - 2000
	Uran-238	<2 - 40
	Radium-226	<2 - 30
	Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte	400 b)
		(<400 - 2000)
	Blei-210	2 - 70
	Thorium-232	0,04 - 0,4
Radium-228	<1 - 10	

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer	Radionuklid	Wertebereich spez. Aktivität (mBq/l)
Meerwasser der Nord- und Ostsee a)	Tritium	20 - 100 c)
	Beryllium-7	1,1 - 3,4
	Kohlenstoff-14	5,5 - 6,7
	Silizium-32	0,0002 - 0,0033
	Kalium-40	11800 - 12300
	Rubidium-87	106
	Uran-238	40 - 44
	Thorium-234	0,6 - 6,8
	Uran-234	47
	Thorium-230	0,0025
	Radium-226	0,8 - 8
	Blei-210	0,4 - 2
	Polonium-210	0,6 - 1,9
	Thorium-232	0,0004 - 0,029
	Radium-228	0,8 - 8
Thorium-228	0,004 - 0,3	
Uran-235	1,9	
		spez. Aktivität (mBq/g)
Sediment der Nord- und Ostsee a)	Kalium-40	100 - 1000
	Uran-238	2,5 - 186
	Thorium-234	d)
	Uran-234	d)
	Thorium-230	d)
	Radium-226	20 - 80
	Blei-210	100 - 300 e)
	Polonium-210	100 - 300 e)
	Thorium-232	12 - 50

- a) Werte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie
b) Geschätzter Mittelwert Bundesrepublik Deutschland
c) Diese Konzentrationen sind nur in ozeanischem Tiefenwasser ohne anthropogenen Einfluss zu bestimmen
d) Weitgehend radioaktives Gleichgewicht mit U-238 wird in den Sedimenten der Nordsee angenommen
e) Dieser Wert gilt für Oberflächensedimente. Durch Eintrag von Rn-222-Folgeprodukten aus der Atmosphäre in das Meer ergibt sich ein Überschuss an Pb-210 bzw. Po-210 in Oberflächensedimenten gegenüber dem möglichen Zerfall aus Ra-226. Das Alter einer Sedimentablagerung kann damit über den Zerfall des Pb-210 in ungestörten Sedimenten ermittelt werden

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre *(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)*

In der bodennahen Luft befinden sich die für die Strahlenexposition wichtigen radioaktiven Isotope des Edelgases Radon (siehe Abschnitt 1.1) und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen sind bei den natürlicherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide (z. B. H-3, Be-7, C-14, Na-22).

Die Konzentrationen der beim Zerfall der Isotope des Ra-226 und des Ra-224 in den Gesteinen und Böden entstehenden Edelgasisotope Rn-222 und Rn-220 in der Luft sind abhängig von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden. Wegen der kurzen HWZ von etwa 4 Sekunden spielt das Rn-219 für die Strahlenexposition keine Rolle.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 – 30 Bq/m³. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tallagen) können auch höhere Konzentrationen auftreten. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³. Bedingt durch

Freisetzungen aus speziellen bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonisotops der Th-232-Zerfallsreihe, Rn-220, sind in Deutschland deutlich niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt. Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die Tabelle 1.4-1. Sie fasst die Ergebnisse zusammen, die in den Jahren 1974 bis 1992 von der PTB und der GSF im Raum München, Berlin und Braunschweig in der bodennahen Luft gemessen wurden.

Tabelle 1.4-1 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte)
(*Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values*)

Uran-238	Uran-234	Thorium-230	Radium-226	Blei-210	Polonium-210	Thorium-232	Radium-228	Thorium-228
µBq/m ³								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung (*Natural radioactive substances in foodstuffs*)

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Das mit der Nahrung aufgenommene K-40 führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (Zahlenwerte nach UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei.

Tabelle 1.5-1 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Wertebereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln. Die untersuchten Proben stammen allerdings überwiegend aus Gebieten mit überdurchschnittlichen Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe im Boden und können deshalb nicht für Abschätzungen einer repräsentativen Strahlenexposition verwendet werden.

Tabelle 1.5-1 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln
(*Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs*)

Nahrungsmittel	Kalium-40	Uran-238	Radium-226	Blei-210	Polonium-210
	spezifische Aktivität (Bq/kg FM)				
Getreide	150 87 - 246	0,1 0,02 - 0,4	0,3 0,04 - 1,54	1,4 0,04 - 10,2	0,3 0,2 - 1,94
Mehl			0,1 0,05 - 0,13	0,4 0,22 - 0,67	0,4 0,20 - 0,48
Kartoffeln	150 122 - 194	0,6 0,02 - 3,09	0,2 0,02 - 1,30	0,1 0,02 - 0,63	0,1 0,20 - 0,33
Kohl	130 59 - 196	0,3 0,02 - 0,75	0,2 0,01 - 0,68	0,3 0,004 - 1,28	0,2 0,004 - 1,13
Übriges Gemüse		0,4 0,1 - 1,26	0,1 0,006 - 0,71	0,1 0,007 - 0,34	0,1 0,004 - 1,19
Möhren	100 72 - 134	0,7 0,07 - 2,31	0,2 0,06 - 0,49	0,6 0,02 - 4,9	0,6 0,02 - 5,2
Obst	50 23 - 164	0,6 0,02 - 2,89	0,2 0,005 - 2,12	0,2 0,02 - 2,29	0,1 0,02 - 1,1
Beerenobst	140 107 - 190	0,4 0,06 - 1,8	2,2 0,03 - 5,38	8,4 1,2 - 14,8	1,6 0,52 - 2,24
Pilze	120 8 - 233	1,3 0,18 - 5,1	1,2 0,01 - 16	1,2 0,09 - 4,1	1,3 0,1 - 5,2
Fleisch	90 60 - 120	0,01 0,001 - 0,02	0,1 0,03 - 0,18	0,5 0,1 - 1	2 0,2 - 4
Fischfleisch	100 80 - 120	4,1 0,5 - 7,4	1,5 0,05 - 7,8	0,8 0,02 - 4,42	1,1 0,05 - 5,2
Milch	50 35 - 65		0,025 0,001 - 0,13	0,04 0,004 - 0,26	0,024 0,003 - 0,07

Die spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung des Menschen (feste und flüssige Form), die in der gemischten Kost unterschiedlicher Gemeinschaftseinrichtungen über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt die Tabelle 1.5-2. Diese Tabelle beruht auf aktuellen und repräsentativen Daten, die in den Jahren 2000 und 2001 in der gesamten Bundesrepublik erhoben worden sind. Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung kann aus diesen Angaben abgeschätzt werden.

Tabelle 1.5-2 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung
(gemischte Kost aus Gemeinschaftseinrichtungen)
(*Specific activity of natural radioactive substances in the general diet*
- mixed diet from public institutions)

Radionuklid	Mittelwert	Wertebereich
	spezifische Aktivität (Bq/kg FM)	
Uran-238	0,008	0,001 - 0,020
Uran-234	0,012	0,004 - 0,036
Thorium-230	0,002	0,001 - 0,004
Radium-226	0,021	0,006 - 0,042
Blei-210	0,029	0,010 - 0,115
Thorium-232	0,001	0,001 - 0,004
Radium-228	0,030	0,019 - 0,069

Die Tabelle 1.5-3 gibt einen Überblick über die mittlere Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe im Menschen.

Tabelle 1.5-3 Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR 1982, 1988 und 1993 [1])
(*Natural radioactive substances in man - UNSCEAR 1982, 1988 and 1993*)

Radionuklide	Aktivität (Bq)
Tritium	20
Kohlenstoff-14	3500
Kalium-40	4000
Rubidium-87	600
Uran-238	0,5
Radium-226	1,2
Blei-210	18
Polonium-210	15
Thorium-232	0,2
Thorium-228	0,4
Radium-228	0,4

1.6 Natürliche Strahlenexposition (*Natural radiation exposure*)

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

Äußere Strahlenexposition

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

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der γ -Ortsdosisleistung im Freien 57 Nanosievert pro Stunde Photonenäquivalenzdosis, entspricht 0,1 mSv/a (mittlere effektive Dosis in Deutschland) bestimmt. Höhere γ -Ortsdosisleistungen, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven und über natürlichen Böden dieser Regionen, z. B. in den Südregionen der neuen Bundesländer, im Bayerischen Wald und im Schwarzwald gemessen.

In Gebäuden wird die externe Strahlenexposition vorwiegend von der spezifischen Aktivität der verwendeten Baustoffe und nur zu einem geringen Teil durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt (Mittelwert der γ -Ortsdosisleistung: 80 nSv/h, Wertebereich von 20 - 700 nSv/h).

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

Zur externen Strahlenexposition trägt weiterhin die kosmische Strahlung bei. Sie besteht primär aus der hochenergetischen Teilchenstrahlung der Galaxis und einer solaren Komponente, die in den äußeren Luftschichten der Erde die sekundäre kosmische Strahlung erzeugen. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die direkt ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine γ -Ortsdosisleistung von 32 nSv/h erzeugt; sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die effektive Dosisleistung der Neutronenkomponente beträgt demgegenüber nur 3,6 nSv/h, sie steigt schneller mit zunehmender Höhe an. Insgesamt ergibt sich für die kosmische Strahlenexposition in Meereshöhe eine mittlere effektive Dosis von ca. 0,3 mSv/a.

Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition trägt die Inhalation des Rn-222 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte bei. Das Radon selbst verursacht eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Den weitaus größten Beitrag (90 - 95%) liefern seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die meist an Aerosole angelagert oder in nicht angelagerter Form beim Einatmen im Atemtrakt und in der Lunge abgeschieden werden und dort durch α -Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch Radon-Zerfallsprodukte.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt in ihrer Publikation Nr. 65 "Empfehlungen zum Schutz vor Rn-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz" zur Ermittlung der effektiven Dosis aus der Radonexposition eine Dosiskonvention. Diese Konvention wurde auch von der Richtlinie 96/29 EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 übernommen und ist künftig von den Mitgliedsländern anzuwenden. Danach beträgt die jährliche effektive Dosis aus der Radonexposition in Gebäuden im Durchschnitt etwa 0,8 mSv und im Freien etwa 0,1 mSv. Allerdings muss auf den großen Variationsbereich der Radonkonzentrationen verwiesen werden. Für die Exposition durch Rn-220 wird im UNSCEAR Report 2000 eine jährliche effektive Dosis von 0,1 mSv angegeben [1].

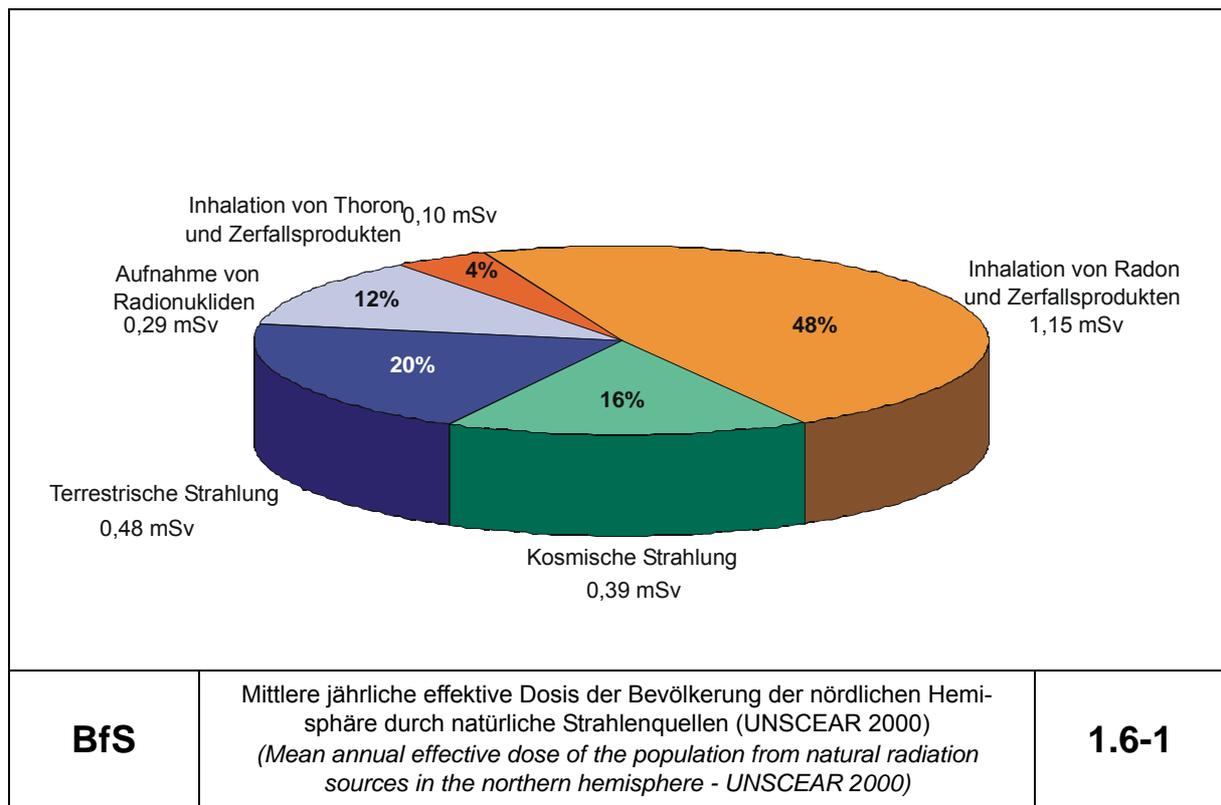
Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5 μ Sv/a und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, da 0,0118% des natürlichen Isotopengemisches von Kalium auf das radioaktive Isotop K-40 entfallen. Der K-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq (s. Tabelle 1.5-3). Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 1,8 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich unter Verwendung der in dem EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren für eine Person der Bevölkerung rein rechnerisch eine jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Betracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon und den nach der Direktive 96/29 EURATOM zu betrachtenden sechs Altersgruppen sollte sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv ergeben. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ebenfalls ein Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben. Die sich nach dem UNSCEAR Report für die einzelnen Komponenten ergebenden Anteile an der Gesamtexposition sind in der Abbildung 1.6-1 graphisch dargestellt [1].



Literatur

[1] United Nations: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1982, 1988, 1993, 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York 1982, 1988, 1993, 2000

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin und Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

2.1 Radon in Gebäuden (*Radon in buildings*)

Die regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden wird primär bestimmt durch das Radonangebot aus dem Baugrund, d. h. die Geologie des Grundgebirges, die Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonische Störungen. Wesentlichster modifizierender Faktor ist die Bauweise, vor allem die Dichtheit der Häuser gegenüber dem Baugrund, die innere Strukturierung der Gebäude und das technisch vorgegebene sowie individuell bestimmte Heizungs-/Lüftungsregime.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen Auffahrungen und Rissen im Deckgebirge sowohl das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden als auch der Radoneintritt in die Gebäude über am Baukörper entstehende Undichtigkeiten infolge Senkungen des Baugrundes vergrößert werden.

Gemäß der europäischen "Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden" sollen die Jahresdurchschnittswerte der Radonkonzentration in existierenden Wohnräumen den Referenzwert von 400 Bq/m^3 nicht überschreiten und in neu zu errichtenden Wohnräumen unter dem Planungswert von 200 Bq/m^3 liegen [1].

Aus den oben genannten Gründen existieren in Deutschland beträchtliche regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Häusern. Sowohl die bisher in mehr als 50 000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es Gebiete gibt, in denen Radon in Gebäuden gemäß der europäischen Bewertung keine für den Strahlenschutz relevante Bedeutung hat. In den anderen Gebieten (Radongebiete) ist ein gestaffeltes System von Schutzmaßnahmen gegen erhöhte Radonexposition zu empfehlen.

Bei der Identifikation von Radongebieten wird in Deutschland der gesamte Komplex der die Radonkonzentration beeinflussenden Faktoren in Betracht gezogen. Vorrangig sind dies die Ergebnisse vorliegender und noch durchzuführender Radonmessungen in Häusern, die geologischen Gegebenheiten und das Radonpotenzial im Baugrund.

Bisher erfolgten die Messungen der Radonkonzentration in Häusern auf Grund der verschiedenen Zielstellungen mit unterschiedlichen Methoden, bei verschiedenen Messbedingungen und Messdauern sowie regional extrem unterschiedlicher Messpunktdichte. So existieren Gebiete, in denen wegen Ihrer geologischen Bedingungen zwar erhöhte Radonkonzentrationen zu erwarten sind aber bisher keine oder zu wenig Radonmessungen durchgeführt wurden. Solche Regionen sind durch weitere Messungen in Gebäuden zu validieren. Validierungsmessungen mit Pilotcharakter erfolgen derzeit in insgesamt 6000 Wohnhäusern in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens wurden im Zeitraum 1998 bis 2001 Untersuchungen über den Transfer des Radons aus dem Gebäudeuntergrund in die Häuser durchgeführt. Das Verhältnis der Radonkonzentration im Gebäude zu der Radonkonzentration im Baugrund wird durch den Transferfaktor beschrieben. Ein Transferfaktor von 1‰ bedeutet z. B., dass bei einer Aktivitätskonzentration von 100 kBq/m^3 in der Bodenluft Werte im Bereich von 100 Bq/m^3 in der Raumluft des Gebäudes erwartet werden. Die Medianwerte der Transferfaktoren liegen bei 1,4‰ für das Erdgeschoss und 2,3‰ für den Keller, die 90-Perzentile bei 5,3‰ bzw. 9,3‰ [2]. Der Transferfaktor reduziert sich deutlich in Häusern mit vorhandenen Feuchteschutzmaßnahmen gegenüber Häusern ohne diesen Schutz. Im Rahmen des Umwelt-Forschungsplanes wurde im Jahre 2001 in einem Projekt die Radondurchlässigkeit von verschiedenen Gebäudebeschichtungen untersucht, die zum Schutz gegen Bodenfeuchte im erdberührten Bereich ange-

bracht werden. Es zeigte sich, dass der Radon-Transferfaktor bei vollständiger und fachmännisch ausgeführter Isolierung nur noch 0,1‰ bis 0,2‰ beträgt [3].

Es wurde ein "Prognoseverfahren" zur Identifizierung von Gebieten entwickelt, in denen mit einem erhöhten Auftreten radonbelasteter Häuser zu rechnen ist. Die Prognose basiert auf der Verteilung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und Messungen der Radonkonzentration in einer für den Wohngebäudebestand der Gemeinden repräsentativen Stichprobe. Mittels dieser Prognosemethode können aber auch Gebiete ausgegrenzt werden, in denen mit keiner oder nur sehr geringer Überschreitungshäufigkeit der europäischen Empfehlungswerte gerechnet wird.

Die Untersuchungen des Radonpotentials im Boden und die Ergebnisse der Radonmessungen in Häusern zeigen:

- Die in Häusern der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Radonkonzentrationen sind vergleichbar mit denen, die auch in anderen Ländern Mitteleuropas angetroffen werden.
- Rein geologisch bedingt können Jahresmittelwerte von einigen kBq/m³ auftreten. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass in bergbaulich nicht beeinflussten Gebieten Langzeit-Mittelwerte der Radonkonzentration in Wohnräumen von mehr als 10 000 Bq/m³ vorkommen. Die höchsten auf geologische Ursachen zurückführbaren Radonkonzentrationen hat man in Häusern gemessen, die auf Graniten errichtet wurden.
- Aktuelle Abschätzungen ergeben, dass auf ca. 8,8% der Fläche Deutschlands Radonkonzentrationen über 80 kBq/m³ in der Bodenluft vorkommen (vergleiche Abbildung 2.1-1). In diesen Gebieten sind insbesondere in älteren Häusern gehäuft Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen anzutreffen. Neubauten sollten an Standorten mit derart hohen Radonkonzentrationen im Baugrund radongeschützt errichtet werden.
- Auf ca. 20,5% der Fläche Deutschlands treten auf Grund der geologischen Bedingungen Radonkonzentrationen unter 10 kBq/m³ in der Bodenluft auf. Dort sind unabhängig von der Bauweise erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern wenig wahrscheinlich. Dies betrifft vor allem große Teile des norddeutschen Tieflandes.

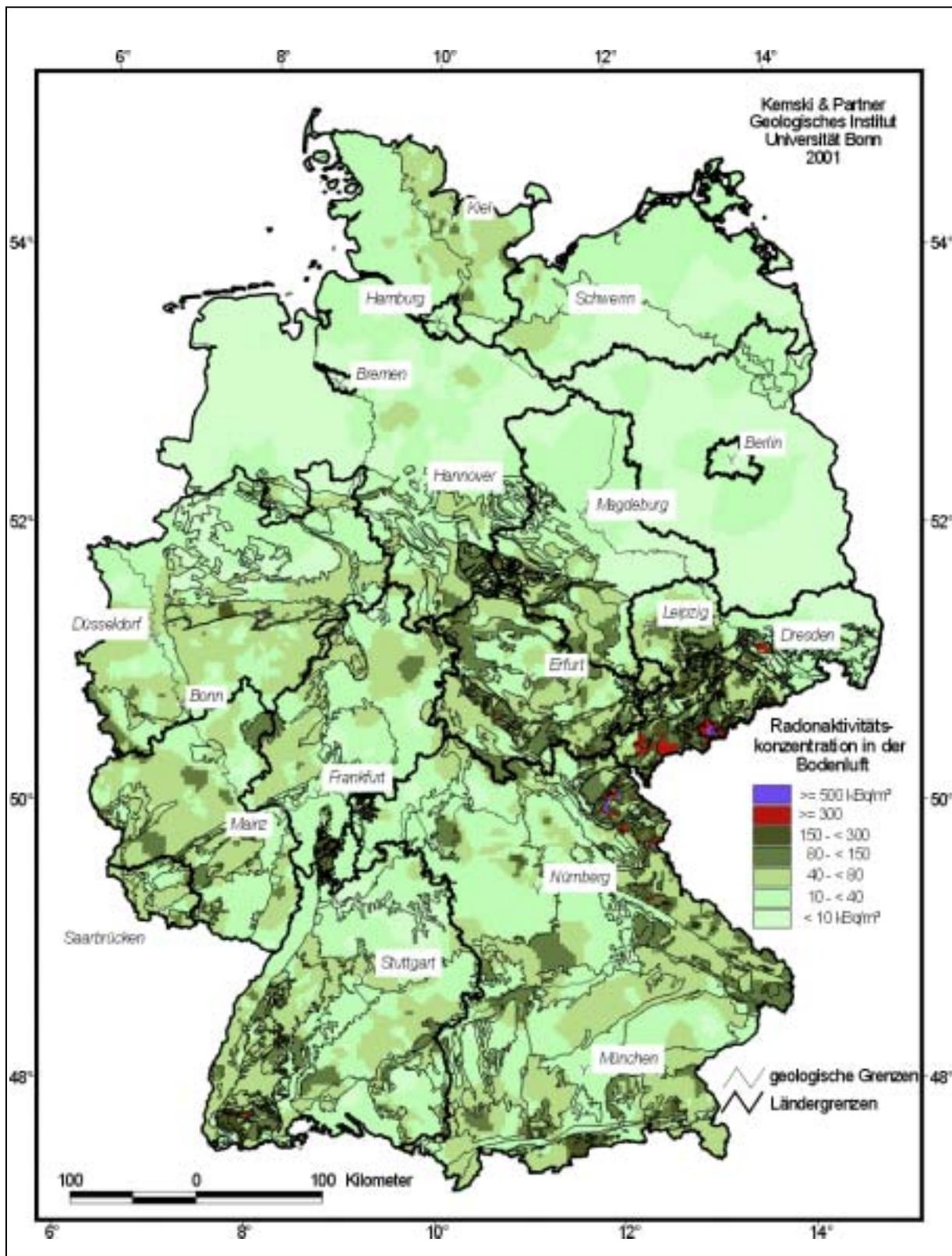
Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gibt Abbildung 2.1-1 eine orientierende Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe.

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen zu Stollen oder Schächten Grubenwetter mit sehr hoher Radonkonzentration in die Gebäude gelangen. In Häusern der Bergbaugebiete wurden in Einzelfällen kurzzeitig bis zu 600 kBq m³ und Jahresmittelwerte über 15 kBq m³ festgestellt. Auf Grund der in einigen Lagerstätten vorhandenen paragenetischen Uranvererzungen, aber auch wegen der im Allgemeinen hohen Permeabilität von geschüttetem Material sollten Halden als Flächen mit erhöhtem Radonpotential eingestuft werden und im Allgemeinen nicht bebaut werden.

Baumaterialien sind selten die Ursache erhöhter Konzentrationen. In Einzelfällen wurden durch die Verwendung von Baumaterial erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern solcher Gebiete gemessen, in denen hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität besondere Rohstoffe gewonnen oder verarbeitet wurden.

Von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Gebäuden ist in Deutschland das Radon, welches in Wasser gelöst und bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird. Wesentliche Erhöhungen der Radon-Raumluftkonzentration wurden in Wasserwerken festgestellt. Vereinzelt auftretende signifikante Beeinflussungen der Radonkonzentration in Wohnräumen sind auf eng begrenzte Gebiete und Situationen (z. B. Nutzung individueller Brunnen in Granitgebieten) beschränkt.

In Erdöl und Erdgas gelöstes und bei seiner Verwendung freigesetztes Radon spielt nach derzeitigem Kenntnisstand in Deutschland keine Rolle für die Strahlenexposition der Bevölkerung.



<p>BfS</p>	<p>Radonkonzentration in der Bodenluft (in kBq/m³) (Radon concentration in soil air - in kBq/m³)</p>	<p>2.1-1</p>
-------------------	---	---------------------

Literatur

- [1] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.1990
- [2] Kemski, J.; Klingel, R.; Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben St.Sch, 4186 und 4187, Universität Bonn (4186), Kemski & Partner (4187), Bonn, 7.12.2001
- [3] Keller, G.; Hoffmann, B.: "Durchlässigkeit von Baumaterialien" Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschung zum Problemkreis "Radon", Bonn, Januar 2002

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

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 25 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Natursteinen, Baustoffen und Rückständen industrieller Prozesse durchgeführt. In mehr als 1500 Proben dieser Materialien wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt. Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 2.2-1 zusammengestellt.

Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide variiert innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen kieselsäurereiche Magmageseine, insbesondere Granit, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Die radiologische Relevanz der einzelnen Materialien für die Strahlenexposition der Bevölkerung hängt neben der Radionuklidkonzentration auch von anderen Faktoren, z. B. der Materialstruktur und der Art der Verwendung ab. Somit ist bei Materialien, die in der Baustoffproduktion Verwendung finden, letztendlich die vom fertigen Bauprodukt ausgehende Strahlenexposition für die Bevölkerung entscheidend. Die speziellen Einbaubedingungen und die Bedeutung des Materials im Vergleich zu anderen Ursachen der Strahlenexposition in den betreffenden Gebäuden sind zu beachten.

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

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden allerdings Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen sind. Der Beitrag von Baumaterialien zur Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt im Durchschnitt ca. 30 Bq/m³ und ist meist deutlich kleiner als 100 Bq/m³.

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich natürliche radioaktive Stoffe an. Bei unkontrollierter Verwendung dieser Rückstände, z. B. ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Teil 3 der seit Juli 2001 geltenden Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [1] enthält Regelungen zu deren Begrenzung. In Anlage XII (zu §§ 97 bis 102) werden Rückstände genannt, bei deren Verwertung im Hausbau die Einhaltung einer speziellen Überwachungsgrenze geprüft werden muss. Durch die Regelungen wird gesichert, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird. Dies ist bei der Zulassung von Baustoffen zu beachten, denen solche Rückstände zugesetzt werden. Mit der neuen Regelung wird der Bauproduktenrichtlinie [2] und dem Bauproduktengesetz [3] entsprochen, wonach in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

Tabelle 2.2-1 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)	
Spez. Aktivität (Bq/kg TM)						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyr	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Schlämmerkreide	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	1100	(1000 - 1200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		-		-	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)	-	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1200)
Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie)	170	(9 - 310)	84	(3 - 250)	130	(1 - 280)
Braunkohlenfilterasche (Ostdeutschland)	82	(4 - 200)	51	(6 - 150)	147	(12 - 610)
Flugasche (nicht spezifiziert)	200	(26 - 1110)	100	(14 - 300)	700	(170 - 1450)
Chemiegips aus:						
Apatit	60	(40 - 70)	< 20		-	
Phosphorit	550	(300 - 1100)	20	(< 4 - 160)	110	(< 40 - 300)
Rauchgasentschwefelung	8	(3 - 70)	6	(4 - 20)	50	(< 20 - 80)
Flussspat	35		8		280	
Schwerspat	180		17		350	
Feldspat	60	(40 - 100)	100	(70 - 200)	3000	(2000 - 4000)
Bauxit (Ungarn)	170		100		< 20	
Bauxit (Zaire)	240		120		< 30	
Bauxit (Guayana)	33		170		66	
Bauxit (Rotschlamm)	200	(< 20 - 800)	400	(50 - 1000)	400	(< 20 - 1000)
Eisenerz (Brasilien)	22		4		-	
Eisenerz (Indien)	21		2		27	
Rohphosphat (nicht spezifiziert)	1000	(100 - 2000)	40	(< 20 - 100)	500	(< 40 - 900)
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	
Phosphat (Marokko)	1800		26		-	
Phosphat (GUS - Kola)	59		64		-	
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120000		11000		-	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14000		3900		-	
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36000		84000		-	
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5200	
Blähton und Blähschiefer	40	(< 20 - 70)	70	(30 - 90)	600	(70 - 800)
Hüttenbims	170	(110 - 230)	43	(24 - 62)	190	(180 - 190)
Porensinter	37		51		690	
Düngemittel (nicht spezifiziert)	400	(< 20 - 1000)	20	(< 20 - 30)	4000	(< 40 - 8000)
Superphosphate						
(Deutschland)	375	(230 - 520)	30	(15 - 44)	96	(52 - 140)
(USA)	785	(780 - 790)	34	(20 - 48)	-	
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)	-	
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)	-	
NPK-Dünger						
(Deutschland)	270		15		5200	
(GUS)	9		54		1200	
(Belgien)	210		< 15		5900	
Koks	30	(20 - 30)	< 20		70	(40 - 80)
Steinkohle	32	(5 - 150)	21	(5 - 63)	225	(7 - 700)
Braunkohle	10	(< 1 - 51)	8	(< 1 - 58)	22	(< 4 - 220)
Bitumen, Teer	< 20		< 20		110	(37 - 260)

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl.1 S. 1714)
- [2] Lutz, H.; Springborn, M.: Die Bauproduktenrichtlinie Gegenüberstellung und Abweichungen, Ernst & Sohn, Verlag für technische Wissenschaften GmbH, Berlin
- [3] 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 Mitgliedstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. 1 S. 1495)

2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen (Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources)

Obwohl die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition sich im strengen Sinne nicht in eine vom Menschen unbeeinflusste "natürliche" und in eine "zivilisatorisch erhöhte" unterteilen lässt, zeigt sich, dass eine Reihe industrieller Prozesse und anderer Arbeiten bei Anwesenheit natürlich radioaktiver Stoffe zu zusätzlichen Strahlenexpositionen von Beschäftigten und zur Veränderung der Umweltradioaktivität führen können.

Relevante Erhöhungen der natürlichen Strahlenexposition wurden u. a. in folgenden Bereichen festgestellt:

- bei der Stilllegung und Sanierung des Uranerzbergbaus und der Uranerzaufbereitung (Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH),

- in untertägigen Bereichen außerhalb der Uranindustrie und der Rohstoffgewinnung, z. B. in Schauhöhlen,
- in Teilanlagen der Wasserwirtschaft und in Radonbädern,
- beim Umgang mit thorierten Schweißelektroden,
- beim Umgang mit Thoriumglühstrümpfen,
- bei der Phosphatverarbeitung (Herstellung und Anwendung von Phosphatdüngemitteln),
- infolge der Verwendung industrieller Reststoffe als Baumaterial,
- infolge der Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung.

Nähere Angaben enthält z. B. eine Stellungnahme der Strahlenschutzkommission "Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide" vom Juli 1997 [1].

Bei Flügen in größeren Höhen treten beim fliegenden Personal erhöhte Strahlenexpositionen auf.

2.3.1 Berufliche Strahlenexposition aus zivilisatorisch veränderten natürlichen Strahlenquellen (Occupational radiation exposure from technologically enhanced natural radiation sources)

Stilllegung und Sanierung des Uranerzbergbaus und der Erzaufbereitung

Die berufliche Strahlenexposition bei der Urangewinnung in Sachsen und Thüringen und bei den ab 1991 durchgeführten Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten ist im Teil III 1.4 dargestellt. Ursache der dabei auftretenden beruflichen Strahlenexposition sind die Nuklide der Uran-Radium-Zerfallsreihe. Die spezifische Aktivität dieser Nuklide in den bergbaulichen Materialien ist deutlich höher als in Böden und Baumaterialien (Haldenmaterial/Bergematerial im Bereich bis zu 1000 Bq/kg, Rückstände der Uranerzaufbereitung - Tailings - im Bereich von 5 000 bis 15 000 Bq/kg). Die Strahlenexposition wird aber vor allem durch Radon und die kurzlebigen Radonzerfallsprodukte verursacht. Die mittlere jährliche effektive Dosis für die Beschäftigten der Wismut GmbH lag 2001 bei 0,63 mSv (bei Berechnung der effektiven Dosis nach der Dosisumkonventionskonvention auf der Grundlage der ICRP Empfehlung Nr. 65 [2], siehe auch Teil III 1.4).

Untertägige Bereiche und Anlagen außerhalb der Uranindustrie, Rohstoffgewinnung

In vielen Arbeitsbereichen des Nichturanerzbergbaus, der Bergsicherung, der Schauhöhlen und -bergwerke können ebenfalls hohe Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten auftreten. Die Strahlenexpositionen für beschäftigte Personen im Nichturanbergbau lagen im Mittel bei 1,59 mSv, in Betrieben der Bergsicherung bei 1,48 mSv und in Schauhöhlen und Schaubergwerken bei 1,98 mSv. Einzelheiten dazu werden im Teil III 1.4 beschrieben.

Anlagen der Wasserwirtschaft und Radiumbäder

Wasser enthält in Abhängigkeit von den geologischen Formationen des Wassereinzugsgebietes Radionuklide aus der Uran-Radium- und Thoriumreihe in unterschiedlichen Konzentrationen. Wegen der guten Löslichkeit des Radons in Wasser können in den Rohwässern sehr hohe Radonkonzentrationen auftreten (siehe Teil I 1.3). Bei der Wasseraufbereitung des Rohwassers in Wasserwerken kann es durch die Freisetzung von Radon aus dem Wasser z. T. zu erheblichen Strahlenexpositionen der Beschäftigten kommen. Aufbereitungsart und Radongehalt im Wasser beeinflussen gleichermaßen die Radonaktivitätskonzentration in der Luft der Betriebsräume. Durch Lüftungstechnische Maßnahmen kann man jedoch die Radonkonzentrationen in der Raumluft merklich reduzieren.

In den westsächsischen Wasserwerken werden seit Mitte der 80er Jahre Strahlenschutzüberwachungen der dort Beschäftigten und erforderlichenfalls Maßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition (Sanierungsmaßnahmen) durchgeführt. Die mittlere effektive Dosis der Beschäftigten dieser Betriebe konnte in den letzten Jahren wesentlich gesenkt werden. Im Jahr 2001 betrug sie 1,60 mSv (siehe Teil III 1.4). Derartige Untersuchungen wurden in der Folgezeit auch in anderen Gebieten durchgeführt.

Erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon können weiterhin in Radiumbädern und sonstigen übertägigen Arbeitsplätzen, in Büros, Schulen, Geschäften und Werkstätten auftreten. Die mittlere effektive Dosis für Beschäftigte in Radiumbädern betrug im Jahr 2001 3,19 mSv.

Langstreckenflüge in großen Höhen

Erhöhte Strahlenexpositionen treten durch die kosmische Strahlung bei Flügen in großen Höhen auf. Die Höhe der Strahlenexposition wird vor allem durch die Flughöhe, die Dauer des Fluges, die geomagnetische Breite der Flugroute und die Sonnenaktivität bestimmt.

In einer Stellungnahme der SSK (1994) zur Strahlenexposition des fliegenden Personals wurden neuere Messergebnisse dargestellt und Abschätzungen der Strahlenexposition vorgenommen [3]. Für einen Langstreckenflug bei einer Reiseflughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km ergibt sich eine über die Flughöhe gewichtete Umgebungs-Äquivalentdosisleistung von 6,6 μSv pro Stunde. Die Umgebungs-Äquivalentdosis schätzt die effektive Dosis im Flugzeug konservativ ab und wird als Messgröße verwendet. Bei Berücksichtigung der maximalen kosmischen Strahlenexposition, die in Zeiten minimaler Sonnenaktivität vorliegt, beträgt die Umgebungs-Äquivalentdosis (Qualitätsfaktor nach ICRP-Publikation 26 [4]) 8,6 μSv pro Stunde. Daraus ergibt sich für die Zeiten, die für den Aufenthalt in Reiseflughöhe angenommen werden (875 Stunden im Jahr) eine jährliche effektive Dosis von 7,5 mSv. Bei Anwendung der Qualitätsfaktoren von ICRP-Publikation 60 [5] erhöhen sich die Werte der Umgebungs-Äquivalentdosis, je nach Annahme der Zusammensetzung des Strahlenfeldes, bis auf 8,3 mSv. Eine solche Jahresdosis wird wegen der konservativen Annahmen in der Praxis nicht erreicht, und bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind bei sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer (siehe Teil III 1.5).

Umgang mit thorierten Schweißelektroden

Durch den Thoriumgehalt von Wolframelektroden kann es beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen) zu Strahlenexpositionen kommen. Beim Schweißvorgang und beim Elektrodenanschliff können vor allem durch die Inhalation von Stäuben, die Th-232 und seine Zerfallsprodukte enthalten, erhöhte Strahlenexpositionen verursacht werden. Abschätzungen und Berechnungen durch den TÜV Bayern-Sachsen 1993 ergaben für WIG-Handschweißer und Hilfsarbeiter beim Arbeiten ohne Luftabsaugung eine effektive Dosis bis zu 20 mSv pro Jahr. Der Fachausschuss "Eisen und Metall I" empfiehlt deshalb Schutzmaßnahmen anzuwenden, die im Merkblatt "Umgang mit thoriumhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)" der Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektronik und der Berufsgenossenschaft Chemische Industrie enthalten sind. Insbesondere lassen sich durch Lüftungstechnische Maßnahmen (Absaugung und Entstaubung), deren Wirksamkeit durch personengebundene Messungen beim Schweißen mit Wechselstrom nachzuweisen ist, sowie durch Einhaltung arbeitshygienischer Maßnahmen die Strahlenexpositionen deutlich unter 1 mSv/a senken.

Umgang mit Thoriumglühstrümpfen

Bei der Herstellung, der Verteilung und beim Umgang mit Glühstrümpfen und Glühkörpern für Gaslampen, die Thorium enthalten, ergeben sich äußere und innere Strahlenexpositionen. Für die äußere Strahlenexposition von Lager- und Transportarbeitern wurde eine effektive Dosis von bis zu 10 mSv pro Jahr errechnet. Bei den Beschäftigten des Reparatur- und Wartungsdienstes von Gasleuchten ist eine Aufnahme des Thoriums durch Inhalation nicht auszuschließen. Aus diesem Grund wurde dieses Arbeitsfeld in den Geltungsbereich der novellierten StrlSchV aufgenommen (s. Anlage XI Teil B) und Abschätzungen der Strahlenexposition der in diesem Arbeitsfeld Beschäftigten gefordert, ggf. sind Maßnahmen zur Begrenzung der Exposition einzuleiten.

Verwendung von Phosphatdüngemitteln

Die in Deutschland eingeführten Rohphosphate, die vorwiegend aus den USA, Nordafrika und Israel kommen, weisen je nach Herkunft gegenüber Vergleichswerten der mittleren spezifischen Aktivität der Böden einen bis zu fünfzigfach erhöhten Gehalt an U-238 und Ra-226 auf.

Die spezifischen Aktivitäten der daraus hergestellten mineralischen Phosphatdünger betragen für U-238 280 - 920 Bq/kg (Triplesuperphosphat max. 3000 Bq/kg), für Radium-226 160 - 520 Bq/kg (Triplesuperphosphat max. 1150 Bq/kg) und für K-40 30 - 6200 Bq/kg. Bei der Handhabung, der Lagerung und dem Umgang mit mineralischen Phosphatdüngemitteln, z. B. beim Ausbringen des Düngers in der Landwirtschaft, kann es deshalb zu einer erhöhten Strahlenexposition kommen. Messungen ergaben für Lagerarbeiter Strahlenexpositionen von 2,3 mSv pro Jahr und für das Ausbringen der Düngemittel in der Landwirtschaft maximal 1 mSv pro Jahr.

Verwendung industrieller Reststoffe als Baumaterial

Haldenmaterial aus dem Erzbergbau

Das beim Uranerzbergbau in den neuen Bundesländern angefallene "taube" Gestein (Haldenmaterial) weist eine mittlere spezifische Aktivität von etwa 700 Bq Ra-226 pro kg (Bereich bis 1000 Bq/kg) auf. Die spezifische Aktivität von Haldenmaterialien aus dem sonstigen Erzbergbau liegt meist in der gleichen Größenordnung, teilweise aber auch deutlich höher. In der Vergangenheit wurde das Material häufig für Straßenbau, Geländeaufschüttungen, manchmal jedoch auch zur Gebäudehinterfüllung und für sonstige Bauzwecke verwendet.

Auf Flächen oder Straßen, bei denen die Deckschicht aus derartigen Haldenmaterialien besteht, wurden Werte der γ -Ortsdosisleistung bis etwa 500 nSv pro Stunde gemessen. Bereits in den 60er Jahren wurde mit einer Überwachung der Verwendung von Haldenmaterial begonnen und später im DDR-Strahlenschutzrecht eine Genehmigungspflicht für Material mit mehr als 200 Bq/kg eingeführt. Die Genehmigungen waren häufig mit Auflagen zur Abdeckung des Materials verbunden, um auf derartigen Flächen den natürlichen Strahlungspegel zu gewährleisten. Die Anwendung für den Wohnungsbau war nicht statthaft. Jedoch können illegale Verwendungen im Wohnungsbau nicht ausgeschlossen werden.

Beim Bergbau von Erzen (Silber, Kupfer, Kobalt u.a.) mit Uranparagenese im sächsischen Erzgebirge seit dem frühen Mittelalter fiel Abraum mit sehr unterschiedlicher spezifischer Radioaktivität an. Dieser wurde in Siedlungsnähe abgelagert, z. T. überbaut oder als Baumaterial benutzt. In Einzelfällen führte dies zu hohen Radonkonzentrationen in Gebäuden. Derartige Fälle können nur durch flächendeckende Messungen in Gebäuden identifiziert werden, die allerdings die Bereitschaft der Bewohner voraussetzen.

Schlacke des Mansfelder Kupferschiefers

Die Schlacke aus der Verhüttung des Mansfelder Kupferschiefers wurde seit Jahrhunderten für Straßen- und Wasserbau und andere Bauzwecke verwendet, z. T. auch im Wohnungsbau. Seit den 80er Jahren war auch die Verwendung dieser Materialien genehmigungspflichtig und an Auflagen gebunden. Die Schlacke enthält pro Kilogramm im Mittel 700 Bq Ra-226 (Bereich bis 2500 Bq/kg). Je nach Schlackenanteil wurden im Freien wie in Häusern, bei denen Schlackesteine zum Bau verwendet worden waren, Ortsdosisleistungen von 75 bis 750 nSv pro Stunde (Medianwert 250 nSv pro Stunde) gemessen. Bei Annahme realistischer Aufenthaltszeiten ergeben sich dadurch effektive Dosiswerte von 1 mSv, maximal bis zu 3,2 mSv pro Jahr. Die Radonkonzentration in diesen Räumen ist auf Grund der geringen Exhalationsrate der Schlacke nicht erhöht, so dass sich durch Inhalation für die Bewohner kaum über dem Durchschnitt liegende Strahlenexpositionen ergeben.

Die SSK hat 1992 zur "Bewertung der Verwendung von Kupferschlacken aus dem Mansfelder Raum" empfohlen, auf die Verwendung von Schlackesteinen sowie von Schlacken als Zusatzstoff beim Neubau von Häusern zu verzichten [6]. Bei den bestehenden Häusern, bei Straßen und Wegen, die mit Schlackesteinen gebaut worden sind, wird aber kein Handlungsbedarf gesehen.

Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung

Für den Gehalt der Rohkohlen an Radionukliden der Uran-Radium-Reihe wurden weite Bereiche ermittelt: Der Mittelwert liegt bei 20 Bq Ra-226 pro kg Trockenmasse (Bereich 1-1000 Bq/kg). In den in der Bundesrepublik Deutschland verwendeten und hier auch zum großen Teil geförderten Steinkohlen wurden im Mittel 33 Bq Ra-226 pro kg Trockenmasse (Bereich 4,7-145 Bq/kg) ermittelt. Ca. 22 % der in Deutschland verwendeten Kohle werden aus Südafrika, USA und Australien importiert. In diesen Kohlen können bis zu 10-fach höhere Uran- und Thoriumgehalte vorkommen. In der ostdeutschen Braunkohle wurden 1 - 13 Bq Ra-226 pro kg Trockenmasse bestimmt.

Durch Verbrennung erfolgt eine Konzentration der Radioaktivität in der Asche bis auf das 10-fache, 0,4 - 8% der Asche können in Abhängigkeit von der Anlage als Flugasche freigesetzt werden. Die Exposition durch Inhalation, Ingestion und externe Bestrahlung liegt im μ Sv-Bereich.

Wegen der Uranparagenese der im Raum Freital (Sachsen) abgebauten Steinkohlen weisen die Rückstände dieser Kohle besonders hohe spezifische Aktivitätswerte auf. In Schlacken und Aschen wurden 400 bis 4000 Bq/kg Ra-226 gemessen. Durch die Verwendung für Baugründungen, Verfüllungen und als Bauzuschlagsstoffe treten erhöhte Strahlenexpositionen beim Aufenthalt auf Flächen und in Gebäuden auf. Sie werden im Zusammenhang mit dem zu Bauzwecken verwendeten Haldenmaterial untersucht.

Die Verwendung von Asche aus der Kohleverbrennung als Bauzuschlagstoff führt in Deutschland bei mittleren spezifischen Aktivitäten von ca. 150 Bq Ra-226 pro kg nur zu einer geringen Erhöhung der externen Strahlenexposition in Gebäuden. Eine signifikante Erhöhung der Radonkonzentration in der Luft konnte nicht nachgewiesen werden.

2.3.2 Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition *(Limitation of the radiation exposure to the population due to technologically enhanced natural radiation exposure)*

Erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung aus natürlichen Strahlenquellen z. B. die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in bestehenden Wohnungen, Strahlenexpositionen durch Hinterlassenschaften des Bergbaus können nur durch nachträgliche Sanierungsmaßnahmen reduziert werden. Die SSK hat in den 1994 veröffentlichten Empfehlungen "Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden" [7] den Bereich über 1000 Bq/m³ als Sanierungsbereich ausgewiesen (siehe Teil I 2.1). Werden derartige Konzentrationen festgestellt, muss im Einzelfall entschieden werden, mit welcher Maßnahme eine zuverlässige Reduzierung der Radonkonzentration erreicht werden kann.

Vorbeugend kann eine Strahlenexposition durch erhöhte Radonkonzentrationen bei Neubauten in Gebieten mit erhöhtem Radonvorkommen durch Standortwahl und radongeschützte Bauweise vermieden werden.

Durch natürliche Radioaktivität im Trinkwasser werden keine nennenswerten Strahlenexpositionen verursacht (nur einige µSv). Nur im selten auftretenden Fall von Radonkonzentrationen im Bereich von 500 Bq/l könnte sich über den Ingestionspfad eine jährliche effektive Dosis von ca. 0,25 mSv ergeben, die praktisch zu einer Verdoppelung der inneren Strahlenexposition durch die Ingestion führen würde.

Bei Besuchen von Höhlen und Schaubergwerken sowie bei Kuraufenthalten in Radon-Heilbädern und Heilstollen tritt wegen der gegenüber den Beschäftigten wesentlich kürzeren Expositionszeiten für die Bevölkerung keine wesentlich erhöhte Strahlenexposition auf. Die Besucher sind deshalb von einer Strahlenschutzkontrolle ausgenommen.

Anders als beim Flugpersonal überschreitet auch bei häufig fliegenden Passagieren die jährliche effektive Dosis 0,3 mSv nicht.

Bei Nutzung industrieller Reststoffe, der Verarbeitung von Mineralien und Erzen und der Verwendung von mineralischen Phosphatdüngern ist bei durchschnittlichen spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide im Allgemeinen nur eine geringe individuelle Exposition zu erwarten.

Literatur

- [1] SSK: Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide. Stellungnahme der SSK. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 10, Gustav Fischer Verlag 1997
- [2] ICRP: Protection against radon-222 at home and at work. Annals of the ICRP 23(2). ICRP Publication 65, Pergamon Press Oxford
- [3] SSK: Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 1, Gustav Fischer Verlag 1997
- [4] ICRP: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 1(3). ICRP Publication 26, Pergamon Press Oxford
- [5] ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford

- [6] SSK: Bewertung der Verwendung von Kupferschlacke aus dem Mansfelder Raum. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 31, S. 1, Gustav Fischer Verlag 1997
- [7] SSK: Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 36, S. 23, Gustav Fischer Verlag 1997

2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften Sachsens, Thüringens und Sachsen-Anhalts (*Mining relics of Saxony, Thuringia, and Saxony-Anhalt*)

Nach § 11 Abs. 8 Strahlenschutzvorsorgegesetz obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für diese Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis 1999 das Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)" durchgeführt. Mit dem Projekt wurden die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht mehr im Besitz der Wismut GmbH befinden, systematisch untersucht und bewertet.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeiten, in die ca. 8000 bergbauliche Objekte und Flächen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt einbezogen waren, haben wesentlich zur Klärung der Strahlenschutzsituation in den betroffenen Bergbauregionen beigetragen. Die für den Strahlenschutz zuständigen Landesbehörden wurden bereits während der Laufzeit des Projektes über wichtige Ergebnisse unterrichtet. Ein Beispiel sind Informationen über mögliche Expositionsschwerpunkte, die umgehend weitergeleitet wurden, damit erforderlichenfalls kurzfristig Schutzmaßnahmen eingeleitet werden konnten.

Im Ergebnis des Projektes hat sich gezeigt, dass die untersuchten Verdachtsflächen zum weitaus überwiegenden Teil frei von bergbaubedingter radioaktiver Kontamination sind. Von den untersuchten bergbaulichen Objekten, bei denen es sich in der Mehrzahl um Halden handelt, müssen lediglich für ca. 20% Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungseinschränkungen erwogen werden. Die Entscheidungen hierüber müssen für jeden Einzelfall auf der Grundlage standortspezifischer Untersuchungen und Expositionspfadanalysen getroffen werden. Die im Projekt gewonnenen Daten und Informationen sind dafür eine wesentliche Grundlage.

Die Daten und Informationen sowie die Ergebnisse der auf der Grundlage von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommenen radiologischen Bewertung wurden in Datenbanksystemen gespeichert, die auch von den Landesbehörden genutzt werden können. Im Jahr 2001 hat das BfS die Auswertung der Untersuchungen fortgesetzt. Die Ergebnisse werden in ausführlichen, auf Verdachtsflächen bezogenen Berichten zusammengefasst, die den zuständigen Behörden zur Verfügung gestellt werden. Mit der öffentlichen Präsentation der Ergebnisse wurde 2001 begonnen.

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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg, vom Deutschen Wetterdienst, Offenbach am Main und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig

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

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

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

Das Radioaktivitätsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) umfasst 40 Messorte. Dort werden unter anderem nuklidspezifisch messende γ -Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der an das Luftaerosol gebundenen Radioaktivität und Messgeräte zur Erfassung der künstlichen α - und der künstlichen β -Aktivität betrieben. Darüber hinaus stehen Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung. Zusätzlich sind 38 der Stationen dieses Messnetzes mit stationären Messsystemen zur In-situ- γ -Spektrometrie ausgerüstet. An 20 dieser Messorte werden γ -spektrometrisch gasförmiges Iod, an Aerosolpartikel gebundene Radionuklide und die Radioaktivität im Niederschlag ermittelt.

Die Spurenanalyse ist die Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen und ermöglicht die Beobachtung von Langzeittrends in der Umweltradioaktivität. Diese Messungen werden vom Institut für Atmosphärische Radioaktivität (IAR) des BfS, dem DWD, der PTB und der GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg durchgeführt. Im Rahmen dieser Spurenanalyse werden die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der bodennahen Luft und im Niederschlag mittels γ -Spektrometrie, α -Spektrometrie und integraler Messung der β -Aktivität bestimmt, wobei den Messungen teilweise radiochemische Aufbereitungsschritte vorangehen. Die Messergebnisse aus diesen Bereichen stellen einen weiteren Schwerpunkt dieses Berichts dar.

Die erhobenen Daten werden nicht nur für IMIS verwendet, sondern auch im Rahmen der europaweiten Überwachung der Umweltradioaktivität für die EU-Berichterstattung bereitgestellt.

In diesem 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.

Verfahren zur Mittelwertbildung in der Spurenanalyse

Im Bereich der Überwachung der Umweltradioaktivität in der Atmosphäre liegen die Ergebnisse häufig unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) des Messverfahrens. Daraus resultiert das Problem, Mittelwerte aus signifikanten Werten und den erreichten Nachweisgrenzen zu bilden. Auf Grund der Beschaffenheit der in die Mittelung einfließenden Daten scheidet die üblichen statistischen Mittelungsverfahren aus. Daher wurde im Kreis der Vertreter der Spurenmessstellen das nachfolgend beschriebene Verfahren zur Berechnung von Mittelwerten (Monats-, Quartals-, Jahresmittelwerte) festgelegt:

- Als Mittelwert (MW) wird das arithmetische Mittel betrachtet
- Die Nachweisgrenze (NWG) bezieht sich auf die einzelne Messung
- Die Standardmessunsicherheit des einzelnen Messwertes (STU) enthält die Messunsicherheit sowie die systematische Unsicherheit

Treten im Mittelungszeitraum Datenausfälle auf, wird die Berechnung mit den verbleibenden Werten durchgeführt und der berechnete Mittelwert unter Angabe der Anzahl der berücksichtigten Werte als nicht repräsentativ gekennzeichnet.

Vier Fälle sind zu unterscheiden:

Fall		Mittelwert	Standardmessunsicherheit
1.	Alle Werte > NWG	MW	(MW der STU) × 2
2.	Alle Werte < NWG	MW der NWG, MW wird mit „<“ gekennzeichnet	Keine Angabe
3.	Anzahl Messwerte ≥ Anzahl NWG	MW aus Messwerten und NWG (werden als Messwerte behandelt)	(MW der STU der Messwerte) × 2
4.	Anzahl Messwerte < Anzahl NWG	MW aus Messwerten und NWG (werden als Messwerte behandelt), MW wird mit „<“ gekennzeichnet	Keine Angabe

Der Vergleich der nach dem beschriebenen Verfahren errechneten Mittelwerte (Quartalsmittelwerte aus Wochenwerten bzw. Monatsmittelwerten, Jahresmittelwerte aus Wochenwerten, Monatsmittelwerten bzw. Quartalsmittelwerten) unter Verwendung von Routinedaten aus der Spurenanalyse zeigt, dass die berechneten Mittelwerte weniger als 2% voneinander abweichen.

Ergebnisse der Routinemessungen

Sowohl die Messwerte der γ -Ortsdosisleistung als auch die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind auch im Jahr 2001 verglichen mit denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

**3.1.1 Radioaktive Stoffe in der Luft
(Radioactive substances in air)**

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

Als über 8 Messstationen errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt- β -Aktivität der Luft resultiert für das Jahr 2001 ein Wert von <0,84 mBq/m³ (Vorjahreswert: <0,83 mBq/m³).

Edelgase

Die am IAR des BfS durchgeführten Messungen des radioaktiven Xenons ergaben keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von Xenon-133 an den 6 deutschen Probenentnahmestationen lagen wie schon in den vergangenen Jahren zwischen 1 und 100 mBq/m³ Luft. Als Beispiel ist in Abbildung 3.1-2 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration der radioaktiven Xenonisotope in Freiburg dargestellt.

Insgesamt ist der Grundpegel von Krypton-85 im Jahr 2001 weiter leicht angestiegen (vgl. Abbildung 3.1-3); der Medianwert im Jahr 2001 lag z. B. für Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen - bei 1,6 Bq/m³ Luft. Der jährliche Anstieg von ca. 30 mBq/m³ Luft entspricht dem globalen Trend, da die Freisetzungsrate von Kr-85 größer ist als seine Zerfallsrate. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf Emissionen aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Derartige kurzzeitige Erhöhungen können mit Hilfe der parallel zur wöchentlichen Probennahme durchgeführten täglichen Probennahme genauer analysiert werden. In einigen Fällen - abhängig von den

meteorologischen Verhältnissen - ist es möglich, unter Zuhilfenahme von Trajektorienrechnungen den Emittenten zu bestimmen. Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/a und ist gegenüber den durchschnittlichen Werten der Ortsdosisleistung in Deutschland vernachlässigbar.

An den deutschen Sammelstationen zeigte jedoch die Aktivitätskonzentration von Kr-85 mit Werten von ca. 1,35 Bq/m³ Luft in den Wochenproben im Zeitraum von Mitte Dezember 2000 bis Anfang Mai 2001 einen extrem ruhigen Verlauf (s. Abbildung 3.1-3). Eine mögliche Ursache ist die im Vergleich zu den Vorjahren reduzierte Emission von Kr-85 aus der französischen Wiederaufbereitungsanlage der Cogema in La Hague. In den folgenden Sammelzeiträumen zeigten alle deutschen Sammelstationen wieder - im Vergleich zum Jahresbeginn - höhere Kr-85 Aktivitätskonzentrationen. In der 21. Kalenderwoche (21.05. – 28.05.2001) wurde an der Sammelstation Braunschweig ein Maximalwert von 15,3 Bq/m³ Luft Kr-85 nachgewiesen. In der folgenden Woche wurde an der Sammelstation Freiburg ein Wert von 2,9 Bq/m³ Luft erreicht. In diesem Zeitraum herrschte überwiegend Westwind.

Gammaskpektrometrie / Spurenanalyse

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

Für die Messstellen Offenbach und Berlin werden die Messergebnisse von Beryllium-7 und Cs-137 in Abbildung 3.1-4 grafisch dargestellt. Für künstliche Radionuklide wurden im Wesentlichen keine Aktivitätskonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenzen von ca. 3 mBq/m³ Luft (für Cs-137) festgestellt. Das kosmogene Be-7 lag mit Werten zwischen 2,0 und 4,3 mBq/m³ Luft im üblichen Schwankungsbereich. An allen Messstationen lässt sich eine Erhöhung der Be-7-Aktivitätskonzentration im 2. Quartal feststellen, die auf einen erhöhten Austausch von Luftmassen zwischen Stratosphäre und Troposphäre im Frühjahr (Tropopausenbruch) zurückzuführen ist.

Aus den Messungen der GSF am Probenahmeort München-Neuherberg ergaben sich ähnliche Aktivitätskonzentrationen wie im vorangegangenen Jahr. Die Aktivitätskonzentration für Cs-137 lag im Jahresmittel bei 1,53 μ Bq/m³ Luft (s. Tabelle 3.1.1-1b). Bedingt durch die regional unterschiedlich starke Deposition von Aktivität beim Reaktorunfall von Tschernobyl werden im Mittel in Bayern etwas höhere Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 als an den anderen Probenahmeorten in Deutschland beobachtet.

An der Station Schauinsland lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,4 μ Bq/m³ Luft (vgl. Abbildung 3.1-5, Tabelle 3.1.1-1), was in etwa dem Vorjahreswert entspricht. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei 0,2 μ Bq/m³ Luft. Außer Cs-137 wurden keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen.

Auch in Braunschweig liegen die Messergebnisse im Bereich der Werte, die auch in den vorangegangenen Jahren beobachtet wurden. Signifikante Aktivitätskonzentrationen frischer Spalt oder Aktivierungsprodukte wurden 2001 nicht nachgewiesen. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt hier bei 0,04 μ Bq/m³ Luft.

Im Berichtsjahr war der zeitliche Verlauf des Cs-137-Gehaltes in der Luft ähnlich wie in den vorherigen Jahren. In der Silvesterwoche 2000/2001 wurde durch den Eintrag von Kalium-40 aus dem Silvesterfeuerwerk ein deutlicher Anstieg der Aktivitätskonzentration von K-40 in der Luft beobachtet, der zur Jahreswende 2001/2002 kaum sichtbar ist (vgl. Abbildung 3.1-6). Bei der an Silvester 2001/2002 herrschenden Westwindlage erreichten praktisch keine Luftmassen aus Braunschweig die im Nordwesten des Stadtgebietes gelegene PTB.

In der Darstellung der langjährigen Messreihen für die natürlichen γ -strahlenden Radionuklide wird eine stetig abnehmende Aktivitätskonzentration des K-40 beobachtet, die durch die allgemeinen Maßnahmen zur Luftreinhaltung erklärt werden kann.

Radiochemie

Für eine Auswahl von 8 Messstellen des DWD wurden zur Ermittlung von Monatsmittelwerten jeweils vier Wochenfilter zusammengefasst und zur Bestimmung von Radionukliden des Urans, Plutoniums und Strontiums radiochemisch untersucht. Die erreichten Nachweisgrenzen für Uran- und Plutoniumisotope betragen zwischen 0,01 und 0,5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft, für Strontium-90 zwischen 0,2 und 0,4 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft. Im November wurde in einer Probe der Messstation Berlin eine Konzentration von 0,7 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ U-234 festgestellt. Die Quelle konnte nicht ermittelt werden.

Die in Braunschweig regelmäßig durchgeführte Bestimmung von Plutonium in Quartalsproben zeigt für 2001 eine weiterhin abnehmende Aktivitätskonzentrationen der Pu-Isotope Pu-239/240 und Pu-238. Wie Abbildung 3.1-7 zeigt, lag der Wert für die Aktivitätskonzentration des Pu-238 im ersten Quartal 2001 erstmalig unter der Erkennungsgrenze.

Tabelle 3.1.1-1 Einzelnuclid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft
(*Activity concentrations of individual nuclides in ground level air*)

- a) Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig
Probennahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1993	3145	0,32	10,3	1,06	379
1994	3393	0,34	10,2	0,86	300
1995	3446	0,34	9,9	0,82	309
1996	3161	0,31	9,9	0,95	400
1997	3669	0,37	11,0	0,73	372
1998	3235	0,35	8,4	0,63	298
1999	3361	0,42	8,8	0,50	319
2000	2855	0,35	9,7	0,50	283
2001	2609	0,32	8,3	0,41	273
Januar	1899	0,19	6,7	0,66	414
Februar	2135	0,22	5,3	0,45	250
März	2348	0,30	5,4	0,57	350
April	2752	0,43	6,5	0,39	225
Mai	4087	0,66	11,8	0,79	261
Juni	3076	0,46	8,4	0,26	175
Juli	3476	0,45	12,6	0,27	275
August	3884	0,42	14,5	0,35	455
September	1739	0,17	6,6	0,22	208
Oktober	2776	0,23	10,6	0,42	256
November	1551	0,13	4,9	0,18	139
Dezember	1583	0,15	6,0	0,40	273

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1993	3900	0,4	0,3	4,6	560
1994	3500	0,4	< 0,2	2,3	420
1995	3500	0,4	< 0,12	2,3	425
1996	3300	0,4	0,1	2,4	480
1997	3400	0,4	< 0,1	2,2	480
1998	3660	0,5	< 0,11	2,1	400
1999	3320	0,4	< 0,06	1,5	380
2000	3030	0,4	< 0,06	1,7	420
2001	2820	0,34	< 0,059	1,53	417
Januar	2010	0,18	< 0,061	4,42	570
Februar	2160	0,28	< 0,057	1,92	329
März	2180	0,38	< 0,050	1,41	225
April	2780	0,37	< 0,058	0,94	195
Mai	3950	0,56	< 0,058	1,80	390
Juni	3430	0,50	< 0,061	0,56	266
Juli	3810	0,34	< 0,071	0,81	347
August	4220	0,34	< 0,066	0,81	565
September	2080	< 0,23	< 0,060	0,78	371
Oktober	3320	0,19	< 0,060	1,57	855
November	1730	< 0,14	< 0,057	1,45	392
Dezember	2180	< 0,11	< 0,052	1,88	502

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

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

Zeit-Raum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
1993	2570	<10	3076	<2,7	2928	<2,5	2940	<10
1994	2720	<10	3789	<2,7	3001	<1,8	3920	<1,6
1995	3028	<3,9	3667	<3,6	3772	<3,6	3942	<2,3
1996	3080	<4,4	2850	<3,6	3360	< 2,1	3480	<2,4
1997	3368	<3,1	3709	<3,4	3751	<2,2	3878	<2,1
1998	2646	<3,4	3443	<3,1	3066	<3,2	3140	<2,0
1999	2750	<3,6	3460	<3,0	3590	<3,3	3360	<1,8
2000	2168	<3,3	2892	<2,9	2898	<3,8	2735	<1,6
2001	1930	<3,4	2760	<3,1	2870	<3,7	2550	<2,2
Januar	1720	<3,2	2360	<3,3	2080	<3,4	1680	<2,4
Februar	1770	<2,8	2400	<2,9	2350	<3,6	2250	<1,5
März	2190	<3,2	1970	<2,7	2870	<3,8	2020	<2,4
April	2100	<3,5	2680	<2,5	2530	<3,6	2520	<2,0
Mai	2440	<3,7	3940	<3,4	3650	<2,6	3640	<2,5
Juni	1990	<3,4	3740	<3,1	3430	<4,2	3680	<2,3
Juli	2100	<3,8	3650	<3,3	4160	<4,1	3600	<2,0
August	2250	<3,6	3870	<3,8	3800	<4,4	3360	<2,6
Sept.	1150	<3,1	1810	<2,6	1860	<3,3	1730	<1,5
Oktober	2310	<4,5	2850	<3,6	3360	<4,3	3040	<2,9
November	1650	<2,9	1640	<3,3	2080	<3,6	1890	<2,6
Dezember	1500	<3,1	2250	<2,6	2240	<3,1	1180	<2,2

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

- d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz - Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg
 Probennahmestelle: Messstation Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	
	Be-7	Cs-137
1993	3390	0,81
1994	3525	0,61
1995	3348	0,63
1996	3454	0,4
1997	4916	0,6
1998	4488	1,0
1999	4106	0,63
2000	3754	0,47
2001	3494	0,43
Januar	3088	0,54
Februar	2851	0,49
März	2373	0,31
April	2804	0,33
Mai	3950	0,72
Juni	4208	0,37
Juli	4609	0,38
August	5187	0,38
September	2510	0,27
Oktober	4640	0,61
November	2556	0,37
Dezember	3134	0,38

- e) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz - Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg
 Probennahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m^3			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1993	1205	4,7	1243	5,4
1994	1301	4	1327	5
1995	1526	5,0	1544	5,5
1996	1438	5,1	1466	5,9
1997	1580	5,8	1590	6,8
1998	1623	5,1	1619	4,3
1999	1699	3,6	1736	5,0
2000	1641	3,4	1692	5,6
2001	1573	5,4	1593	8,0
Januar	1333	3,3	1368	2,7
Februar	1363	12,7	1373	20,2
März	1293	3,7	1311	3,4
April	1321	6,9	1344	9,2
Mai	1898	6,4	1602	6,7
Juni	1855	8,7	1898	24,1
Juli	1486	4,9	1492	12,5
August	1642	4,0	1680	4,1
September	1950	5,2	2048	5,4
Oktober	1374	2,9	1443	2,3
November	1700	3,5	1820	3,4
Dezember	1655	2,4	1741	2,3

3.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Radioactive substances in precipitation)

Zur Fortsetzung einer langjährigen Messreihe wurde die Gesamt- β -Aktivität im Niederschlag ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2001 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 64 Bq/m^2 (Vorjahreswert: 62 Bq/m^2). Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 3.1-8 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Niederschlag zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2001 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 3.1-9. Zum Vergleich sind in Abbildung 3.1-10 die Ergebnisse des Vorjahres dargestellt.

Monatssammelproben von 40 Messstationen wurden γ -spektrometrisch analysiert. Exemplarisch sind die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in den Tabellen 3.1.2-1a) und 1b) zusammengefasst. Es wurden Messwerte für Cs-137 zwischen 1 und $2,5 \text{ mBq/l}$ ermittelt. In dieser Größenordnung liegt auch die Nachweisgrenze des Messverfahrens. In den Vorjahren wurden vergleichbare Werte beobachtet; diese Werte lassen sich durch "wash-out"-Prozesse von resuspendiertem Cs-137 im Bodenmaterial erklären. Exemplarisch zeigt Abbildung 3.1-11 für die Messstationen Offenbach und Berlin Messergebnisse für die Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Messwerte von ca. $0,2 \text{ Bq/m}^2$ bzw. Nachweisgrenzen in dieser Größenordnung ermittelt, während für kosmogenes Be-7 deutlich höhere Messwerte zwischen 50 und 150 Bq/m^2 bestimmt wurden.

Radiochemische Analysen an Niederschlagsproben von 8 Messstationen wurden zur Bestimmung von Strontium-90 und einzelner Isotope der α -Strahler (Uran, Plutonium) sowie für Tritium durchgeführt. Die erreichten Nachweisgrenzen betragen für Strontium-90 ca. $0,4$ bis $1,6 \text{ mBq/l}$, für die α -Strahler zwischen $0,01$ bis $0,08 \text{ mBq/l}$ und für Tritium 3 bis 5 Bq/l .

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

a) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1993	597,0	831	<1,52	619,2	971	<0,76
1994	533,3	849	<0,61	703,6	991	<0,47
1995	607,3	1117	<4,0	925,8	1258	<0,83
1996	551,0	559	<2,25	462,9	629	<0,67
1997	436,2	580	<0,53	526,2	628	<1,25
1998	636,5	813	<0,61	623,5	766	<1,50
1999	645,3	832	<0,60	449,2	408	<1,30
2000	736,2	828	<0,55	590,3	449	<1,48
2001	826,1	725	<0,84	596,2	501	1,7
Januar	86,2	51	<0,09	36,7	52	0,18
Februar	64,5	74	<0,07	32,9	32	0,10
März	130,6	109	<0,09	40,4	52	0,14
April	60,6	56	<0,08	33,2	30	0,15
Mai	25	27	0,06	33,9	49	0,14
Juni	66,5	91	<0,12	64,7	49	0,15
Juli	38,6	39	<0,08	46,3	53	0,07
August	60,2	58	<0,09	40,5	24	0,16
September	114,9	85	<0,08	130,9	67	0,05
Oktober	39,8	47	<0,03	42	18	0,16
November	103,8	70	<0,06	47,2	33	0,19
Dezember	35,4	20	<0,06	47,5	42	0,20

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

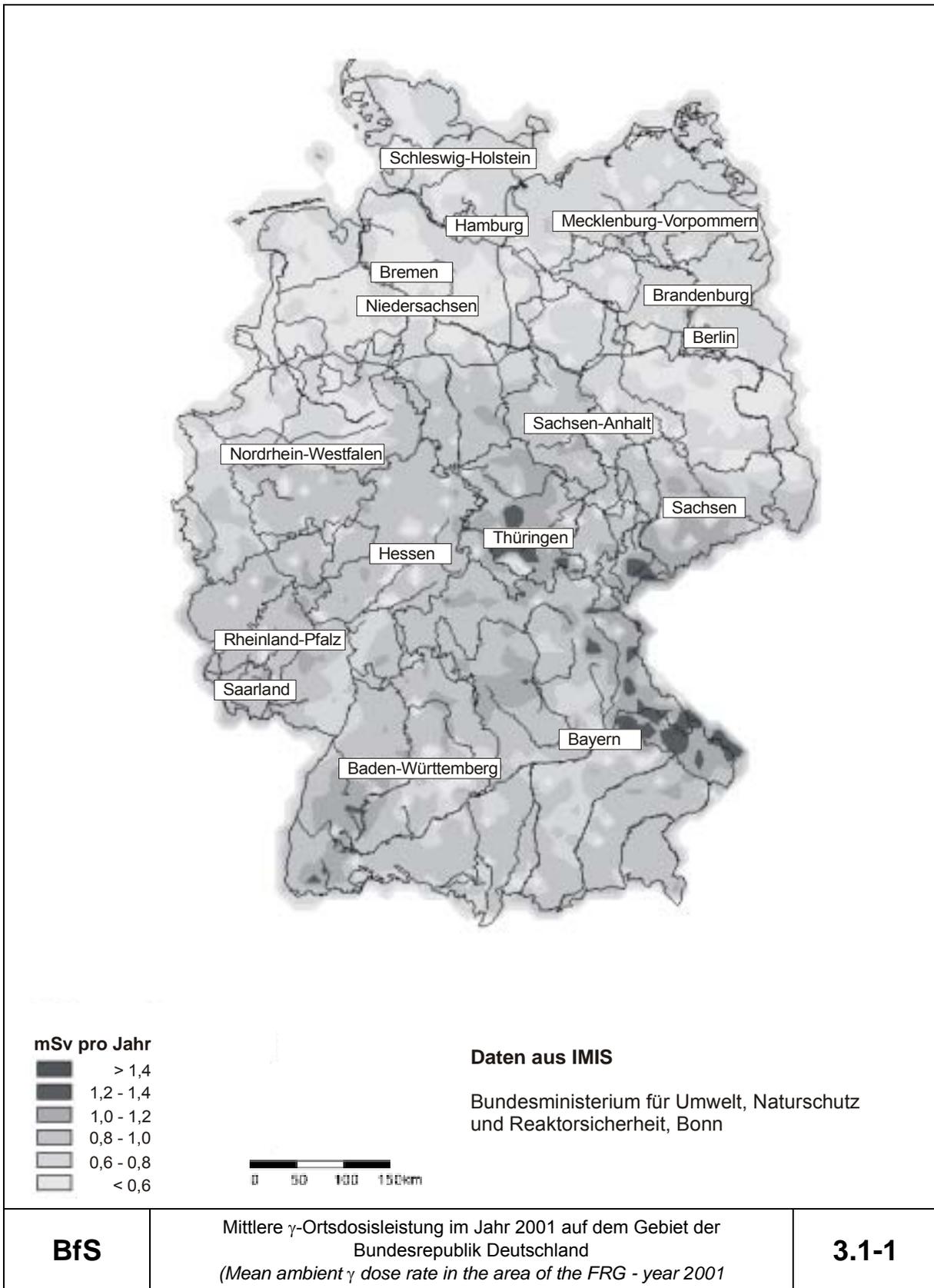
b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

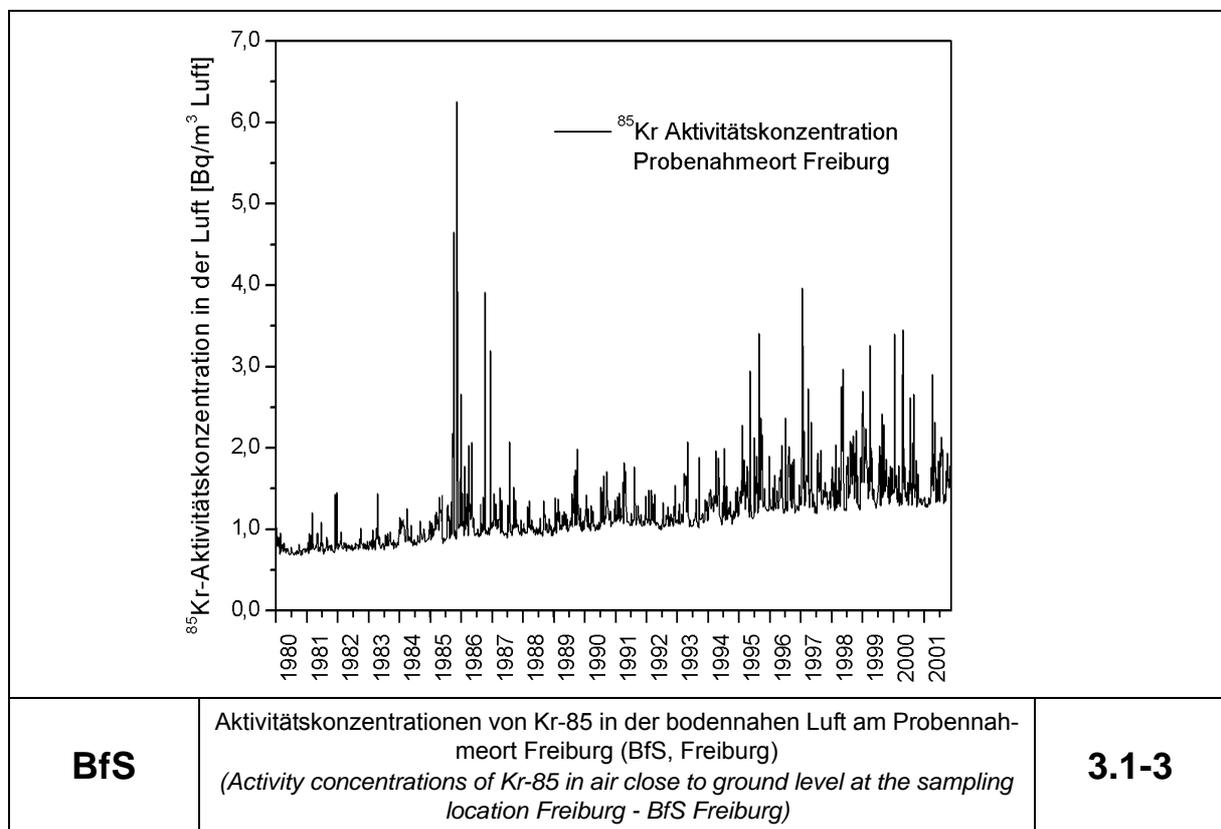
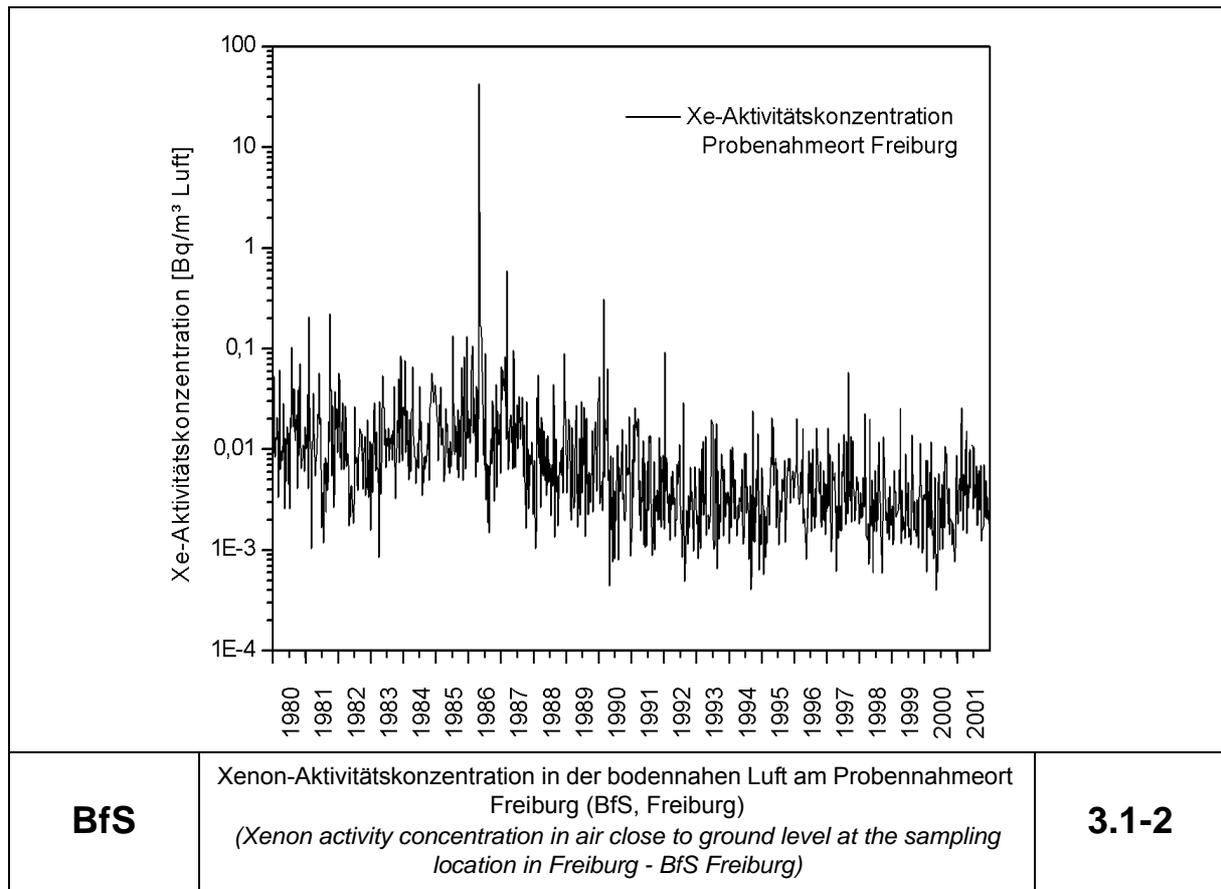
Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1996	620,6	2080	<0,03	530,6	611	<0,56
1997	658,1	904	<0,88	638,4	582	<0,79
1998	892,6	1251	<0,96	1049,1	820	<1,14
1999	833,1	1005	<1,01	908,0	766	<1,05
2000	946,3	1028	<1,06	736,3	619	<1,08
2001	950,8	935	<1,24	874,9	515	<1,22
Januar	70,6	38	<0,08	36,1	25	<0,08
Februar	79,4	81	<0,14	56,7	24	<0,11
März	101,4	86	<0,11	50,9	43	0,13
April	93	82	<0,07	60,2	47	<0,11
Mai	43,5	60	<0,15	29,6	22	<0,12
Juni	88	105	<0,10	60,1	13	<0,10
Juli	64,3	87	<0,10	89,7	86	<0,09
August	43,8	31	<0,10	94,2	73	<0,08
September	140,1	138	<0,06	178	59	<0,11
Oktober	52,9	55	<0,16	59,9	20	<0,12
November	104,4	95	<0,09	82,7	68	<0,09
Dezember	69,4	78	<0,08	76,8	34	<0,07

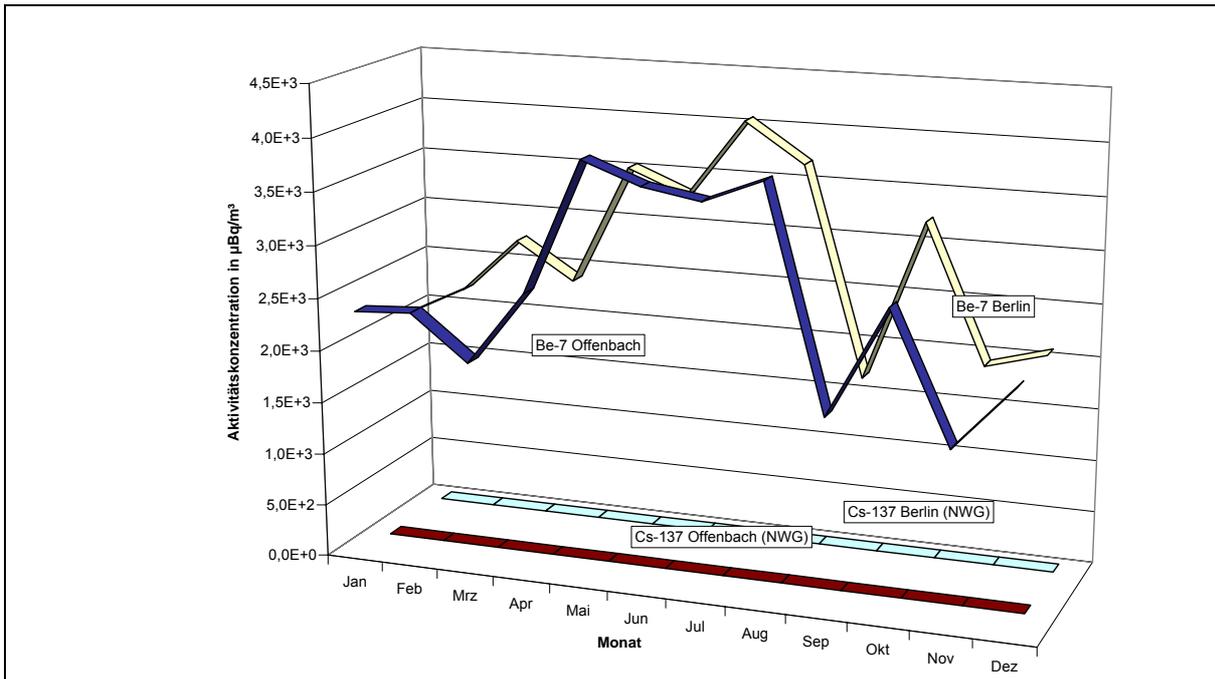
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

3.1.3 γ -Ortsdosisleistung (Ambient γ dose rate)

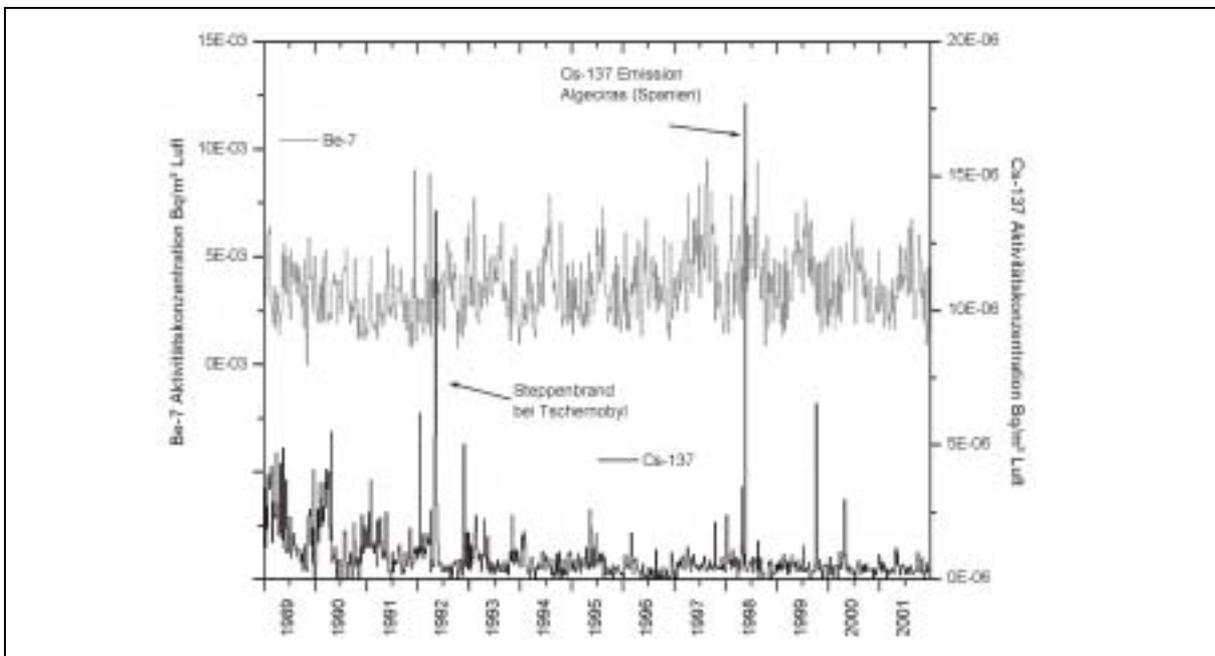
Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ -Ortsdosisleistung sind im Vergleich zum Vorjahr unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 75 und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,67 bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Werte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden (vgl. Abbildung 3.1-1, Karte der mittleren γ -Ortsdosis 2001). Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 Höhenmeter. Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurück zu führenden Beiträge (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten mit In-situ Messfahrzeugen nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden aus der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ -Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von 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.



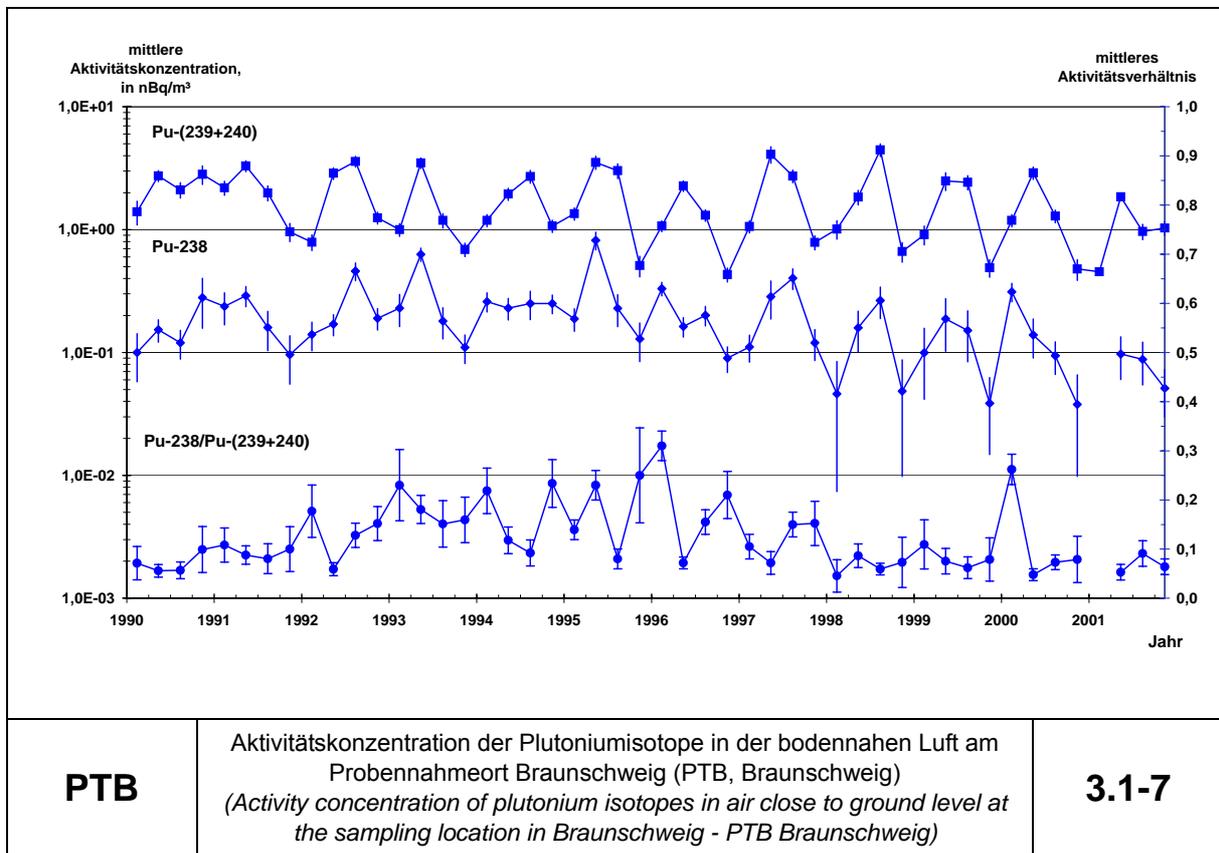
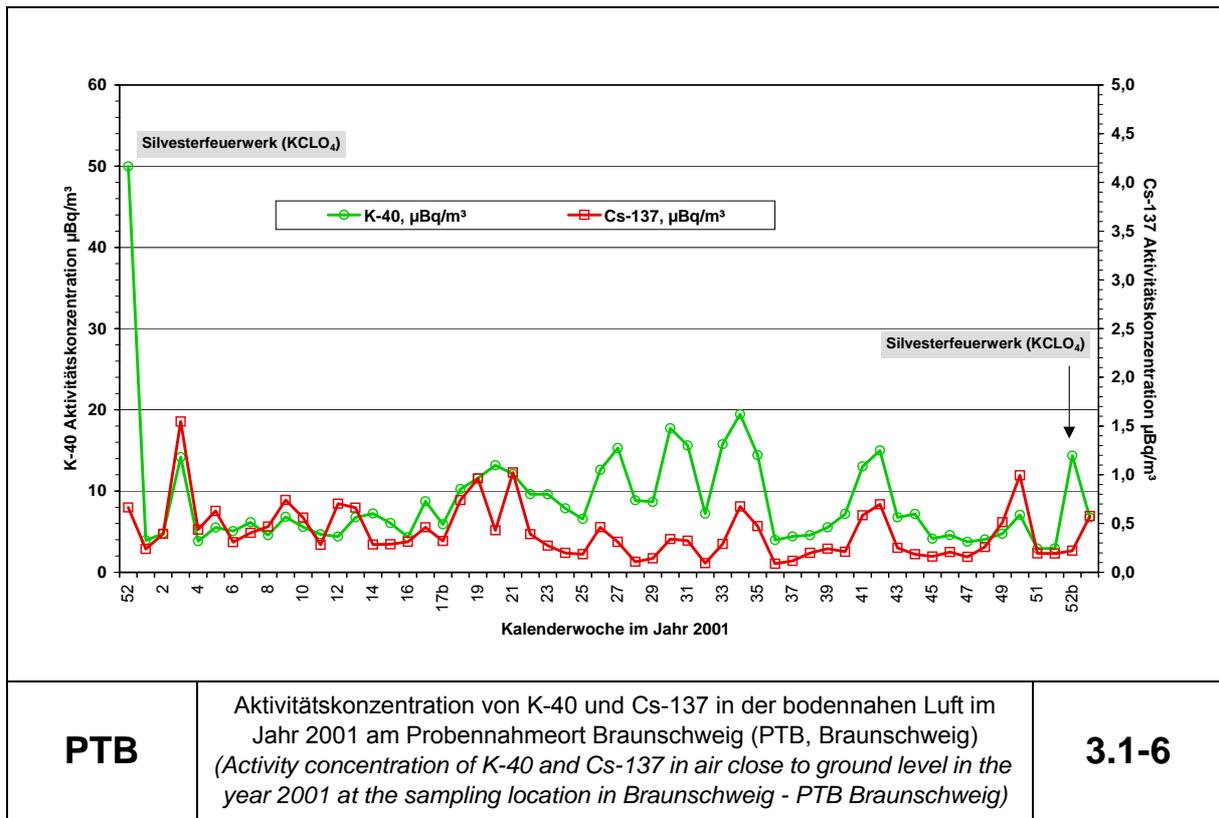


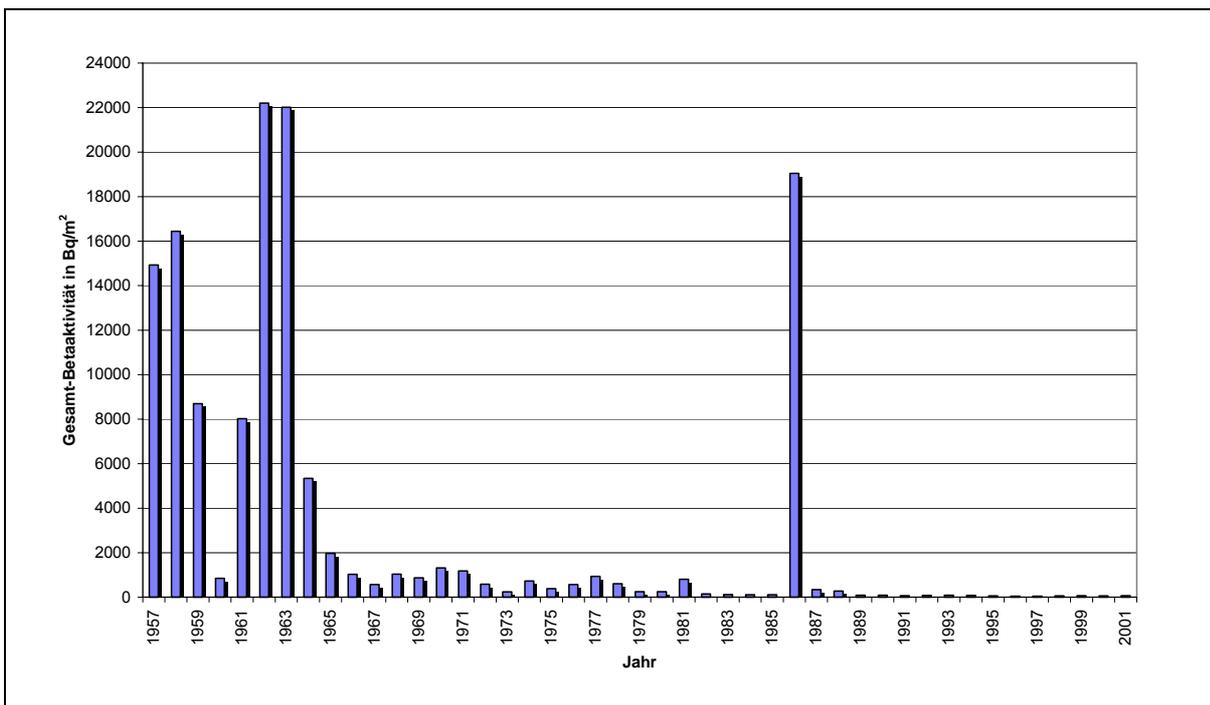


DWD	Einzelnuclid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft DWD-Stationen Berlin und Offenbach 2001 <i>(Activity concentrations of individual nuclides in air close to ground level at the DWD stations in Berlin and Offenbach in the year 2001)</i>	3.1-4
------------	---	--------------

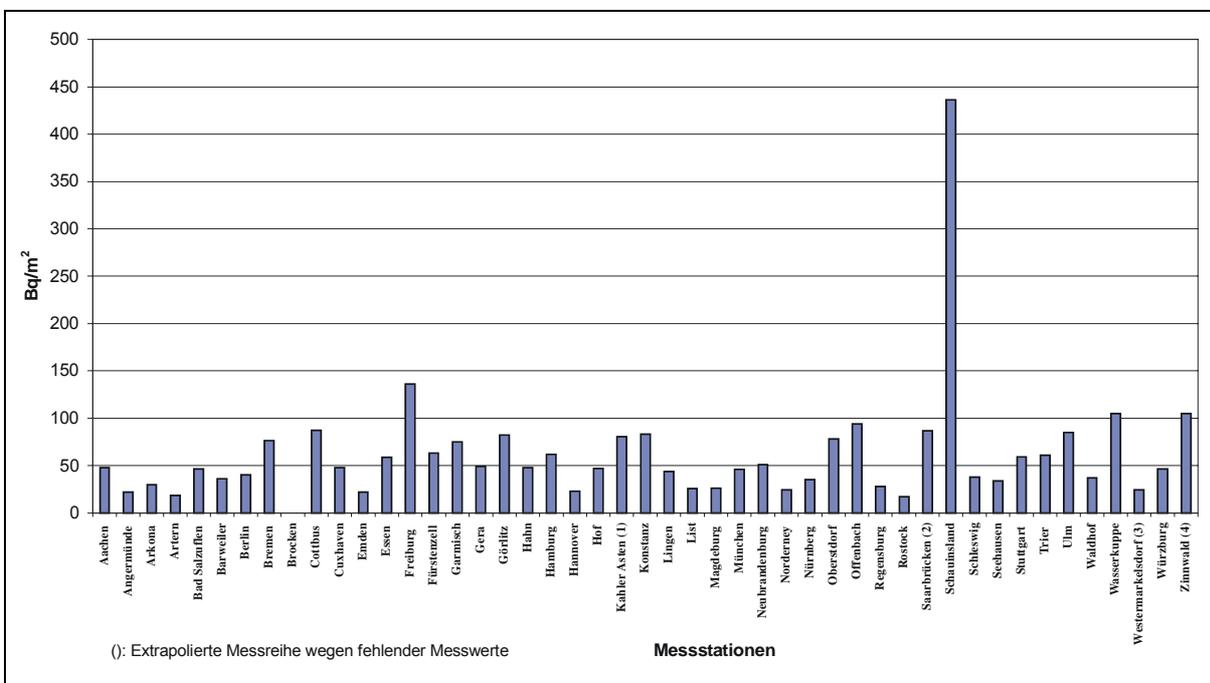


BfS	Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft (Probennahmeort: Messstation Schauinsland) <i>(Activity concentration of Cs-137 and Be-7 in air close to ground level)</i> <i>(Sampling location: Schauinsland measuring station)</i>	3.1-5
------------	---	--------------

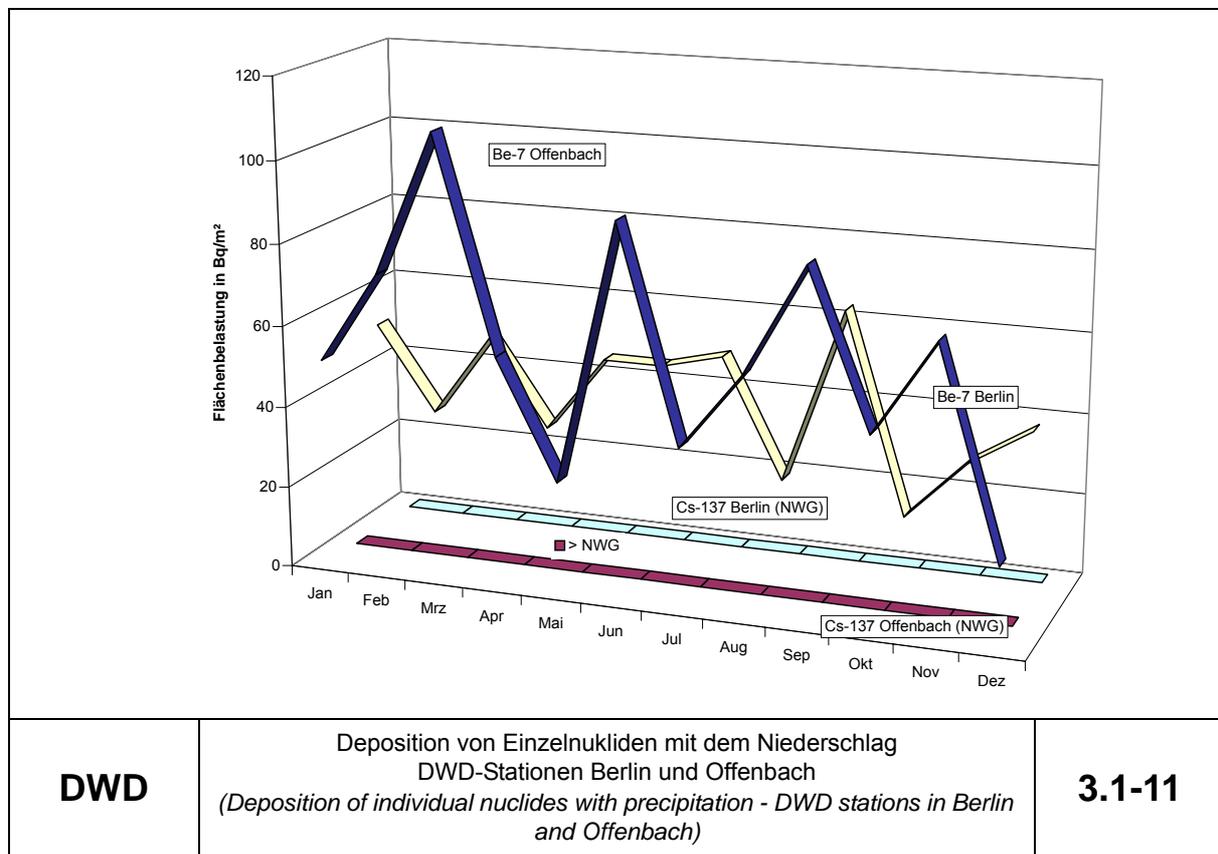
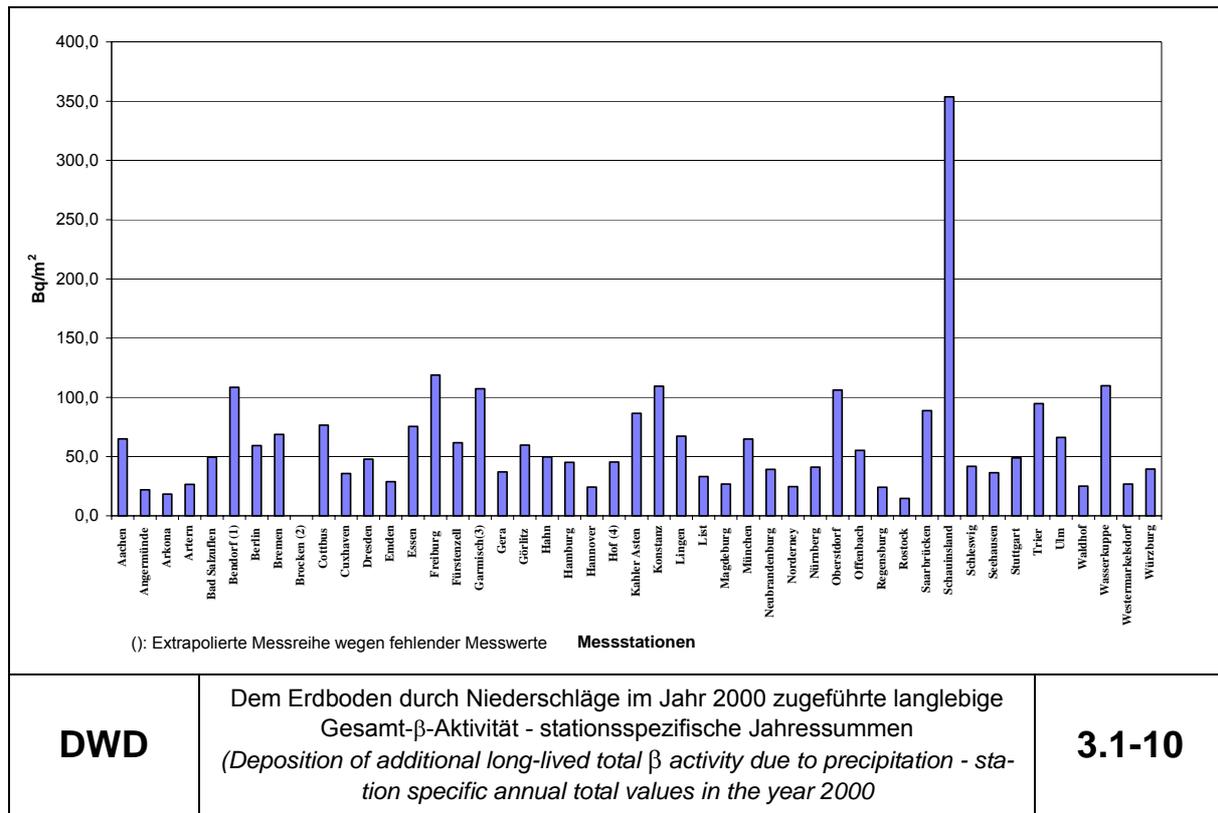




DWD	Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag - Jahresmittelwert der Jahressummen an den DWD-Messstationen (Long-lived total β activity in precipitation - Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations)	3.1-8
------------	---	--------------



DWD	Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2001 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 2001)	3.1-9
------------	--	--------------



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

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

Die Wanderung der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur geringfügig. Gelegentliche stärkere Schwankungen der Messwerte an einem Ort, wie sie in den nachfolgenden Tabellen für Boden und Bewuchs ausgewiesen sind, gehen auf Probenahmeprobleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war natürlich auch im Jahr 2001 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 2001 wurden verschiedene Pflanzenproben γ -spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

In Tabelle 3.2-4 sind für die genannten Aufwuchsarten die ermittelten Mittel- und Maximalwerte für Cs-137 und - sofern vorhanden - Sr-90 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die entsprechenden Mittelwerte für die beiden Vorjahre aufgenommen worden. In einigen Ländern wurden weitere im Inland erzeugte und importierte Futtermittelrohstoffe überwacht. Entsprechende Messergebnisse sind in den Tabellen 3.2-5 und 3.2-6 zusammengestellt. In Tabelle 3.2-7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 3.2-5 bis 3.2-7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

**Tabelle 3.2-1 Radioaktive Kontamination von Weideböden
(Radioactive contamination of pasture soil)**

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1999	0 - 10	11	56,8	183,0	2	2,9	3,8
	2000	0 - 10	15	45,4	116,0	9	2,0	5,3
	2001	0 - 10	12	53,4	143,0	10	< 1,7	2,8
Bayern	1999	0 - 10	19	122,4	496,0	17	3,1	7,5
	2000	0 - 10	19	130,4	492,0	17	2,4	5,5
	2001	0 - 10	19	129,0	509,0	17	2,3	5,2
Berlin	1999	0 - 10	3	19,9	33,0	1	0,5	
	2000	0 - 10	3	14,5	21,6	1	0,9	
	2001	0 - 10	4	15,3	22,8	1	0,7	
Brandenburg	1999	0 - 10	13	17,2	34,0	4	2,0	2,7
	2000	0 - 10	13	19,6	77,0	4	2,4	2,9
	2001	0 - 10	13	16,2	75,0	4	2,1	2,3
Bremen	1999	0 - 10	1	57,7		1	2,2	
	2000	0 - 10	1	17,4		1	0,8	
	2001	0 - 10	1	6,3		1	0,3	
Hamburg	1999	0 - 10	2	20,7	29,1	1	0,9	
	2000	0 - 10	2	22,5	30,6	1	0,6	
	2001	0 - 10	a)	a)	a)	a)	a)	a)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1999	0 - 10	5	19,3	39,7	3	3,1	5,8
	2000	0 - 10	5	22,2	39,1	3	2,1	3,2
	2001	0 - 10	5	23,1	38,6	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	0 - 10	8	22,1	62,1	4	1,0	1,6
	2000	0 - 10	8	18,9	30,1	4	1,9	3,1
	2001	0 - 10	8	22,7	69,7	4	1,2	2,8
Niedersachsen	1999	0 - 10	12	34,1	74,8	5	8,1	14,9
	2000	0 - 10	13	31,6	71,6	a)	a)	a)
	2001	0 - 10	9	33,3	67,1	4	18,2	36,1
Nordrhein-Westfalen	1999	0 - 10	21	20,9	66,7	5	1,5	2,8
	2000	0 - 10	16	18,3	44,1	4	3,0	7,3
	2001	0 - 10	20	19,1	87,1	4	2,4	6,1
Rheinland-Pfalz	1999	0 - 10	7	19,9	31,3	3	1,9	2,8
	2000	0 - 10	7	18,4	27,2	3	0,7	0,8
	2001	0 - 10	7	18,4	22,6	3	1,5	2,5
Saarland	1999	0 - 10	3	21,4	35,8	2	2,5	2,5
	2000	0 - 10	3	15,1	24,7	2	2,1	2,4
	2001	0 - 10	3	12,8	13,6	2	3,1	4,4
Sachsen	1999	0 - 10	6	22,7	74,9	5	2,4	4,4
	2000	0 - 10	-	-	-	5	1,9	3,1
	2001	0 - 10	6	20,4	61,2	5	1,6	2,7
Sachsen-Anhalt	1999	0 - 10	4	8,3	17,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 10	4	9,9	19,0	a)	a)	a)
	2001	0 - 10	2	8,6	12,0	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	1999	0 - 10	7	19,4	28,4	5	1,8	2,1
	2000	0 - 10	7	12,5	20,5	5	1,4	2,2
	2001	0 - 10	7	13,5	21,0	5	0,9	1,2
Thüringen	1999	0 - 10	6	28,4	41,5	3	2,0	2,3
	2000	0 - 10	6	26,5	41,2	3	1,5	1,9
	2001	0 - 10	6	22,5	33,5	2	1,2	1,7

a) Daten lagen nicht vor

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

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1999	0 - 30	8	32,2	100,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 30	10	24,0	87,8	a)	a)	a)
	2001	0 - 30	5	17,4	29,9	a)	a)	a)
Bayern	1999	0 - 30	25	32,2	188,0	3	3,0	6,9
	2000	0 - 30	25	32,2	165,0	3	2,0	3,8
	2001	0 - 30	25	32,3	199,0	3	2,6	6,1
Berlin	1999	0 - 30	1	9,2	-	1	1,1	-
	2000	0 - 30	1	9,3	-	1	1,4	-
	2001	0 - 30	1	9,1	-	1	1,5	-
Brandenburg	1999	0 - 30	9	16,4	43,0	3	0,8	1,0
	2000	0 - 30	9	16,1	47,0	3	0,8	1,4
	2001	0 - 30	9	14,9	37,0	3	0,8	1,0
Bremen	1999	0 - 30	2	26,1	47,8	1	2,5	-
	2000	0 - 30	2	7,2	12,8	1	1,4	-
	2001	0 - 30	2	51,6	61,7	1	1,0	-
Hamburg	1999	0 - 30	1	8,9	-	1	1,3	-
	2000	0 - 30	1	7,8	-	1	0,9	-
	2001	0 - 30	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Hessen	1999	0 - 30	7	10,1	19,2	2	0,8	1,3
	2000	0 - 30	7	11,4	22,5	2	1,1	1,1
	2001	0 - 30	7	10,9	21,8	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	0 - 30	7	11,6	24,5	2	0,8	1,1
	2000	0 - 30	7	11,6	26,1	2	1,7	3,1
	2001	0 - 30	7	13,5	28,4	2	1,3	2,1
Niedersachsen	1999	0 - (25/30)	26	15,1	44,9	9	1,7	5,0
	2000	0 - (25/30)	26	12,6	26,4	9	2,0	8,5
	2001	0 - (25/30)	8	10,2	12,2	8	8,1	15,2
Nordrhein-Westfalen	1999	0 - 30	20	10,7	19,8	5	1,3	2,8
	2000	0 - 30	19	10,2	18,5	5	2,6	9,2
	2001	0 - 30	20	9,8	16,6	4	4,2	13,8
Rheinland-Pfalz	1999	0 - (25/30)	7	11,4	27,9	3	1,3	1,6
	2000	0 - (25/30)	7	12,2	32,5	3	1,1	2,0
	2001	0 - (25/30)	7	9,7	23,5	3	0,8	1,1
Saarland	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2001	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen	1999	0 - 30	6	13,4	40,6	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2001	0 - 30	6	10,8	22,8	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	1999	0 - 30	14	19,8	60,1	5	1,8	3,1
	2000	0 - 30	13	18,8	52,6	5	1,3	1,8
	2001	0 - 30	13	20,4	69,2	5	0,9	1,7

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Schleswig-Holstein	1999	0 - 30	5	9,1	11,6	a)	a)	a)
	2000	0 - 30	5	10,5	18,4	a)	a)	a)
	2001	0 - 30	5	13,1	29,7	a)	a)	a)
Thüringen	1999	0 - 30	6	11,3	19,0	2	1,6	1,6
	2000	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,6	1,6
	2001	0 - 30	6	10,6	16,8	a)	a)	a)

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

Tabelle 3.2-3 Radioaktive Kontamination von Waldböden
(Radioactive contamination of forest soil)

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1999	0 - 10	4	74,2	132,0	2	7,4	13,0
	2000	0 - 10	4	49,0	77,4	2	1,7	2,9
	2001	0 - 10	4	49,2	80,1	a)	a)	a)
Niedersachsen	1999	0 - 10	1	29,0		1	2,5	
	2000	0 - 10	1	47,0		1	9,1	
	2001	0 - 10	1	74,6		1	9,5	
Nordrhein-Westfalen	1999	0 - 10	6	69,9	204,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 10	6	65,3	217,0	a)	a)	a)
	2001	0 - 10	6	75,4	191,0	a)	a)	a)

a) Daten lagen nicht vor

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

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1999	18	< 1,9	11,3	7	3,3	5,2
	2000	21	< 1,8	16,9	10	2,3	6,1
	2001	20	< 1,4	5,2	9	1,2	2,6
Bayern	1999	80	< 5,8	94,6	30	2,8	11,1
	2000	80	< 4,8	86,9	30	2,6	9,4
	2001	80	< 5,7	67,4	30	2,2	6,4
Berlin	1999	3	0,9	1,5	1	0,4	
	2000	2	1,0	1,5	1	1,6	
	2001	3	2,7	6,4	a)	a)	a)
Brandenburg	1999	26	< 4,3	43,0	6	1,9	5,5
	2000	26	< 2,5	19,0	8	2,0	4,3
	2001	26	< 4,4	48,0	8	1,9	5,7
Bremen	1999	2	< 1,4	2,2	1	0,5	
	2000	3	< 0,3	< 0,5	1	0,4	
	2001	2	0,9	1,0	1	0,5	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hamburg	1999	2	2,6	1,5	1	3,7	
	2000	2	1,7	1,9	1	2,4	
	2001	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Hessen	1999	5	< 0,7	1,2	2	4,3	5,0
	2000	4	< 0,3	0,4	a)	a)	a)
	2001	4	< 0,8	1,3	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	25	< 5,0	49,5	12	1,7	5,3
	2000	18	< 5,8	58,5	10	2,1	4,1
	2001	25	< 3,1	25,2	12	1,8	4,1
Niedersachsen	1999	47	5,1	39,7	22	1,4	3,5
	2000	75	< 2,4	58,8	21	2,8	7,3
	2001	60	< 4,7	104,0	23	2,7	5,8
Nordrhein-Westfalen	1999	20	< 5,1	83,1	9	2,3	7,6
	2000	17	< 1,4	6,9	9	1,1	2,3
	2001	18	< 3,2	4,5	5	0,9	2,6
Rheinland-Pfalz	1999	8	< 0,9	2,4	4	2,1	3,1
	2000	8	< 1,0	2,5	4	2,4	3,8
	2001	8	< 0,6	0,9	4	2,2	3,2
Saarland	1999	2	0,8	1,1	1	1,4	
	2000	2	< 0,2	< 0,2	1	0,3	
	2001	2	< 0,9	1,5	2	< 1,0	< 2,0
Sachsen-Anhalt	1999	18	< 2,0	11,2	7	2,0	4,9
	2000	18	< 1,9	16,9	7	1,2	2,6
	2001	16	< 1,0	3,2	7	1,1	1,7
Sachsen	1999	20	< 1,3	9,5	9	2,2	3,2
	2000	9	< 0,6	1,7	10	1,5	3,1
	2001	20	< 0,9	7,2	10	1,3	2,1
Schleswig-Holstein	1999	20	< 0,9	2,8	10	2,4	3,8
	2000	20	< 1,7	5,0	10	2,6	5,1
	2001	20	< 1,0	2,8	10	2,6	4,2
Thüringen	1999	12	< 0,6	2,9	6	1,3	2,1
	2000	12	< 0,6	1,9	6	1,7	3,2
	2001	12	< 0,8	2,6	a)	a)	a)

a) Daten lagen nicht vor

Tabelle 3.2-5 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	1999	248	< 0,5	5,6	1	0,5	
	2000	202	< 0,5	18,1	1	0,2	
	2001	190	< 0,5	4,7	1	0,1	
Futterrüben	1999	37	< 0,6	2,2	-		
	2000	39	< 0,6	7,5	-		
	2001	27	< 0,5	2,0	-		
Futtergetreide	1999	140	< 0,2	1,5	-		
	2000	150	< 0,2	1,8	-		
	2001	139	< 0,2	0,6	-		
Futterkartoffeln	1999	77	< 0,4	3,1	-		
	2000	74	< 0,6	6,1	-		
	2001	76	< 0,4	3,7	-		
Erbsen	1999	5	< 0,28	0,6	-		
	2000	3	< 0,2	0,4	-		
	2001	1	< 0,1		-		

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	1999	11	< 0,14	0,26
	2000	5	< 0,13	0,29
	2001	8	0,47	1,27
Mais, Maisprodukte	1999	12	< 0,37	1,54
	2000	14	< 0,25	< 0,3
	2001	16	< 0,28	< 0,4
Maniok, Tapioka	1999	6	< 0,28	0,78
	2000	8	< 0,19	< 0,3
	2001	2	< 0,43	0,55
Ölkuchen, Ölschrote	1999	68	< 0,36	2,00
	2000	84	< 0,48	3,62
	2001	70	< 0,38	3,0
Erbsen	1999	a)	a)	a)
	2000	2	< 0,3	< 0,3
	2001	1	< 0,3	-
Leguminosen, Lupinen	1999	6	< 0,52	1,60
	2000	4	0,5	0,7
	2001	1	< 0,3	-
Äpfel	1999	8	< 0,52	1,52
	2000	a)	a)	a)
	2001	a)	a)	a)
Rübenschnitzel	2001	2	0,6	0,75

(Fortsetzung Tabelle)

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Tier-, Fleisch-, Knochenmehl	1999	7	< 0,32	0,68
	2000	a)	a)	a)
	2001	a)	a)	a)
Tiernebenprodukte	1999	a)	a)	a)
	2000	1	< 0,24	-
	2001	1	< 0,12	-

a) Daten lagen nicht vor

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	1999	117	< 15,8	530,0
	2000	115	< 12,9	337,0
	2001	112	< 14,2	542,0
Nadeln	1999	59	< 46,2	1120,0
	2000	58	< 45,2	876,0
	2001	55	< 52,8	1300,0
Gras	1999	113	< 39,0	2600,0
	2000	106	< 46,2	2510,0
	2001	107	< 34,6	2070,0
Farne (Thüringen)	1999	2	64,8	126,0
	2000	2	61,0	117,0
	2001	2	61,2	119,0

3.3 Gewässer (*Bodies of water*)

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

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Im vorliegenden Beitrag wird über die Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß dem Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das Jahr 2001 berichtet. Die bezüglich der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern mitgeteilten Ergebnisse sind in Kapitel II Abschnitt 1.4.3 zusammengefasst und bewertet. Hinweise zu den insgesamt erhaltenen Ergebnissen von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI können der Tabelle 3.3.1-1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr Messungen mit insgesamt 15 721 Einzelwerten (2000: 16 004) von 451 (2000: 454) Probenentnahmestellen an Gewässern ausgewertet. Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte der Radionuklidkonzentrationen berechnet und zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten in Tabelle 3.3.1-2 (Fließgewässer) bzw. Tabelle 3.3.1-3 (Seen und Talsperren) den Mittelwerten des Vorjahres gegenübergestellt. Daneben sind die Anzahl der Werte (N) und ggf. die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) aufgelistet. Als maximaler Einzelwert ist bei gemischten Datenreihen (Messwerte und Angaben der Nachweisgrenze) der maximale gemessene Wert angegeben. Mittelwerte bei gemischten Datenreihen sind stets derart ermittelt worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit "<" gekennzeichnet, so wurden auch die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der jeweiligen Auftragung "nn" angegeben.

Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen der Radionuklidkonzentrationen in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 3.3.1-2 bis 3.3.1-5 beispielhaft aufgezeigt.

Bei den in Binnengewässern derzeit nachweisbaren künstlichen Radionukliden handelt es sich im Wesentlichen um Tritium (H-3), Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137). H-3 stammt, neben einem natürlichen Anteil, aus dem Fallout der Kernwaffenversuche der 50er und 60er Jahre sowie aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen und Isotopen verarbeitender Betriebe. Die langlebigen Spaltprodukte Sr-90 und Cs-137 wurden hauptsächlich durch den Fallout der Kernwaffenversuche und als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl in 1986 – hier insbesondere Cs-137 – in die Gewässer eingetragen. In geringerem Ausmaß treten die Aktivierungsprodukte Kobalt-58 (Co-58) und Kobalt-60 (Co-60) aus kerntechnischen Anlagen sowie das kurzlebige Iod-131 (I-131) aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen auf.

Mit der Überwachung der dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff können Einträge und Veränderungen radioaktiver Kontaminationen in Gewässern relativ kurzzeitig und empfindlich erfasst werden. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikular gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Bühnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Die Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium zu betrachten; hier lassen sich die langfristigen Auswirkungen radioaktiver Kontaminationen aufzeigen. Infolge Resuspension von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwassersituationen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide möglich.

Bewertung und Messergebnisse

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2001 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser

Oberflächenwasser wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb von 5 Bq/l auf; sie unterschritten so die Nachweisgrenze des Routinemessprogramms (RMP) von 10 Bq/l. Selbst in Flüssen, in die von kerntechnischen Anlagen H-3 eingeleitet wurde, betrug die Jahresmittelwerte nur bis 23 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit unter der Nachweisgrenze des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte - außer H-3 - waren im Fernbereich der Emittenten im Allgemeinen nicht nachweisbar. Lediglich in der Ems (Terborg) wurde Co-60 in geringfügigen Konzentrationen bis 0,01 Bq/l gemessen. I-131 trat sporadisch auf mit Gehalten (Einzelwerte) bis 0,03 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für Uran-234 (U-234), U-235 und U-238 durchweg mittlere Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen unter 0,0005 und 0,1 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 konnten oberhalb der Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l nicht nachgewiesen werden.

Schwebstoffe

In Schwebstoffen erreichte Cs-137 überwiegend mittlere Konzentrationen von unter 100 (meist unter 50) Bq/kg TM. Von einzelnen Seen wurden - wie in den vergangenen Jahren - höhere Werte für Cs-137 berichtet: z. B. Steinhuder Meer 423 und Starnberger See 327 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 konnte in Rhein und Mosel über große Fließstrecken verfolgt werden: die Jahresmittelwerte betrug bis 9,1 Bq/kg TM. In Elbe, Ems, Jadebusen, Mosel und Rhein gemessene Co-60-Gehalte lagen im Mittel unter 3 Bq/kg TM und damit unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. Für I-131-Konzentrationen wurden Einzelwerte von meist bis 50 Bq/kg TM gemessen; höhere Werte bis mehrere hundert Bq/kg TM stammten von der Spree (Berlin).

Sedimente

Zur Darstellung der langfristigen Kontamination von Gewässern sind Untersuchungen von Sedimenten besonders angezeigt. Cs-137 trat hier überwiegend in mittleren Gehalten bis 100 Bq/kg TM auf. In einzelnen Seen lagen auch hier immer noch höhere mittlere Konzentrationen an Cs-137 vor: z. B. Schollener See (Sachsen-Anhalt), Schaalsee und Lanker See (Schleswig-Holstein) 380, 205 bzw. 275 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten aus Elbe, Mosel, Neckar, Rhein und Weser in mittleren Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2001 mit dem des Vorjahres insgesamt vergleichbar. Die langlebigen künstlichen Radionuklide werden nur in größeren Zeiträumen merklich abnehmen. Die Veränderungen können - von radioaktivem Zerfall und Statistik abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden strömungsabhängigen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden, die zu sehr inhomogenen Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen können. In Sedimenten variieren die Radionuklidkonzentrationen - wie bei anderen Schadstoffen auch - zudem mit der Korngrößenverteilung. Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet werden.

Strahlenexposition

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

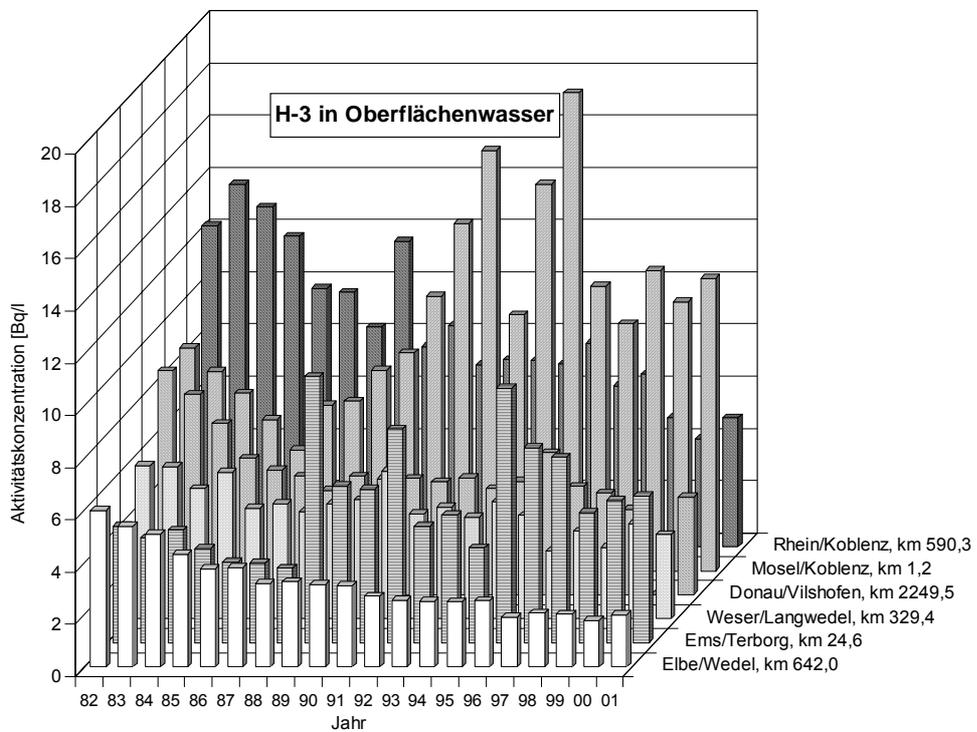
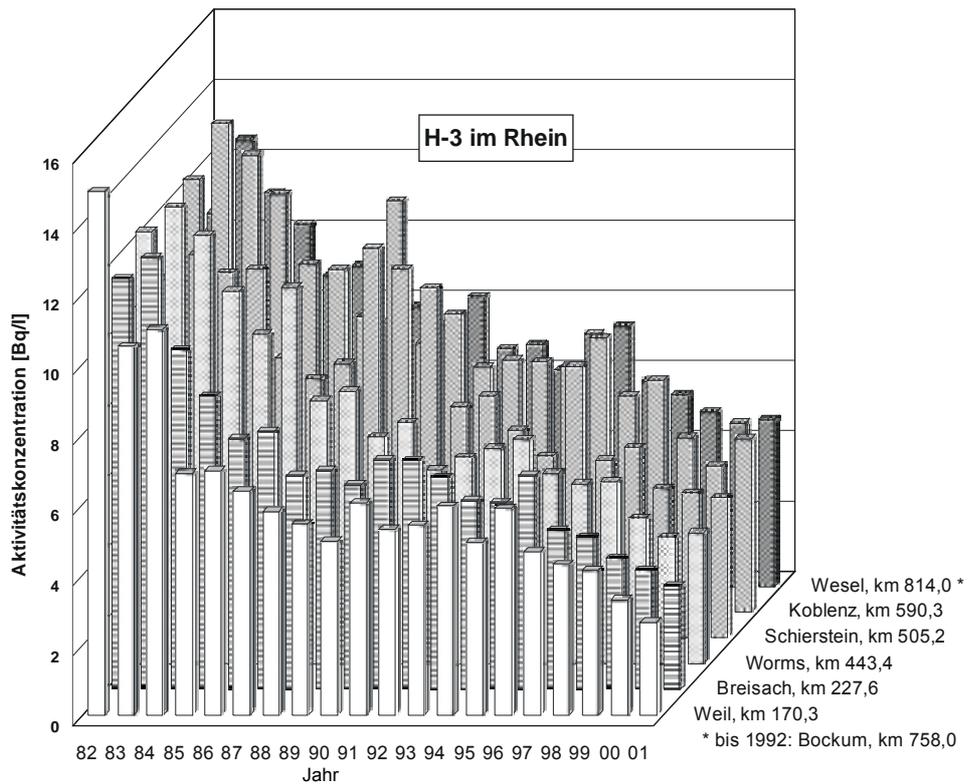
Oberflächenwasser

Nimmt man eine Kontamination von Oberflächenwasser mit H-3 von 5 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,005 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) auf dem "Trinkwasser"-Pfad zu ca. 0,21 μ Sv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Allein der von dem natürlichen Radionuklid Kalium-40 (K-40) für einen typischen Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 1,7 μ Sv/a fast eine Größenordnung höher.

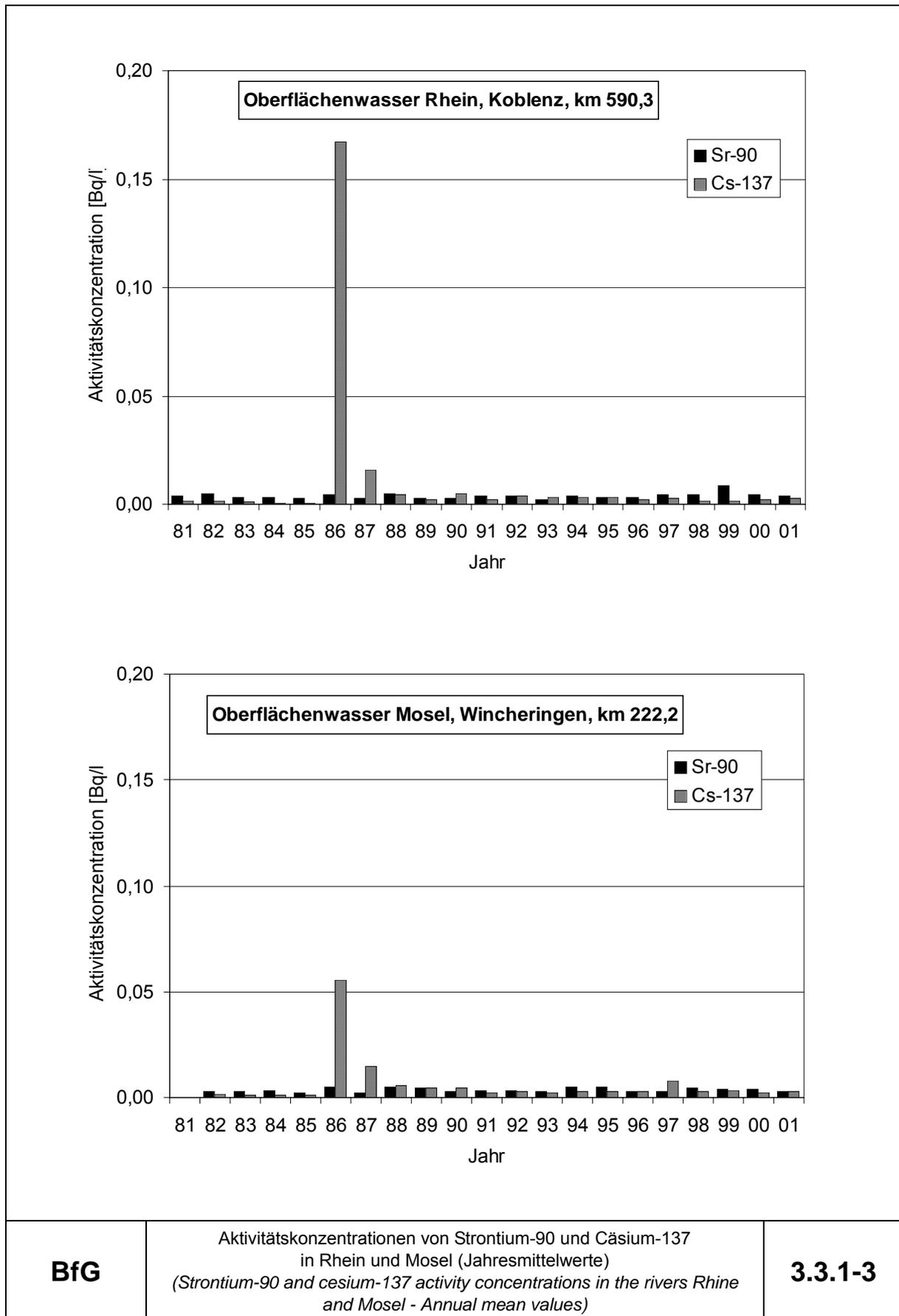
Sedimente

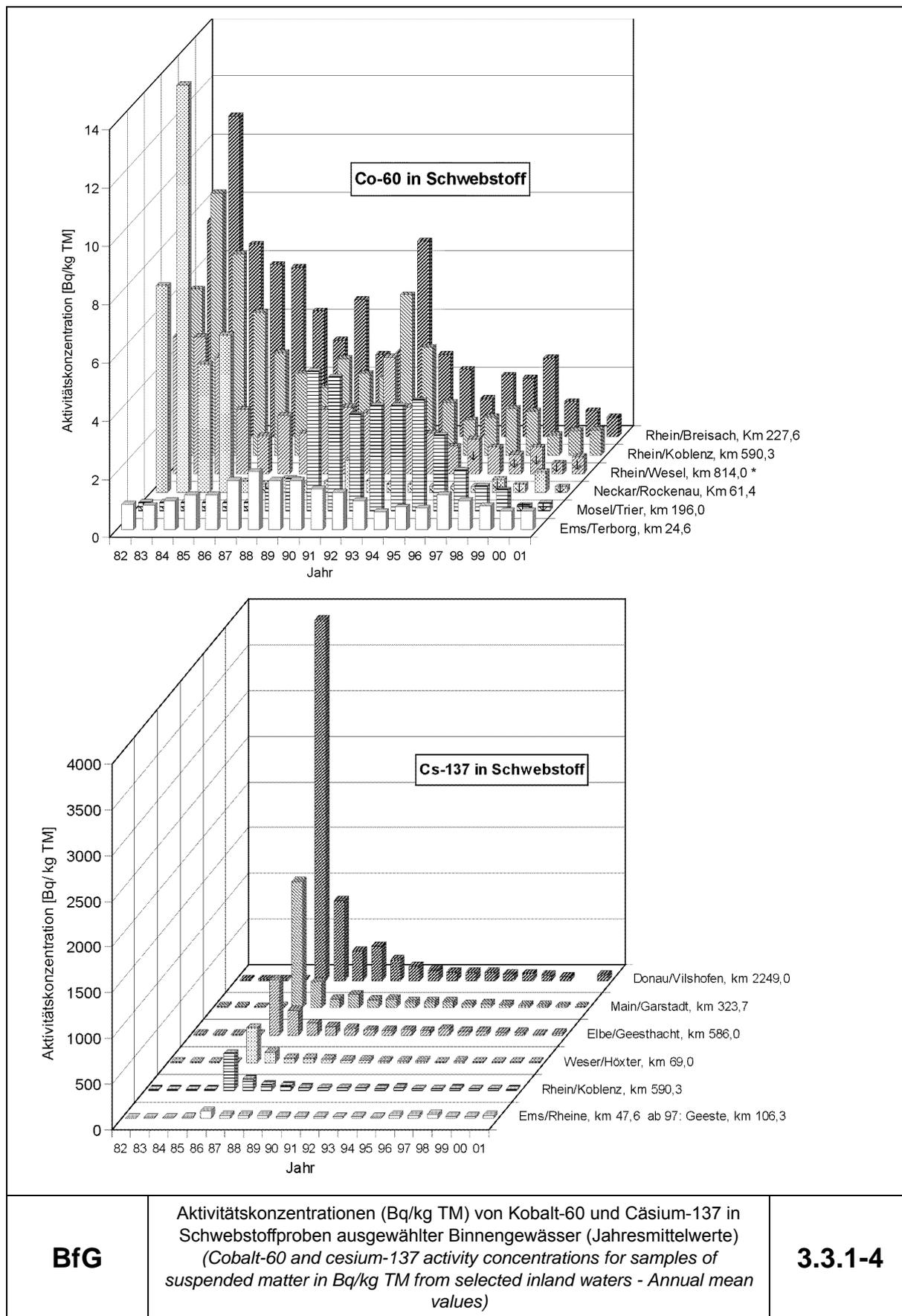
Insbesondere Cs-137 war auch 2000 noch in Sedimenten aus deutschen Binnengewässern deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau immer noch mittlere Cs-137-Gehalte von 125 Bq/kg TM gemessen werden. Unter Zugrundelegung dieses Wertes kann die auf dem Expositionspfad "Aufenthalt auf Spülfeldern" für Standardbedingungen für Erwachsene zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 13 $\mu\text{Sv/a}$ abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag für diesen Expositionspfad der natürlichen Radionuklide K-40, Radium-226 (Ra-226) und Thorium-232 (Th-232) für typische Gehalte mit insgesamt ca. 45 $\mu\text{Sv/a}$ deutlich höher.





BfG	<p>Tritiumgehalt (Bq/l) in Oberflächenwasser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte) <i>(Tritium content (Bq/l) in samples from selected inland waters - Annual mean values)</i></p>	3.3.1-2
------------	--	----------------





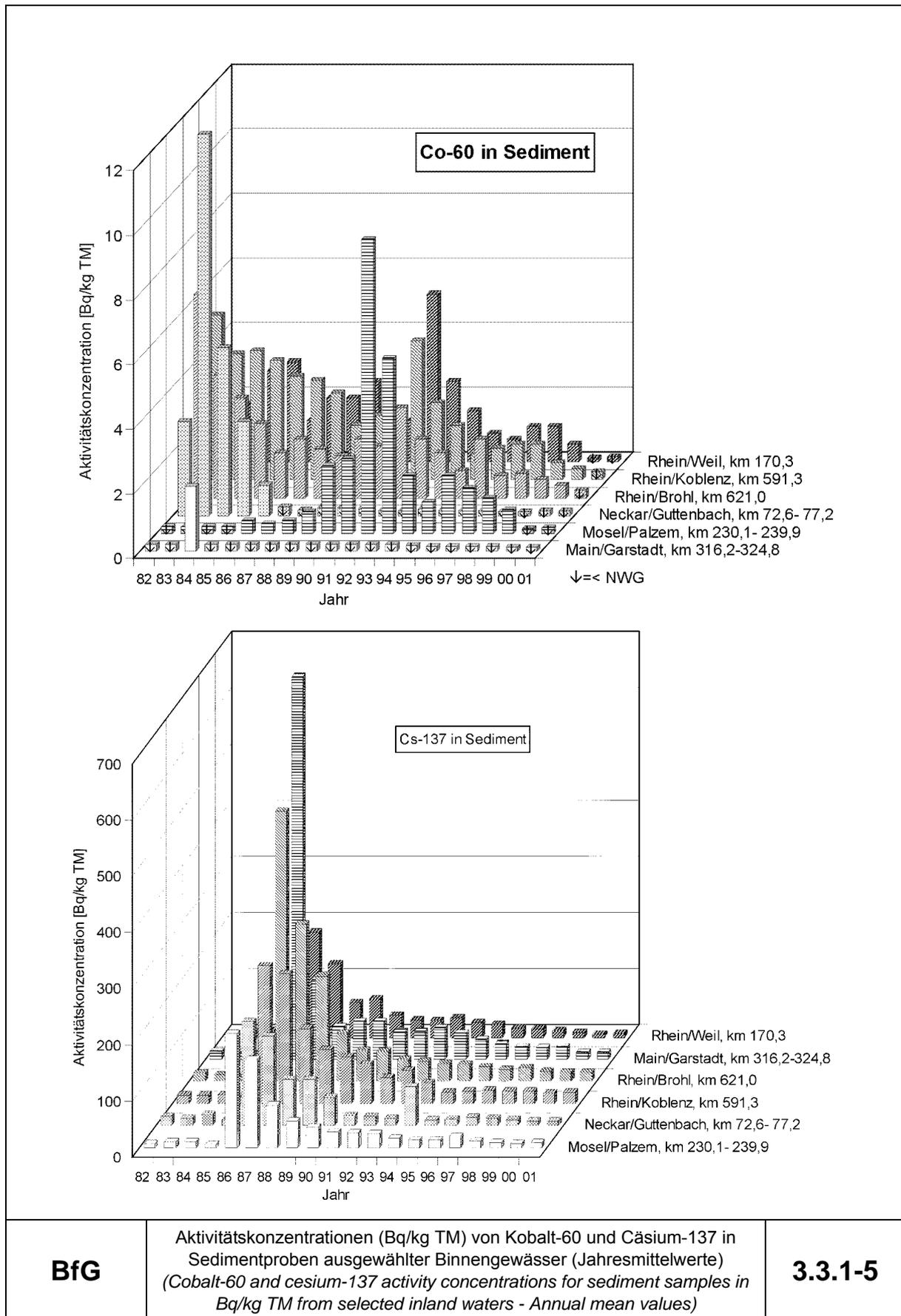


Tabelle 3.3.1-1 Übersicht über die für 2001 insgesamt ausgewerteten Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI für 710 Entnahmestellen sowie die jeweiligen maximalen Messwerte mit den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten
(Overview of all measuring results for water, suspended matter, and sediment evaluated in 2001, in accordance with the StrVG and REI, for 710 sampling positions along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Umweltmedium	Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert (Bq/l bzw. Bq/kg TM)	Gewässer	Ort/Anlage	Datum/Zeitraum in 2001
Oberflächenwasser	α-Aktivität	111	0,19 (Gα)	Spree, km 74,7	Fürstenwalde	August
	β-Aktivität	69	9,6 (Gβ)	Salzbach	Endlager Morsleben	August
	H-3	1471	10000	Ems	KKW Emsland, am Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Sr-90	267	0,026	Stechlinsee	Neuglobsow	20.3.
	I-131	163	0,027	Elbe, km 628,8	Hamburg, Seemannshöft	November
	Cs-137	1340	0,11	Arendsee	Arendsee	7.2. u. 21.8.
	Sonstige	4665	-	-	-	-
Schwebstoff	Co-58	38	18,1	Rhein, km 172,97	Weil	III. Quartal
	Co-60	455	2,54	Jadebusen	Wilhelmshaven	II. Quartal
	I-131	143	946	Spree, km 27,2	Berlin-Schöneweide	Januar
	Cs-137	455	440	Steinhuder Meer	Wunstorf	I. Quartal
	Sonstige	1821	-	-	-	-
Sediment	α-Aktivität	9	660 (Gα)	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	I. Quartal
	β-Aktivität	9	1300 (Gβ)	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	I. Quartal
	Co-58	58	6,6	Rhein	KKW Philippsburg, am Auslaufbauwerk	III. Quartal
	Co-60	1239	29,0	Weser, km 49,6	KKW Würgassen, am Auslaufbauwerk	18.4.
	Sr-90	5	0,26	Elbe, km 693	KKW Brunsbüttel, am Auslaufbauwerk	6.3.
	Cs-137	1247	530	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	4.1.
	Pu-238	8	0,14	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	II. Quartal
	Pu-239/240	8	0,40	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	II. Quartal
	Sonstige	2583	-	-	-	-

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	11	-	1,9	4,5	2,6	3,3
		Koblenz, km 590,3	11	-	3,6	6,9	4,9	4,1
		Wesel, km 814,0	12	-	3,6	6,5	6,5	4,6
	Sr-90	Weil, km 172,97	4	-	0,0016	0,0094	0,0051	0,0064
		Koblenz, km 590,3	4	-	0,0026	0,0050	0,0040	0,0045
		Wesel, km 814,0	4	-	0,0029	0,0064	0,0044	0,0035
	Cs-137	Weil, km 172,97	9	3	0,0007	0,0075	0,0026	0,0020
		Koblenz, km 590,3	12	1	0,0009	0,0063	0,0028	0,0020
		Wesel, km 814,0	12	6	<0,0008	0,0031	0,0019	0,0015
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	4	-	1,27	18,1	9,1	8,8
		Koblenz, km 590,3	6	-	0,33	4,66	1,41	1,65
		Wesel, km 172,97	1	-	0,46	0,46	0,46	0,46
	Co-60	Weil, km 172,97	4	1	0,45	2,14	1,51	1,17
		Koblenz, km 590,3	9	6	<0,15	1,11	<0,44	0,83
		Wesel, km 814,0	4	4	<0,18	<1,34	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	4	-	6,83	14,9	12,4	10,9
		Koblenz, km 590,3	9	-	10,5	20,2	14,2	16,0
		Wesel, km 814,0	4	-	13,9	17,1	15,4	16,9
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	17	-	0,12	1,52	0,69	0,41
		Worms, km 445,0-446,6	21	-	0,062	1,01	0,33	0,18
		Koblenz, km 591,3	2	-	0,29	0,32	0,30	0,34
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	1	-	0,38	0,38	0,38	-
	Co-60	Weil, km 170,3	24	18	<0,059	0,47	<0,16	<0,13
		Worms, km 445,0-446,6	36	20	<0,063	2,90		<0,18
		Koblenz, km 591,3	7	5	<0,14	0,44	0,45	<0,24
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	14	<0,066	0,51	<0,25	<0,34
	Cs-137	Weil, km 170,3	24	-	3,46	12,2	6,6	5,4
		Worms, km 445,0-446,6	36	-	2,28	18,4	8,8	9,9
		Koblenz, km 591,3	7	-	11,7	51,1	21,1	18,9
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	-	5,08	19,6	13,6	15,5
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	-	3,2	40,2	11,7	11,7
		Rockenau, km 61,4	12	-	4,2	61,4	9,7	9,5
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	3	-	0,0018	0,0050	0,0038	0,0030
		Rockenau, km 61,4	4	-	0,0015	0,0060	0,0047	0,0034
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	6	<0,0009	0,0030	<0,0019	0,0016
		Rockenau, km 61,4	12	2	0,0007	0,0022	0,0013	0,0029
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Obertürkheim, km 189,5	4	4	<0,098	<0,34	nn	nn
		Rockenau, km 61,4	4	4	<0,068	<0,42	nn	0,70
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	-	10,4	18,3	13,6	15,3
		Rockenau, km 61,4	4	-	6,28	18,8	9,9	9,3

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	18	-	4,47	49,0	15,3	9,4
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	18	-	4,14	15,8	9,9	10,5
		Guttenbach, km 72,0-77,0	11	-	1,68	13,7	8,3	8,6
MAIN								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	-	1,7	30,9	10,0	5,4
		Eddersheim, 15,3	12	-	1,5	10,6	3,6	3,6
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	-	0,0015	0,0062	0,0038	0,0074
		Eddersheim, km 15,3	3	-	0,0026	0,0040	0,0033	0,0038
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	4	<0,0007	0,0051	0,0030	0,0022
Eddersheim, km 15,3		12	3	0,0007	0,0055	0,0023	0,0024	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Hallstadt, km 388,2	3	3	<1,19	<2,74	nn	nn
		Garstadt, km 323,7	4	4	<0,090	<0,30	nn	<0,36
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	3	-	21,9	41,3	32,6	36,5
		Garstadt, km 323,7	4	-	8,26	22,3	16,0	21,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	5,71	15,4	11,5	10,4
		Garstadt, km 316,2-324,8	11	-	2,99	31,4	13,1	12,6
MOSEL								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	-	15,6	32,5	22,6	19,1
		Lehmen, km 20,83	7	-	10,6	13,6	11,6	10,5
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	-	0,0019	0,0047	0,0030	0,0037
		Lehmen, km 20,83	4	-	0,0022	0,0085	0,0046	0,0041
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	2	<0,0007	0,0048	0,0027	0,0024
Lehmen, km 20,83		11	3	<0,0065	0,0043	0,0027	0,0017	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	5	-	0,22	2,33	1,15	1,62
		Trier, km 196,0	4	-	0,12	0,41	0,30	0,14
		Lehmen, km 20,83	-	-	-	-	-	0,34
	Co-60	Perl, km 241,96	12	6	<0,18	2,03		<1,42
		Trier, km 196,0	12	11	<0,070	1,21	1,18	nn
		Lehmen, km 20,83	1	1	<0,94	<0,94	<0,26	nn
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	-	16,4	33,5	20,9	19,3
Trier, km 196,0		12	-	9,41	19,3	13,5	12,0	
Lehmen, km 20,83	1	-	24,7	24,7	4,70	29,1		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 239,7-242,0	1	1	0,07	0,07	0,07	0,18
		Trier, km 184,1-196,1	-	-	-	-	-	0,13
		Koblenz, km 4,05	1	-	0,28	0,28	0,28	-
	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	20	20	<0,077	<0,21	nn	<0,13
		Trier, km 184,1-196,1	23	23	<0,071	<0,29	nn	nn
		Koblenz, km 4,05	7	6	<0,069	0,35	<0,16	nn
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	20	-	3,67	15,7	9,1	8,5
		Trier, km 184,1-196,1	23	-	9,55	20,4	14,3	14,5
Koblenz, km 4,05	7	-	10,7	109	36	35,5		
SAAR								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	10	-	1,3	1,9	1,6	1,7
	Sr-90	Kanzem, km 5,0	3	-	0,0014	0,0053	0,0036	0,0047
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	10	2	0,0005	0,0030	0,0016	0,0018
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	9	-	18,8	26,9	22,9	20,4

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	-	1,6	3,9	2,4	2,5
		Vilshofen, km 2249,0	5	-	3,0	5,1	3,7	-
		Ulm, 2590,8	4	4	<0,0063	<0,0093	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	4	0,0009	0,0069	0,0029	0,0018
		Vilshofen, km 2249,0	5	1	0,0017	0,0050	0,0027	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	-	101	180	145	142
		Regensburg, km 2381,3	4	-	47,1	61,9	53,0	67,9
		Vilshofen, km 2249,0	2	-	39,2	77,2	58,2	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	-	100	152	125	132
		Regensburg, 2400,1-2379,1	12	-	0,73	186	46,7	28,3
		Straubing, km 2320,93	4	-	70,2	81,0	74,4	69,4
		Jochenstein, km 2202,7	4	-	9,49	17,0	12,5	-
ISAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	-	1,3	3,6	2,1	1,9
		Plattling, km 9,1	4	2	<5,2	24,0	<12,4	<7,3
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	3	<0,0005	0,0006	<0,0008	0,0019
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0046	<0,0052	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	20,3	27,8	23,1	22,2
		Plattling, km 9,1	3	-	73,6	87,6	82,8	76,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	29,7	43,4	34,9	34,1
		Plattling, km 9,1	4	-	5,77	17,5	9,4	10,0
EMS								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	-	2,5	27,2	10,2	10,1
		Terborg, km 24,7	11	-	1,9	13,4	5,6	5,4
	Co-60	Geeste, km 106,3	12	12	<0,0004	<0,0036	nn	nn
		Terborg, km 24,7	12	1	<0,0010	0,0082	0,0042	0,0062
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4	-	0,0018	0,0065	0,0042	0,0046
		Terborg, km 24,7	4	-	0,0049	0,021	0,012	0,0070
	Cs-137	Geeste, km 106,3	12	1	<0,0008	0,0068	0,0032	0,0029
		Terborg, km 24,7	12	-	0,013	0,040	0,021	0,028
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,16	<0,25	nn	nn
		Terborg, km 24,7	4	-	0,52	0,99	0,65	0,66
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	-	17,5	33,2	26,1	25,8
		Terborg, km 24,7	4	-	3,28	3,85	3,45	4,04
WESER / JADEBUSEN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12	-	1,3	4,1	2,0	1,7
		Rinteln, km 163,2	12	-	1,4	19,3	4,0	5,1
		Langwedel, km 329,4	12	-	1,3	11,8	3,2	3,6
		Blexen, km 63,3	9	-	2,3	13,1	4,8	4,9
	Sr-90	Höxter, km 69,0	4	-	0,0022	0,010	0,0044	0,0050
		Rinteln, km 163,2	4	-	0,0015	0,0076	0,0043	0,0033
		Langwedel, km 329,4	4	-	0,0029	0,0067	0,0052	0,0028
		Blexen, km 63,3	3	-	0,0026	0,013	0,0073	0,0053
	Cs-137	Höxter, km 69,0	12	2	0,0008	0,0041	0,0019	0,0025
		Rinteln, km 163,2	11	-	0,0014	0,010	0,0034	0,0021
		Langwedel, km 329,4	12	4	<0,0008	0,012	0,0047	0,0022
		Blexen, km 63,3	8	-	0,0058	0,014	0,0091	0,0083

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	4	<0,14	<0,24	nn	nn
		Rinteln, km 163,2	4	4	<0,11	<0,30	nn	nn
		Langwedel, km 329,4	4	4	<0,13	<0,29	nn	nn
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	1,38	2,54	1,76	2,11
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4	-	10,9	15,0	12,9	14,0
		Rinteln, km 163,2	4	-	8,77	11,9	10,0	11,9
		Langwedel, km 329,4	4	-	11,4	24,0	16,4	17,8
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	4,93	7,78	6,60	5,42
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Unterweseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	1,60	1,60	1,60	1,45
	Cs-137	Hann. Münden, km 0,0	2	-	4,10	4,80	4,45	7,15
		Intschede, km 329,3	2	-	25,0	28,0	26,5	23,5
		Habenhausen, km 361,0	1	-	27,0	27,0	27,0	31,0
		Unterweseraltarm, Schwei- burg, km 49	2	-	14,0	15,0	14,5	14,0
ELBE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	-	1,4	2,8	2,1	1,6
		Geesthacht, km 586,0	12	-	1,5	2,2	1,8	1,8
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	-	1,0	1,2	1,1	-
		Cuxhaven, km 724,5	9	-	2,8	4,9	3,6	3,7
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	-	0,0055	0,012	0,0079	0,009
		Geesthacht, km 586,0	4	-	0,0032	0,017	0,0093	0,0037
		Cuxhaven, km 724,5	2	-	0,0028	0,0031	0,0029	0,0041
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	9	<0,0008	0,0043	<0,0013	<0,0022
		Geesthacht, km 586,0	11	2	<0,0009	0,0054	0,0028	0,0014
		HH (Bunthaus), km 609,8	3	-	0,0023	0,0043	0,0033	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	-	24,1	36,3	30,3	31,2
		Geesthacht, km 586,0	4	-	19,8	24,5	22,2	14,8
		Wedel, km 642,0	4	-	4,42	8,60	6,84	7,6
		Cuxhaven, km 724,5	3	-	0,55	3,94	1,69	0,91
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	-	25,2	46,3	31,4	34,2
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	-	33,7	69,1	51,1	-
ODER								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	-	1,3	1,9	1,6	1,5
		Hohensaaten, km 667,5	11	-	1,5	1,8	1,5	1,5
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	0,0051	0,0096	0,0082	0,007
		Hohensaaten, km 667,5	4	-	0,0080	0,012	0,010	0,0087
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	5	<0,0008	0,0030	0,0025	0,0054
		Hohensaaten, km 667,5	11	4	<0,0008	0,012	0,0045	0,0035
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	-	-	-	-	-	41,0
		Hohensaaten, km 667,5	-	-	-	-	-	49
SPREE								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<4,1	<4,6	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	-	1,1	2,3	1,5	1,3
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	-	0,0057	0,0090	0,0074	0,0065

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	0,0009	0,0032	0,0020	0,0019
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	11	<0,0007	0,0012	<0,0008	<0,0020
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	-	-	-	-	-	14,5
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	-	21,2	179	42,0	33,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	-	-	-	-	-	12,2
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	4	-	16,1	22,2	19,5	16,2
HAVEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	-	1,0	1,9	1,4	1,2
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4	-	0,0043	0,010	0,0078	0,009
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	2	<0,0008	0,0072	0,0048	0,006
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	10	-	56,0	102	80,0	90
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	10	-	12,1	67,1	39,9	36
SAALE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	4	-	1,2	1,8	1,6	1,5
		Camburg, km 187,0	4	3	3,5	3,5	<3,6	-
	Sr-90	Merseburg, km 104,5	4	-	0,0049	0,0079	0,0062	0,0055
		Camburg, km 187,0	3	-	0,0050	0,0056	0,0053	-
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	12	10	<0,0008	0,0053	<0,0015	0,0036
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0046	<0,0063	nn	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	-	11,0	17,4	13,3	13,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	-	9,92	1 7,1	13,1	16,0
PEENE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	-	0,92	1,9	1,3	1,2
	Sr-90	Anklam, km 96,1	4	-	0,0032	0,0095	0,0068	0,0059
	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	9	<0,0008	0,0035	<0,0014	0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	-	26,9	48,9	38,2	36,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	-	31,3	82,5	46,8	37,9
TRAVE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	11	-	1,7	2,4	2,0	-
	Sr-90	Travemünde, km 26,9	4	-	0,0030	0,0050	0,0040	-
	Cs-137	Travemünde, km 26,9	11	-	0,012	0,047	0,034	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	4	-	34,4	72,5	55,0	-
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12	-	1,6	2,7	2,1	-
	Sr-90	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	-	0,0038	0,0059	0,0046	-
	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	11	-	0,0066	0,047	0,029	-
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4	-	30,1	51,8	38,5	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen / nachweisbar

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Langenargen	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,0089	nn	nn
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	-	1,6	2,0	1,8	1,7
	Sr-90		4	-	0,0038	0,0054	0,0045	0,0045
	Cs-137		4	1	0,0002	0,0007	0,0004	0,0005
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	75,1	89,4	81,3	96
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	3	-	19,4	69,2	36,4	45,3
Starnberger See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	-	2,8	4,3	3,3	3,3
	Sr-90		4	-	0,0083	0,0099	0,0090	0,010
	Cs-137		4	-	0,0022	0,0030	0,0025	0,0043
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	4	-	278	373	327	344
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	3	-	35,9	56,3	45,6	39,7
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<4,1	<4,6	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0038	0,0060	0,0048	0,0048
	Cs-137		4	-	0,0025	0,0047	0,0033	0,0034
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	-	2,00	7,10	4,43	1,80
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	-	59,0	99,0	82,5	101
Stössensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<4,1	<4,6	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0044	0,0054	0,0047	0,0048
	Cs-137		4	-	0,0016	0,0040	0,0027	0,0026
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	2,70	14,5	6,1	8,80
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	64,0	126	92,0	67,6
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<4,7	<6,1	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,020	0,026	0,023	0,020
	Cs-137		4	-	0,0080	0,010	0,0088	0,010
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Neuglobsow	4	-	12,0	30,0	18,5	21,3
Neuendorfer See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0040	0,0060	0,0050	0,0060
	Cs-137		4	4	<0,0042	<0,0052	nn	nn
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	-	1,80	2,40	2,08	1,70

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Erbach	2	2	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		3	3	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		2	2	<0,0070	<0,012	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4	-	21,2	25,8	23,3	26,0
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4	-	21,5	30,3	24,8	25,0
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	2,9	2,9	<3,6	3,7
	Cs-137		4	4	<0,0059	<0,0071	nn	nn
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Lüssow	4	4	8,85	10,8	9,59	12,6
Schweriner See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<3,7	<4,3	nn	3,5
	Sr-90		4	-	0,0020	0,013	0,0068	0,013
	Cs-137		4	-	0,016	0,019	0,017	0,019
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schwerin	4	-	27,9	30,7	29,4	44,6
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	-	0,86	1,7	1,2	1,0
	Sr-90		4	-	0,0014	0,0065	0,0034	0,0026
	Cs-137		4	4	<0,0004	<0,0011	nn	<0,0005
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	45,0	59,0	52,5	44,8
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	40,0	88,0	63,5	69,0
Steinhuder Meer								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	-	0,75	1,6	1,1	1,1
	Cs-137		4	-	0,0048	0,016	0,0098	0,013
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	3	-	390	440	423	403
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	89,0	260	171	106
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Stausee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
	Sr-90		1	1	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,018	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10,0	<10,0	nn	-
	Cs-137	Roetgen	4	1	<0,0002	0,0007	0,0004	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4	-	6,23	10,5	8,5	-
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	3	1,9	1,9	<2,5	nn
	Cs-137		4	-	0,038	0,044	0,042	0,040
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Maria Laach	4	-	86,0	120	102	125
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<4,4	<5,7	nn	nn
	Cs-137		4	1	0,0016	0,0027	0,0024	<0,0046
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Thoßfell	4	-	6,97	16,9	10,8	8,54

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben- entnahmeort	Anzahl 2001		Aktivitätskonzentration			
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min. Wert	Max. Wert	2001	2000
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,040	0,11	0,083	0,10
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Arendsee	4	-	52,4	90,3	75,6	72,1
Schollener See								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,030	0,030	0,030	0,053
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schollene	4	-	204	521	380	240
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,012	0,014	0,013	0,019
	Cs-137		4	1	<0,010	0,018	0,015	0,013
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seedorf	4	-	162	242	205	228
Wittensee								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	1	0,0090	0,015	0,012	0,014
Sediment Bq/kg TM	Cs-137	Gr. Wittensee	4	-	11,0	31,0	18,8	18,8
THÜRINGEN / Talsperre Schmalwasser								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Tambach-Dietharz	4	3	<3,4	3,7	<3,6	-
	Cs-137	Tambach-Dietharz	4	4	<0,0054	<0,0069	nn	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

nn nicht nachgewiesen / nachweisbar

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

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

In diesem Kapitel wird der Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide im Jahr 2001 beschrieben. Grundlage der Bewertung sind drei Forschungsreisen mit dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie mit insgesamt ca. 90 Probeentnahmepositionen. Untersucht wurden die Radionuklide Tritium, Cäsium-137 bzw. -134, Strontium-90, Plutonium-239/240, Plutonium-238, Plutonium-241, Americium-241 sowie Curium-244

Künstliche Radionuklide in Nord- und Ostsee stammen hauptsächlich aus folgenden Quellen:

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

Die Aktivitätskonzentrationen langlebiger künstlicher Radionuklide in der Nordsee waren über viele Jahre überwiegend durch die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufbereitungsanlagen La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See bestimmt. Auf Grund der vorherrschenden Wasserströmungen und deren Wassermassentransport konnten diese Einleitungen auch in großen Entfernungen entsprechend der Transportzeit später nachgewiesen werden. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre bestimmt. Die Einleitungen aus Kernkraftwerken oder anderen kerntechnischen Einrichtungen spielen für das Aktivitätsinventar des Meeres keine Rolle. Sie sind gegebenenfalls nur in der unmittelbaren Umgebung nachzuweisen.

Die Einleitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen La Hague und Sellafield waren in den 70er Jahren erheblich höher. Seit vielen Jahren haben allerdings internationale Anstrengungen dazu geführt, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen auf niedrigem Niveau liegen. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu geringen Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch die Strömung bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab. Eine Ausnahme bildet das Tritium. Beide Wiederaufbereitungsanlagen erhöhen seit Jahren ihre Einleitungen an Tritium. Da dieses Radionuklid aber praktisch in Meeresorganismen nicht angereichert wird, ist es für eine Strahlenexposition des Menschen weitgehend irrelevant.

Das Monitoring der künstlichen Radioaktivität durch das BSH erstreckt sich in der Nordsee seit Jahren schwerpunktmäßig auf die Nuklide Tritium, Cs-137, Sr-90 und einige Transurane (Pu-238, Pu-239/240 und Pu-241, Am-241 und Curium-244). Diese Radionuklide werden als radiologisch relevant für eine Strahlenbelastung des Menschen aus der Meeresumwelt angesehen. Darüber hinaus wird in geringerer Häufigkeit die Verteilung von Technetium-99 ermittelt.

In den Abbildungen 3.3.2-1 und 3.3.2-2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137 bzw. Sr-90 Aktivitätskonzentration an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Der Fallout von Tschernobyl lässt sich in der Nordsee praktisch nicht mehr nachweisen. Lediglich im Skagerrak entlang der norwegischen Küste kann man noch Spuren aus dieser Quelle in dem Ausstromwasser aus der Ostsee erkennen.

In den Abbildungen 3.3.2-3 und 3.3.2-4 sind die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 in der Deutschen Bucht im März 2001 und in Abb. 3.3.2-5 die Verteilung von Cs-137 im September 2001 dargestellt. In der äußeren Deutschen Bucht weisen die Konzentrationen von 6 Bq/m^3 auf den nur noch geringen Einfluss der Ableitungen von Sellafield hin. In der Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen atlantischen Meerwassers. Cs-134 ist im Wasser der Nordsee nicht mehr nachweisbar (NWG ca. $0,2 \text{ Bq/m}^3$).

Ein signifikanter Anteil der Konzentrationen des Cs-137 und der Transurannuklide stammt aus der Resuspension des Sedimentes und nicht aus den gegenwärtigen Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague. Das Sediment der Irischen See ist durch Einleitungen vor allem in den siebziger Jahren stark kontaminiert. Dies gilt in geringerem Maße auch für das Sediment der kontinentalen Küste. Die Resuspension wird sowohl durch natürliche Ereignisse wie Stürme als auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei hervorgerufen.

Zusammenfassend kann man für die Nordsee festhalten:

- Trotz der Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen treten die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 im Skagerrak durch abfließendes Ostseewasser auf. Die Ostsee stellt derzeit, und für die nächsten Jahre, die stärkste Quelle für Cs-137 in der Nordsee dar. Im Jahre 2001 wurden in diesem Bereich allerdings keine Untersuchungen durchgeführt.
- Das Sediment der Irischen See stellt die zweitstärkste Quelle für Cs-137 dar. Vergleichende Betrachtungen mit anderen konservativen Nukliden ergeben, dass zwischen 50 und 70 TBq/Jahr an Cs-137 resuspendiert werden. Dies ist das 5 – 7-fache der derzeitigen Einleitungen. Die in der Irischen See im Wasser befindlichen Radionuklide gelangen zu einem großen Teil in die Nordsee.
- Die Einleitungen an Sr-90 der WAA La Hague sind gegenüber den Erhöhungen der Jahre 1991/92 wieder stark zurückgegangen.

Tritium ist eines der Radionuklide, das von beiden Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren verstärkt eingeleitet wurde. Die Tritiumkonzentrationen in der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee im Jahr 2001 sind in Abbildung 3.3.2-6 dargestellt. Die langjährige Entwicklung der mittleren Tritiumgehalte der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (Abb. 3.3.2-7) zeigt für die Ostsee einen stark rückläufigen Trend, der auf die abnehmende Konzentration im Süßwassereintrag zurückzuführen ist. Die Ursache für ansteigende Tritiummesswerte in der Deutschen Bucht in den Jahren 1993 bis 2000 sind die deutlich höheren Einleitungen der WAA La Hague. Da in der marinen Nahrungskette keine Anreicherung von Tritium stattfindet, werden höhere Tritiumkonzentration im Meer nicht als radiologisch relevant für den Menschen angesehen.

In die Ostsee werden die kontaminierten Wassermassen aus der Nordsee nur zu einem geringen Teil durch besondere Wetterlagen und hydrographische Bedingungen verfrachtet. Die Aktivitätskonzentration an Cs-137 nahm vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl entsprechend dem abnehmenden Salzgehalt in Richtung Bottnischer Meerbusen ab, so dass in der Bottenwiek 1983 nur eine Konzentration von 6 bis 10 Bq/m³ bestimmt wurde.

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

Abbildung 3.3.2-8 stellt den Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an der Position Schleimündung in der Ostsee seit 1961 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-Konzentration an der Position "Schleimündung" (54°40'N, 10°05'E) sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

Durch den im Jahresmittel 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 Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen.

In den Abbildungen 3.3.2-9, 3.3.2-10 und 3.3.2-11 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90 und Tritium in der westlichen Ostsee bis zum Bornholmbecken im Juni 2001 dargestellt.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 lagen im untersuchten Gebiet der Ostsee zwischen 12 und 60 Bq/m³ (Abb. 3.3.2-9). Höhere Konzentrationen finden sich in der Wassersäule in der weiter östlichen und nördlichen Ostsee, wo der Schwerpunkt des Tschernobyl Fallouts lag. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, liegt sie immer noch deutlich über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Mee-

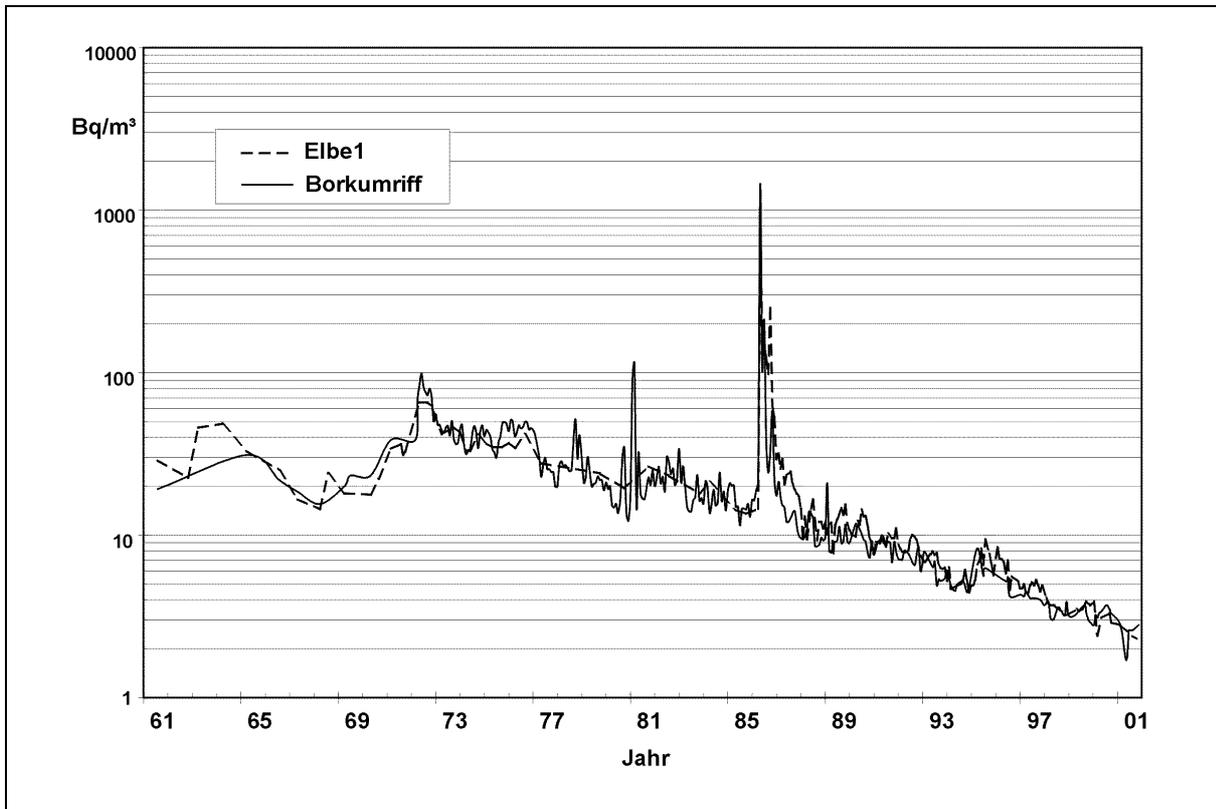
resboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser des Kattegat und der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 und Sr-90 nachweisen. Die Tritiumkonzentrationen in der Ostsee lassen keine signifikant erhöhten Messwerte erkennen, was in dieser Beziehung auf einen ordnungsgemäßen Betrieb der dort arbeitenden Nuklearanlagen schließen lässt.

Sedimente

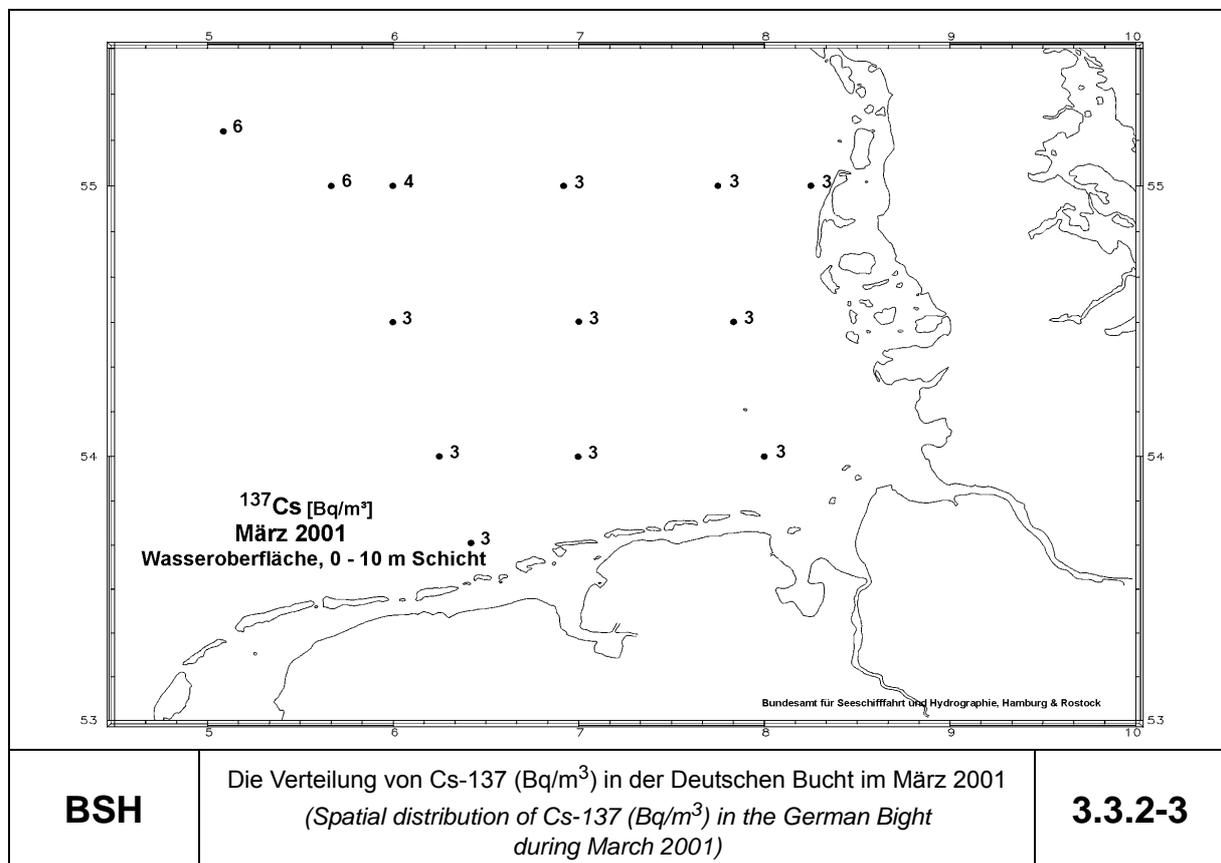
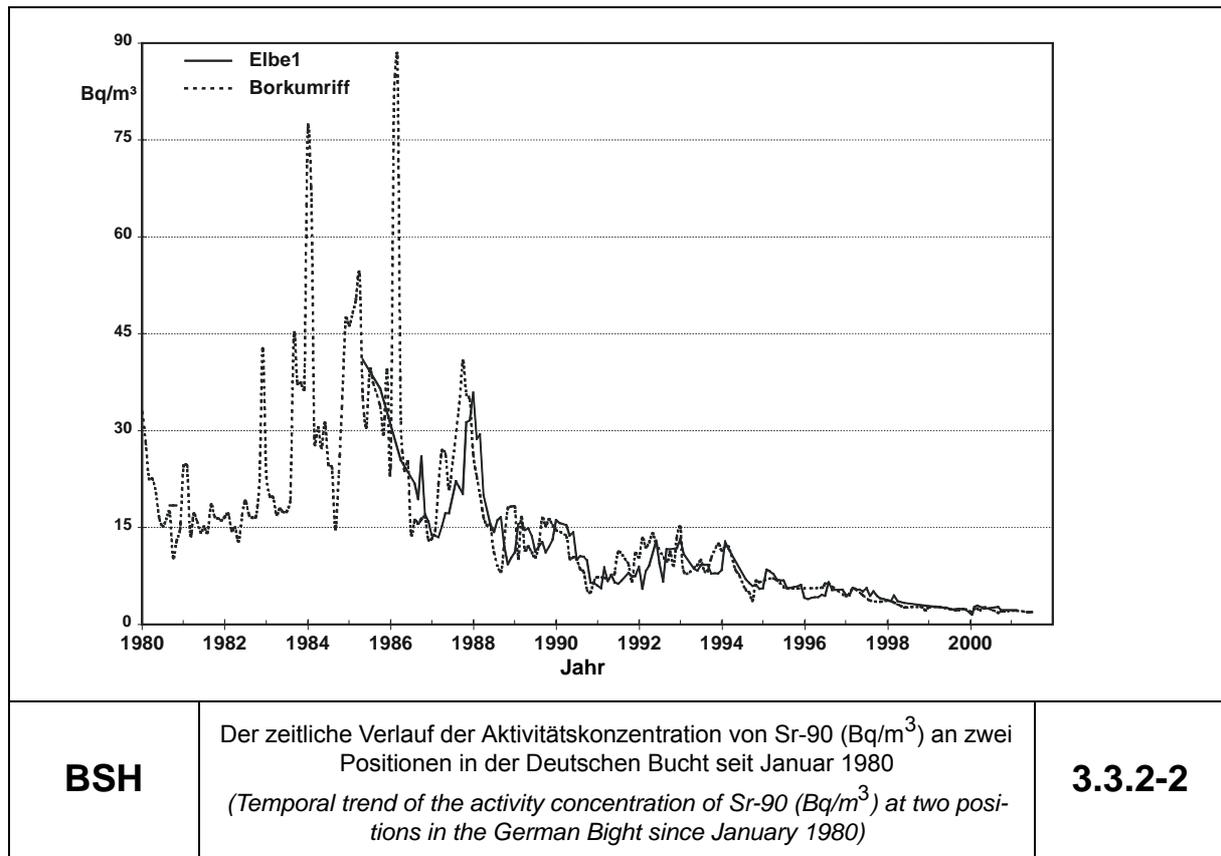
Das Sediment ist eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich die radioaktiven Nuklide durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen weitgehend irreversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule "ausgekämmt" und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Jedoch muss man auch je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten mit Resuspension, d.h. Wiederfreisetzung der abgelagerten Radionuklide in die Wassersäule rechnen.

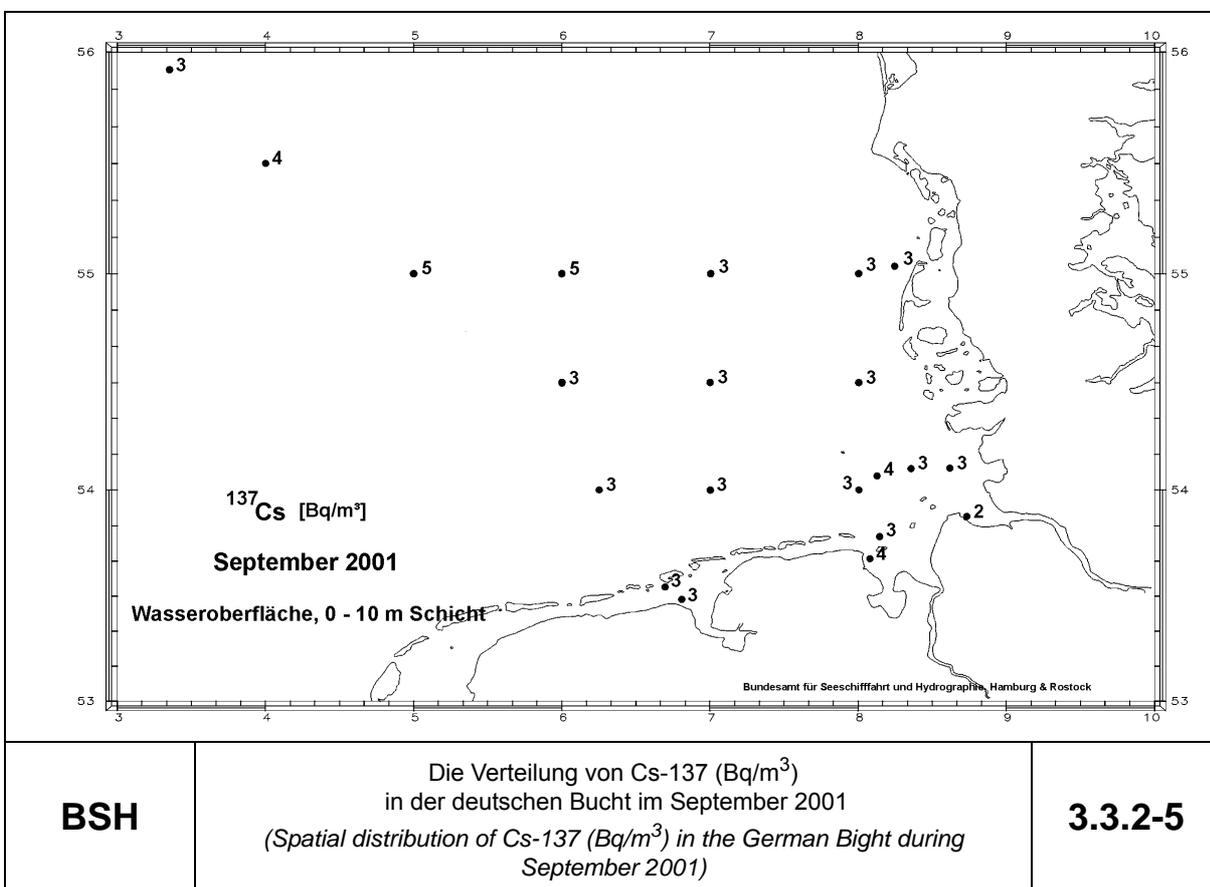
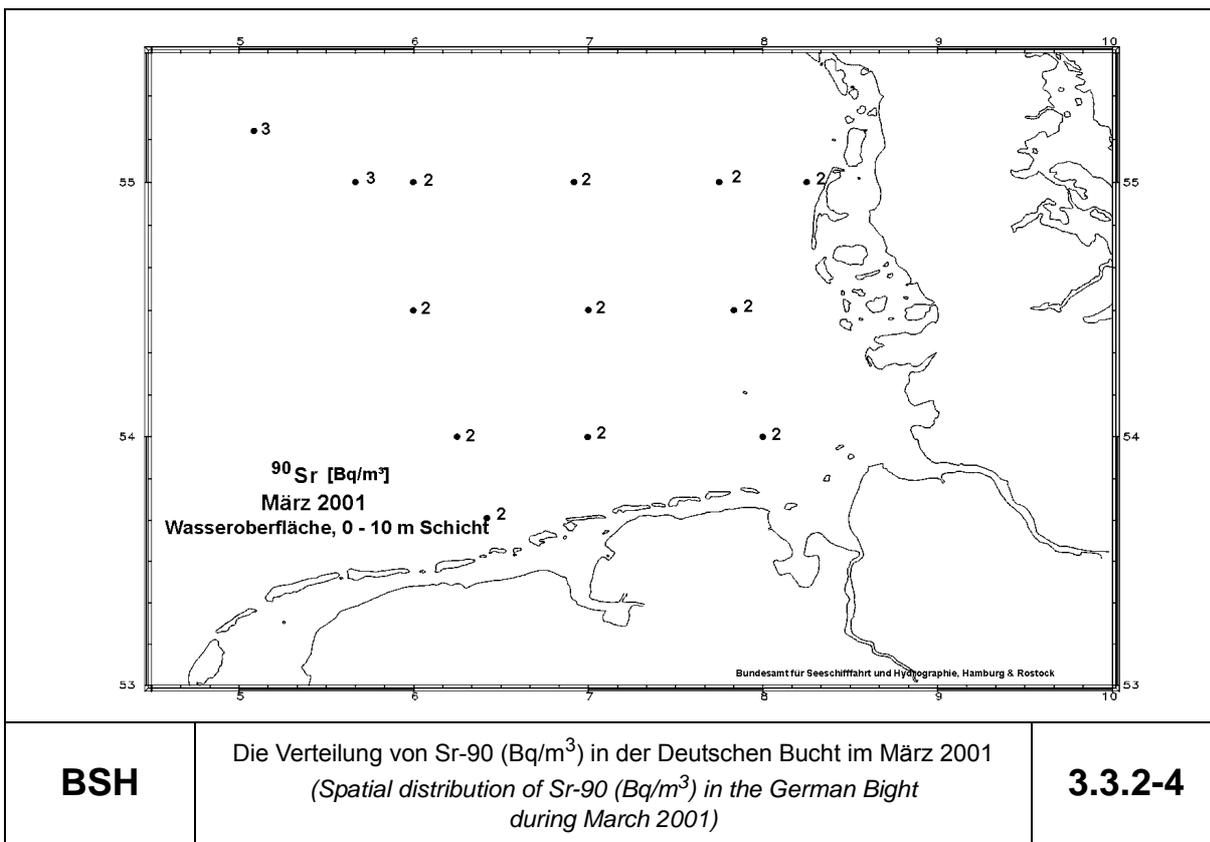
Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Einerseits ist dieser Effekt darauf zurückzuführen, dass die Korngröße der meist schlickigen Sedimente der Ostsee kleiner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

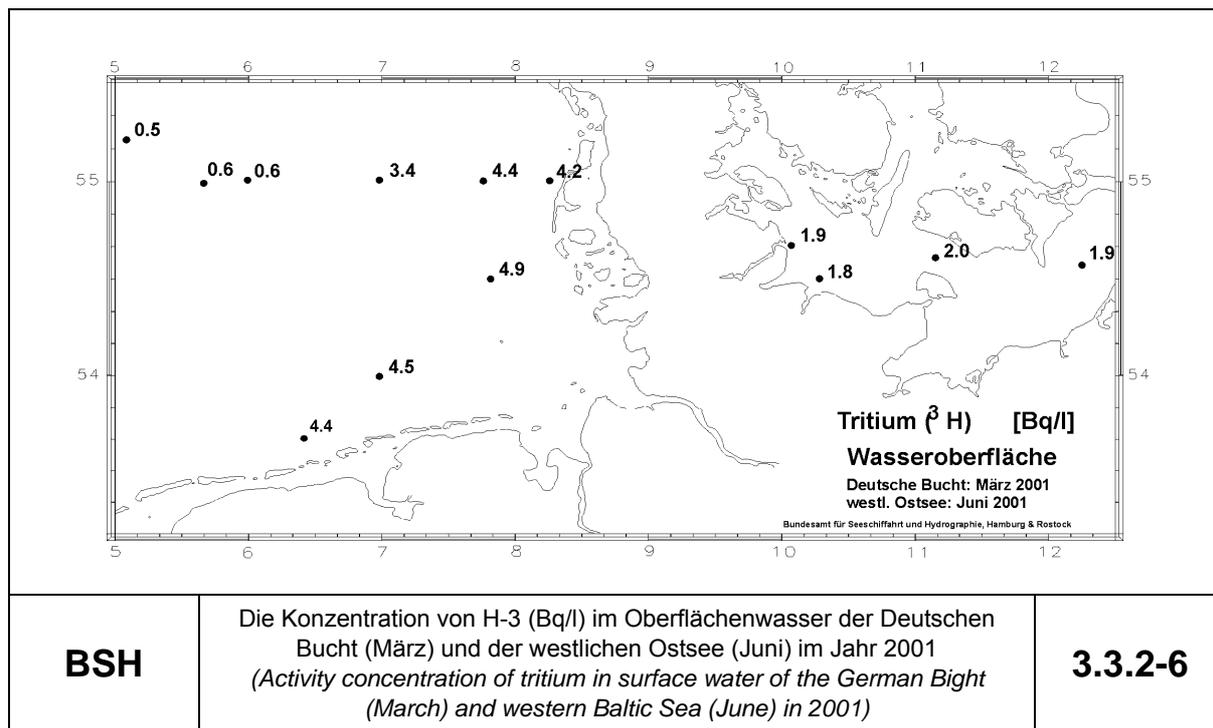
Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm.



BSH	Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 (Bq/m ³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961 <i>(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m³) at two positions in the German Bight since 1961)</i>	3.3.2-1
------------	---	----------------



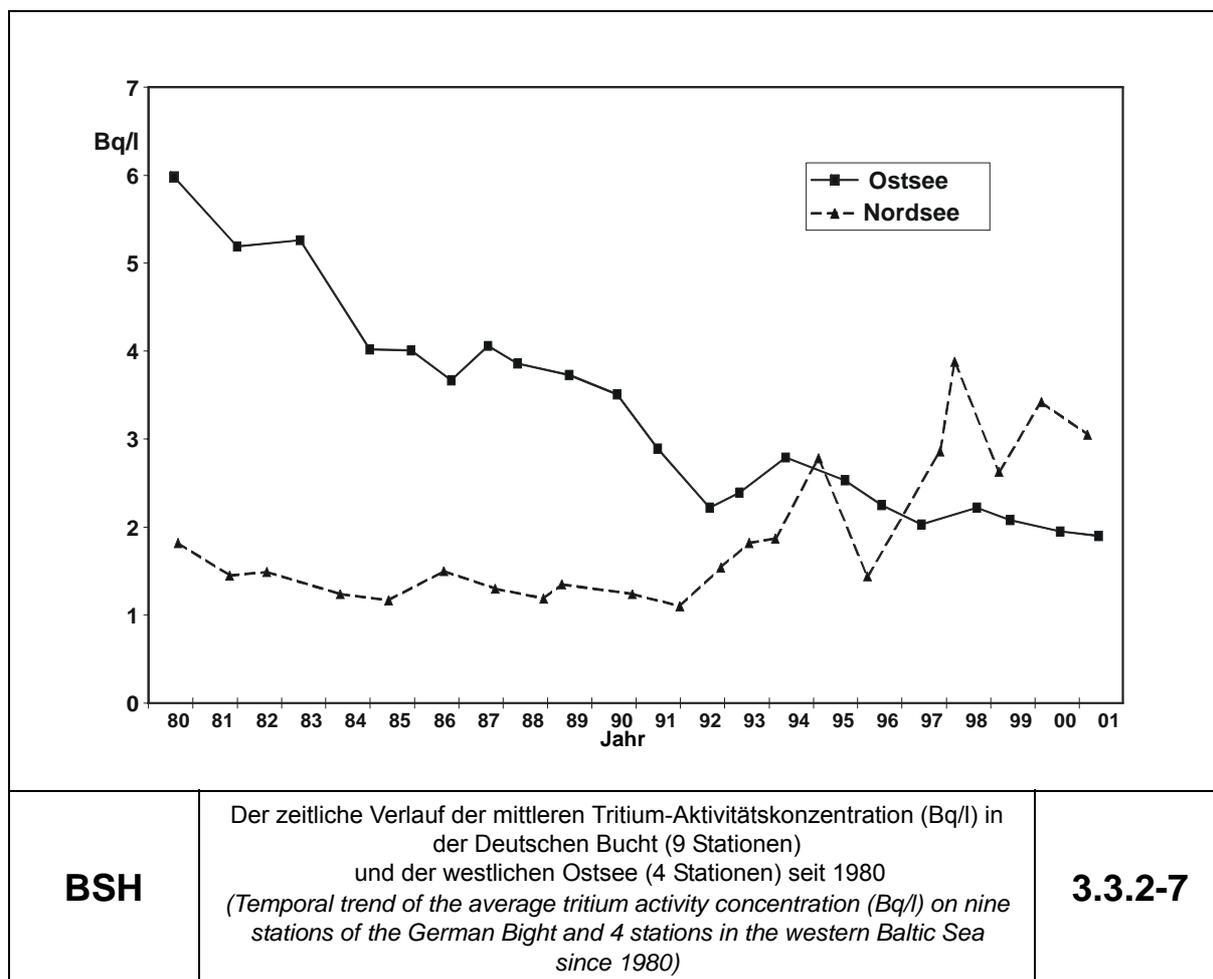




BSH

Die Konzentration von H-3 (Bq/l) im Oberflächenwasser der Deutschen Bucht (März) und der westlichen Ostsee (Juni) im Jahr 2001
 (Activity concentration of tritium in surface water of the German Bight (March) and western Baltic Sea (June) in 2001)

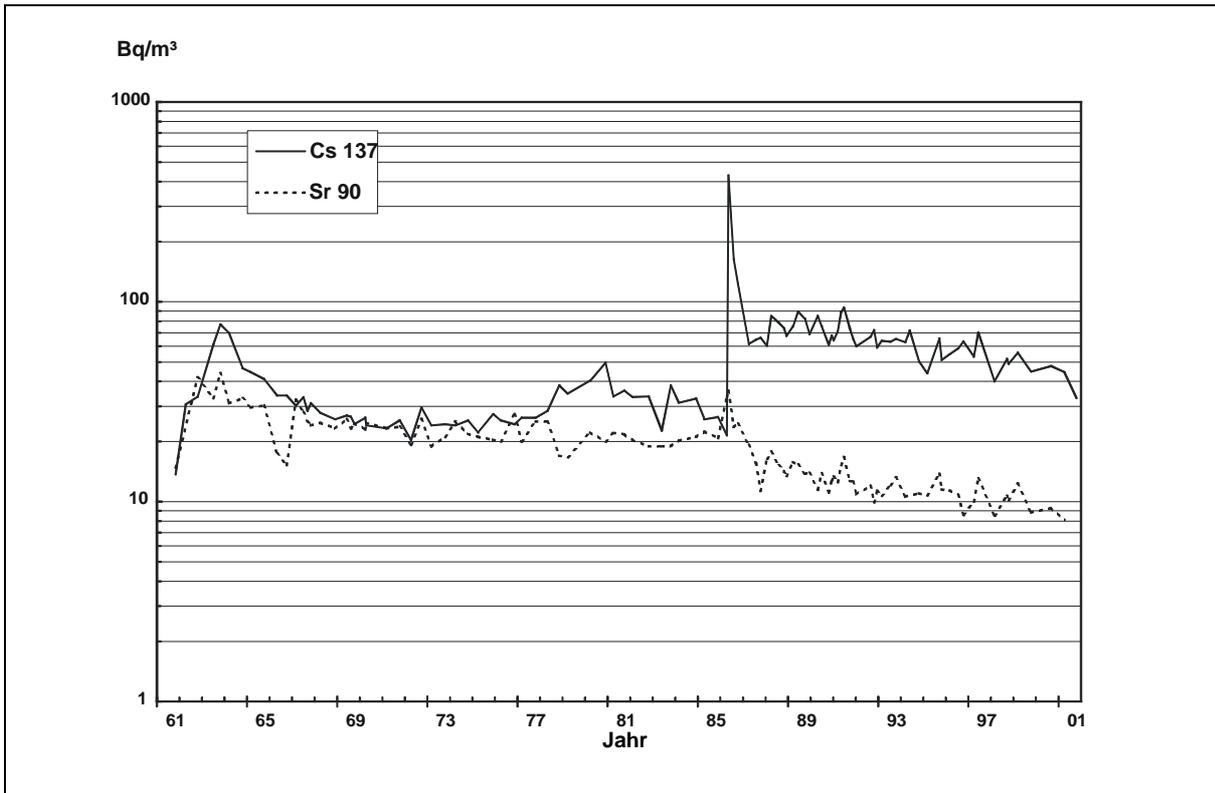
3.3.2-6



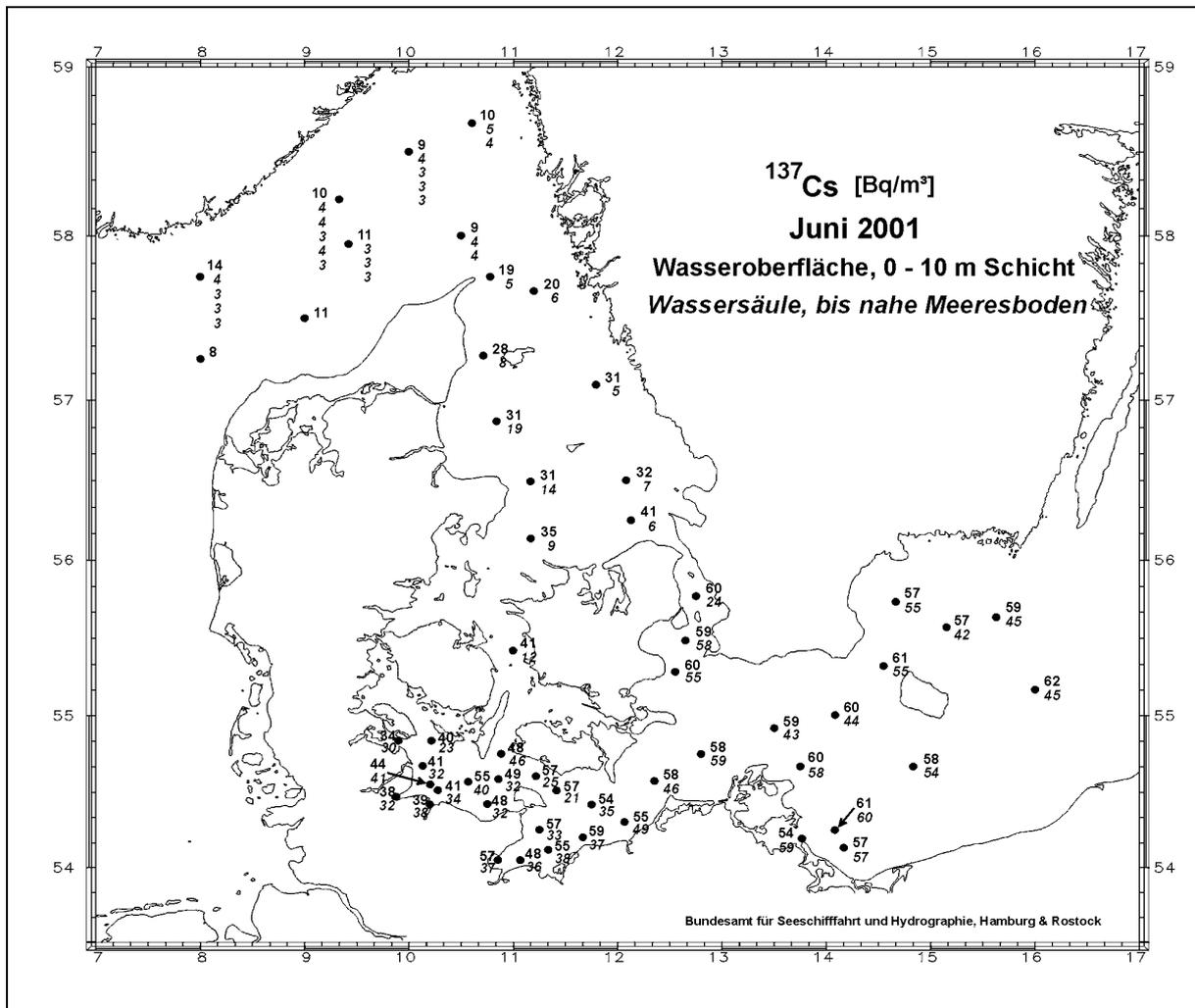
BSH

Der zeitliche Verlauf der mittleren Tritium-Aktivitätskonzentration (Bq/l) in der Deutschen Bucht (9 Stationen) und der westlichen Ostsee (4 Stationen) seit 1980
 (Temporal trend of the average tritium activity concentration (Bq/l) on nine stations of the German Bight and 4 stations in the western Baltic Sea since 1980)

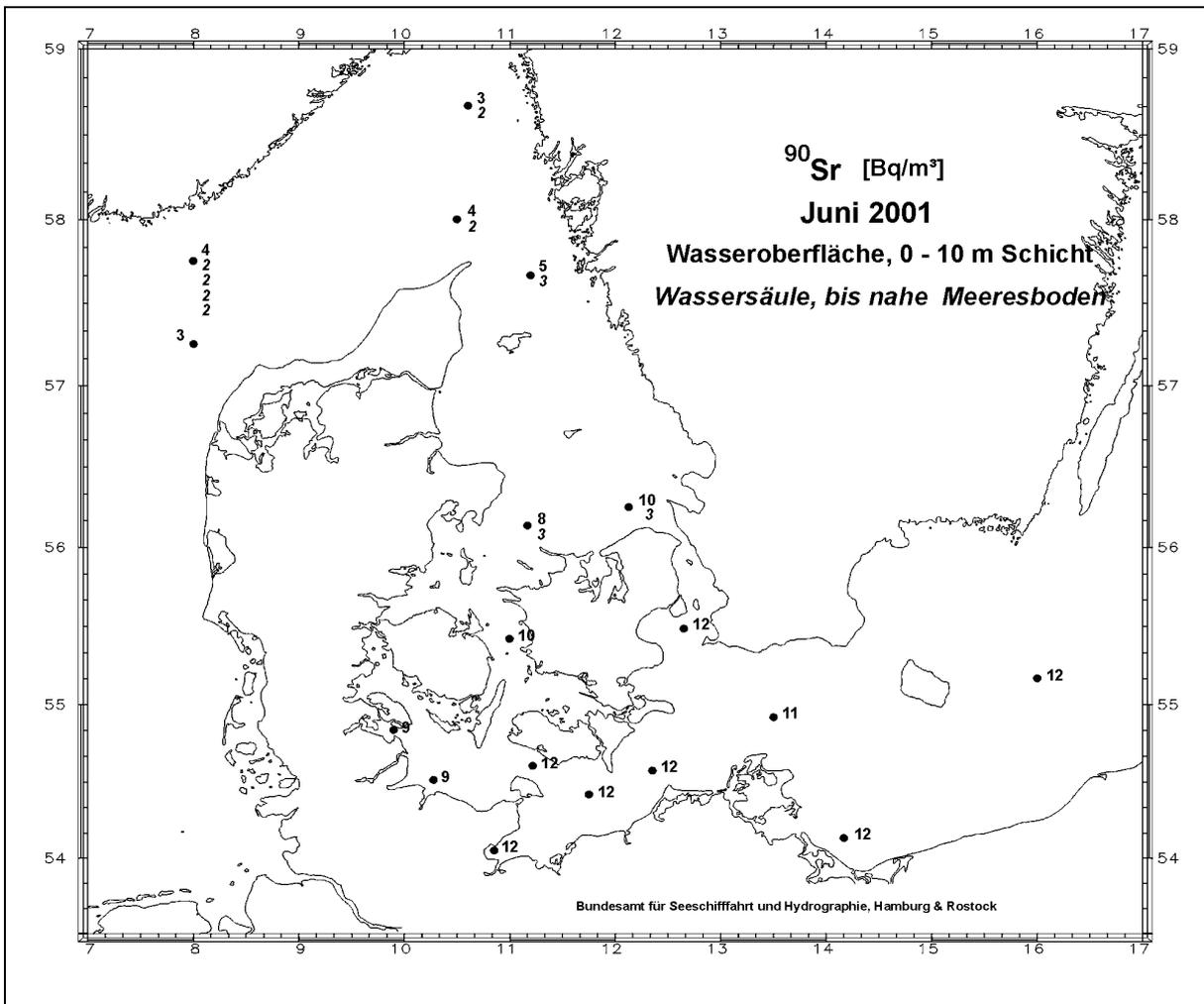
3.3.2-7



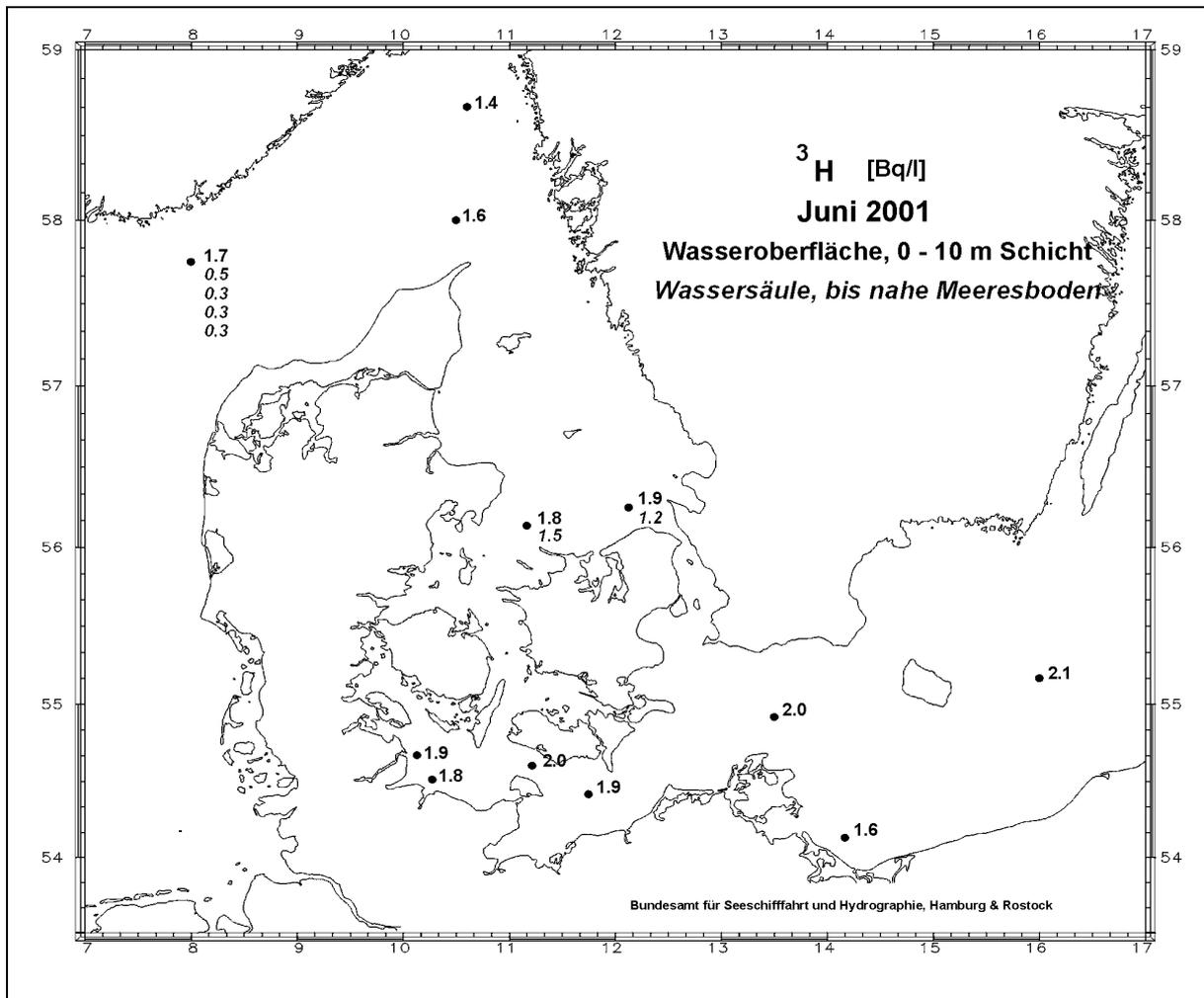
BSH	Der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m ³) an der Position "Schleimündung" seit 1961 <i>(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 and Sr-90 (Bq/m³) at the position "Schleimündung" in the western Baltic Sea since 1961)</i>	3.3.2-8
------------	---	----------------



<p>BSH</p>	<p>Die Verteilung von Cs-137 (Bq/m³) im Wasser der westlichen Ostsee sowie Kattegat und Skagerrak im Juni 2001. Tiefenproben sind kursiv dargestellt <i>(Spatial distribution of Cs-137 (Bq/m³) in the water column of the western Baltic Sea as well as in the Kattegat and Skagerrak. Depth profiles are given in italic)</i></p>	<p>3.3.2-9</p>
-------------------	--	-----------------------



<p>BSH</p>	<p>Die Verteilung von Sr-90 (Bq/m³) im Wasser der westlichen Ostsee sowie Kattegat und Skagerrak im Juni 2001. Tiefenproben sind kursiv dargestellt <i>(Spatial distribution of Sr-90 (Bq /m³) in the water column of the western Baltic Sea as well as in the Kattegat and Skagerrak. Depth profiles are given in italic)</i></p>	<p>3.3.2-10</p>
-------------------	---	------------------------



BSH	Die Verteilung von H-3 (Bq/l) im Wasser der westlichen Ostsee sowie Kattegat und Skagerrak im Juni 2001. Tiefenproben sind kursiv dargestellt <i>(Spatial distribution of H-3 (Bq/l) in the water column of the western Baltic Sea as well as in the Kattegat and Skagerrak)</i> <i>Depth profiles are given in italic)</i>	3.3.2-11
------------	---	-----------------

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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 2001 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 3.4.1-1 übersichtlich zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 64 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen alle unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,46 mBq/l bis 15 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <4,4 mBq/l (2000: <3,5 mBq/l).

In 30% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,90 mBq/l bis 8,0 mBq/l (2000: 0,036 bis 9,7 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei < 2 mBq/l (2000: 1,8 mBq/l).

Tritium wurde in 6 Proben in Konzentrationen von 1,0 Bq/l bis 2,6 Bq/l (2000: 0,55 bis 2,6 Bq/l) nachgewiesen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die derzeitige Tritiumkonzentration im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegt (Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim, 1998).

Trinkwasser

Von den amtlichen Messstellen der Länder wurden Messwerte für 74 Trinkwasser- und 58 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cäsium-137 liegen mehr als 93% der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,081 mBq/l bis 80 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,074 mBq/l und 15 mBq/l (2000: 0,15 und 12 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei 6,0 mBq/l (2000: <7,0 mBq/l).

In 55% der untersuchten Proben konnte Strontium-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,37 mBq/l und 41 mBq/l (2000: 1,0 und 8,6 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 3,1 mBq/l (2000: 5,0 mBq/l). Die Messwerte zeigen den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss von Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser auf die Trinkwassergewinnung an.

Von den Messstellen wurden im Rahmen des Routinemessprogramms für Grundwasser und Trinkwasser auch α -spektrometrische Messungen von Uran- und Plutoniumisotopen durchgeführt. Die Messwerte für die Uranisotope liegen in dem für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland bekannten Schwankungsbereich von 0,01 bis 0,2 Bq/l. Plutoniumisotope konnten oberhalb der geforderten Nachweisgrenzen nicht nachgewiesen werden.

Eine Strahlenexposition der Bevölkerung durch künstliche radioaktive Stoffe auf dem Wege über das Trinkwasser ist auf Grund der vorliegenden Daten gegenüber der natürlichen Strahlenexposition von etwa 2,1 mSv pro Jahr vernachlässigbar klein. Legt man die Maximalwerte für Cs-137 und Sr-90 zu Grunde, ergeben sich bei einem angenommenen jährlichen Trinkwasserkonsum von 700 l Ingestionsdosen von 0,14 μ Sv bzw. 0,8 μ Sv pro Jahr.

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

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	118	52	23	1700	270	< 15
	Cs-137	118	118				< 4,4
	Sr-90	57	40	0,90	8,0		< 2,0
	H-3	8	2	1000	2600		1300
Trinkwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	288	164	3,0	1400		< 15
	Cs-137	288	268	0,074	15		6,0
	Sr-90	82	37	0,37	41		3,1

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

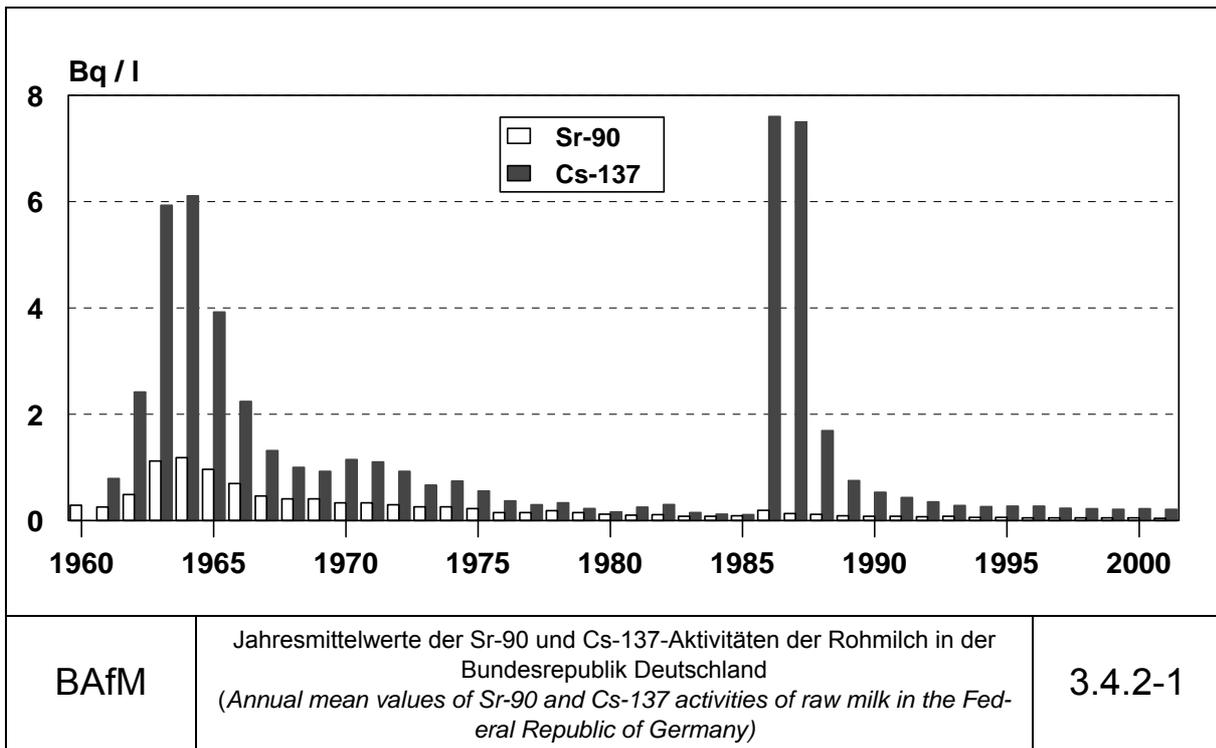
3.4.2 Milch und Milchprodukte
(Milk and milk products)

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten Cäsium-137, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cäsium-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die Strontium-90-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 2000 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 3.4.2-1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre angegeben. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks 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 3.4.2-1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt wurden. Abbildung 3.4.2-1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2001.

Tabelle 3.4.2-2 gibt global für das Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten. Messungen des Cs-137-Gehaltes eines MilCHFertigpräparates (Säuglingsnahrung), das in Schleswig-Holstein hergestellt wurde, ergaben im Berichtsjahr durchschnittlich 0,5 Bq/kg (Bandbreite: 0,3 bis 0,8 Bq/kg).



**Tabelle 3.4.2-1: 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	1999	32	0,10	94	<0,16
	2000	36	0,08	91	<0,16
	2001	36	0,07 (0,02 - 0,12)	93	< 0,14 (<0,04 - 0,67)
Bayern	1999	106	0,07	275	<0,24
	2000	104	0,07	272	<0,27
	2001	106	0,06 (0,01 - 0,25)	274	< 0,27 (0,03 - 1,09)
Berlin	1999	12	0,02	24	<0,11
	2000	12	0,02	24	<0,24
	2001	12	0,03 (0,02 - 0,04)	24	< 0,11 (<0,04 - 0,50)
Brandenburg	1999	16	0,04	41	< 0,30
	2000	16	0,04	40	< 0,32
	2001	16	0,04 (0,02 - 0,09)	40	< 0,37 (< 0,08 - 1,20)
Bremen	1999	12	<0,03	12	0,44
	2000	12	<0,03	12	<0,54
	2001	12	< 0,03 (<0,01 - 0,02)	12	0,34 (0,02 - 1,18)
Hamburg	1999	a)	a)	12	<0,13
	2000	9	0,03	12	<0,12
	2001	8	0,04 (0,01- 0,05)	12	< 0,12 (<0,08 - <0,15)
Hessen	1999	16	0,06	40	<0,11
	2000	9	0,04	41	<0,11
	2001	8	0,07 (0,03 - 0,27)	34	< 0,10 (<0,02 - 0,27)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	48	0,05	72	<0,19
	2000	46	0,05	67	<0,23
	2001	45	0,03 (0,02 - 0,09)	69	< 0,19 (0,07 - 0,95)
Niedersachsen	1999	122	0,05	243	<0,31
	2000	123	0,05	228	<0,29
	2001	131	0,04 (0,02 - 0,06)	226	0,25 (<0,07 - 1,03)
Nordrhein-Westfalen	1999	54	0,04	147	<0,15
	2000	44	<0,06	132	<0,14
	2001	43	< 0,05 (0,02 - 0,28)	126	< 0,13 (0,01 - 0,56)
Rheinland-Pfalz	1999	22	0,05	46	<0,11
	2000	19	0,04	59	<0,15
	2001	4	0,04 (0,04 - 0,05)	35	< 0,26 (<0,05 - 0,47)
Saarland	1999	10	<0,03	12	<0,20
	2000	10	<0,02	10	<0,20
	2001	11	< 0,02 (< 0,02 - 0,05)	12	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen	1999	12	0,03	24	< 0,08
	2000	10	0,03	20	< 0,09
	2001	12	0,04 (0,03 - 0,04)	24	< 0,13 (0,06 - <1,10)
Sachsen-Anhalt	1999	12	0,04	28	< 0,38
	2000	12	< 0,03	40	< 0,21
	2001	12	< 0,02 (0,01 - 0,03)	38	< 0,14 (< 0,07 - 0,35)
Schleswig-Holstein	1999	51	0,05	111	< 0,16
	2000	48	0,05	108	< 0,19
	2001	44	0,04 (0,02 - 0,07)	104	< 0,14 (0,02 - 0,81)
Thüringen	1999	26	0,03	38	< 0,07
	2000	24	0,02	36	< 0,08
	2001	21	0,02 (0,01 - 0,03)	33	< 0,09 (0,02 - 0,19)
Bundesrepublik (gesamt)	1999	551	< 0,05	1219	< 0,21
	2000	534	< 0,05	1192	< 0,22
	2001	521	< 0,04 (<0,01 - 0,28)	1156	< 0,21 (<0,01 - 1,20)

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

Produkt	N	Cs-134 Bq/kg		Cs-137 Bq/kg	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1156	< 0,3	< 0,01	1,20	< 0,01
Trinkmilch	1	-	-	< 0,10	-
Käse	4	< 0,28	< 0,05	0,44	< 0,06
Importe					
Käse	108	< 0,27	< 0,03	0,66	< 0,06
Frischkäse	3	-	-	< 0,18	< 0,10
Lakenkäse	1	-	-	< 0,15	-
Schafskäse	18	< 0,20	< 0,08	0,44	< 0,09
Ziegenkäse	1	< 0,20	-	< 0,20	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer (*Fish and seafood, fish from inland waters*)

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Der vorliegende Beitrag enthält Messergebnisse der Messstellen der Bundesländer über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer und der Meere sowie in entsprechender importierter Ware, die im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) nach Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) erhalten wurden. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) ergänzt. Die entsprechend der Richtlinien zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Bundesländer und den Betreibern erhobenen Messdaten werden in Kapitel II 1.4.4 in zusammengefasster Form dargestellt.

Bei der Auswertung wurde im Allgemeinen nicht nach Fischarten unterschieden. Da die Cäsium-137-Gehalte im Fisch im Wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis Cäsium-134/Cäsium-137 im Fisch im Jahr 2001 ein Wert zwischen 0,0055 und 0,0040 zu erwarten. Die verwendeten Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich im Folgenden immer auf die Feuchtmasse. Soweit nicht anders ausgewiesen, wurden bei Fischen, Krusten- und Schalentieren die Aktivitätswerte im Fleisch bestimmt. Die statistische Auswertung wurde nach dem Verfahren nach "Helsel und Cohn" [1] unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt. Wegen der im Vergleich zur Normalverteilung oft größeren Ähnlichkeit der gefundenen Verteilungen zu Lognormalverteilungen wurde (ab 1995) der Medianwert als repräsentativer Mittelwertschätzer verwendet. Die in den Tabellen angegebenen Gesamtanzahlen N von Messwerten umfassen auch die nicht nachgewiesenen (nn) unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) liegenden Werte.

Routinemessprogramm der Länder

Im Berichtsjahr 2001 wurden im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG Messungen von γ -Strahlern (an 517 Proben) und Strontium-90 (an 64 Proben) ausgewertet. Für die Auswertung der Daten wurden jeweils mehrere Bundesländer zu Regionen zusammengefasst: Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Brandenburg zu "Norddeutschland"; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen zu "Mitteldeutschland" sowie Baden-Württemberg und Bayern zu "Süddeutschland". Für diese Regionen wurden, aufgeteilt nach Gewässertypen, statistische Auswertungen der für 2001 zusammengefassten Cs-137-Gehalte durchgeführt.

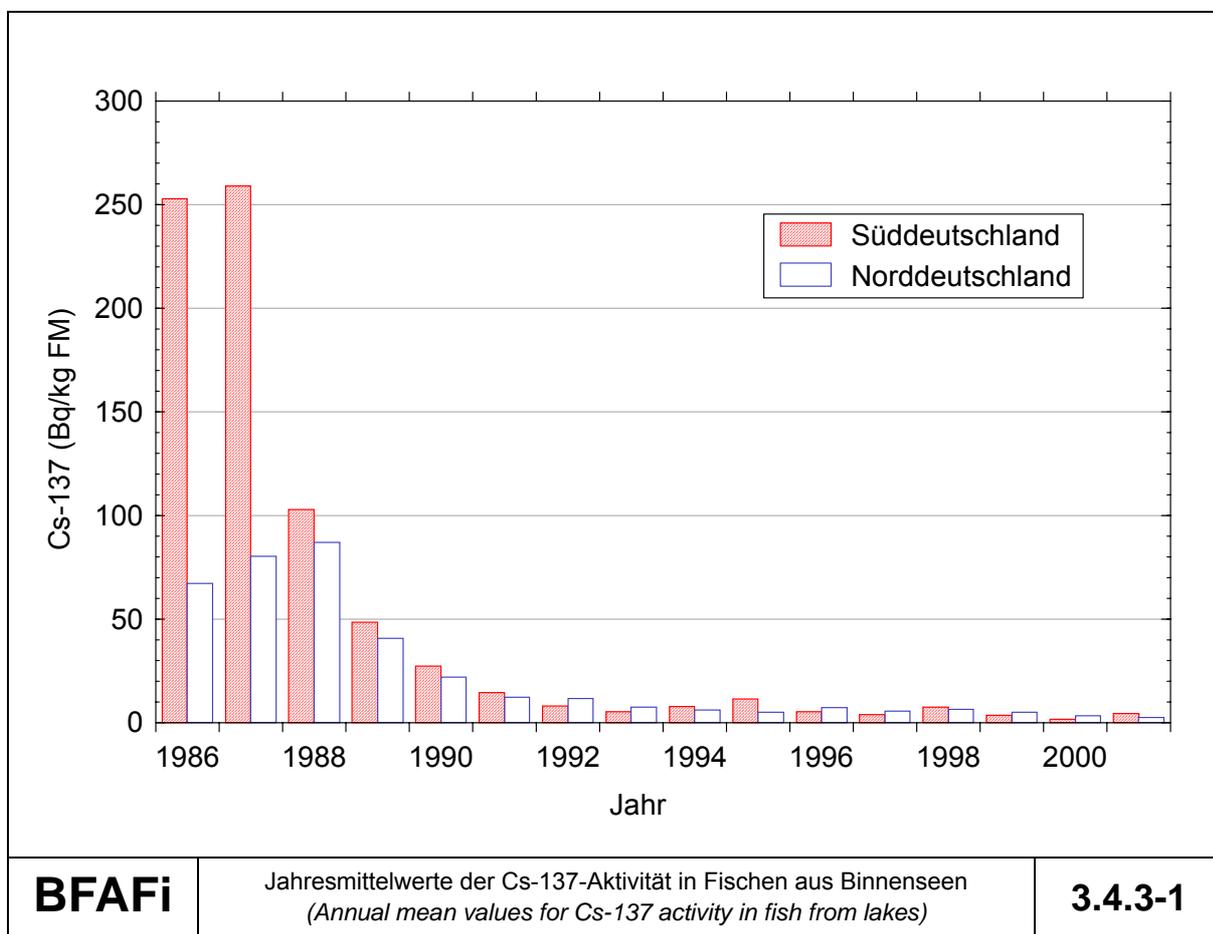
Tabelle 3.4.3-1 zeigt für 2001 im Vergleich zwischen Süddeutschland (der Hauptanteil der Daten stammt aus Bayern), Mitteldeutschland und Norddeutschland die mittleren Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen sowie aus Fließgewässern. Werte für nicht spezifizierte Gewässer sind in der Tabelle ebenfalls aufgeführt. Deutliche Unterschiede zwischen den Regionen sind, wie schon in den Vorjahren, nicht festzustellen. Mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnisse für Fische aus Binnenseen lagen bei etwa 0,0037 (Süddeutschland) und 0,0031 (Norddeutschland). Bei Fischen aus süddeutschen Fischteichen und Fließgewässern wurde ein niedrigerer Cs-137-Median als z. B. in Norddeutschland beobachtet, was nicht zu erwarten war. Dies hat vermutlich mit der jeweiligen Auswahl der beprobten Gewässer, der relativ niedrigen Probenanzahlen und – im Falle der Fließgewässer - damit zu tun, dass im Falle der süddeutschen Region ein prozentual größerer Anteil der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Das bedeutet, dass die relative Unsicherheit dieser niedrigen Medianwerte schon beträchtlich ist.

Im Vergleich zwischen Süd- und Norddeutschland zeigen die Abbildungen 3.4.3-1 bis 3.4.3-3 die zeitliche Entwicklung des mittleren Cs-137-Gehaltes in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen und aus Fließgewässern seit 1986. Die in Binnenseefischen ab 1988 beobachtete zeitliche Abnahme des Cs-137-Gehaltes setzte sich ab etwa 1993 praktisch nicht weiter fort. In den Fließgewässern setzte die Abnahme zumindest schon ab 1987 ein. Bis 2001 ist keine nennenswerte Abnahme gegenüber 1993 mehr festzustellen.

Die mittleren Cs-137-Gehalte der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren im Jahr 2001 in Süddeutschland etwa 30-fach niedriger als die aus Binnenseen. Für Norddeutschland betrug dieser Faktor nur etwa 5.

Tabelle 3.4.3-1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2001)
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2001)

Gewässer	Region	N	Anzahl < NWG	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Binnenseen	Süddeutschland	38	1	0,15	63	4,4
	Mitteldeutschland	7	2	0,15	16	0,43
	Norddeutschland	56	3	<0,14	88	2,7
Fischteiche	Süddeutschland	28	5	0,10	68	0,18
	Mitteldeutschland	22	7	<0,11	6,5	0,18
	Norddeutschland	15	3	<0,12	7,7	0,41
Fließgewässer	Süddeutschland	11	6	<0,12	1,2	0,13
	Mitteldeutschland	32	7	0,11	3,3	0,29
	Norddeutschland	9	0	0,45	2,0	0,69
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	2	2	<0,17	<0,23	<0,2
	Mitteldeutschland	9	5	0,10	1,4	0,11
	Norddeutschland	2	1	<0,11	0,11	<0,11



BFAFi

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

3.4.3-1

Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abb. 3.4.3-2), was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

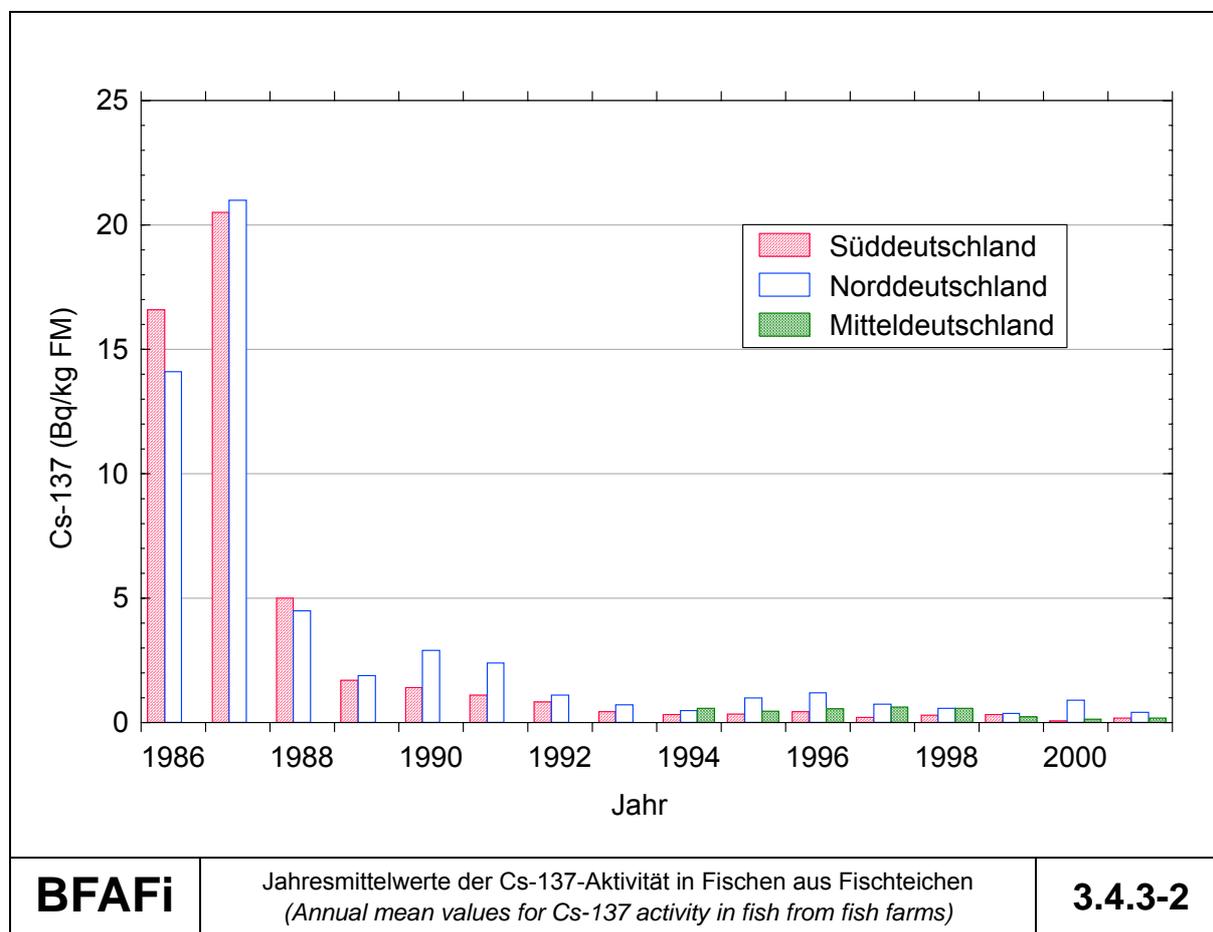
Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abb. 3.4.3-2 und 3.4.3-3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

Für die wirtschaftlich bedeutsamsten Fische aus Binnengewässern (Forellen und Karpfen) sind die mittleren Cs-137-Gehalte (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 3.4.3-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Gehalte ergibt, dass bis 2000 (vgl. Abb. 3.4.3-4) Forellen geringfügig niedriger kontaminiert waren als Karpfen, 2001 jedoch nicht mehr.

Tabelle 3.4.3-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2001)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2001)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

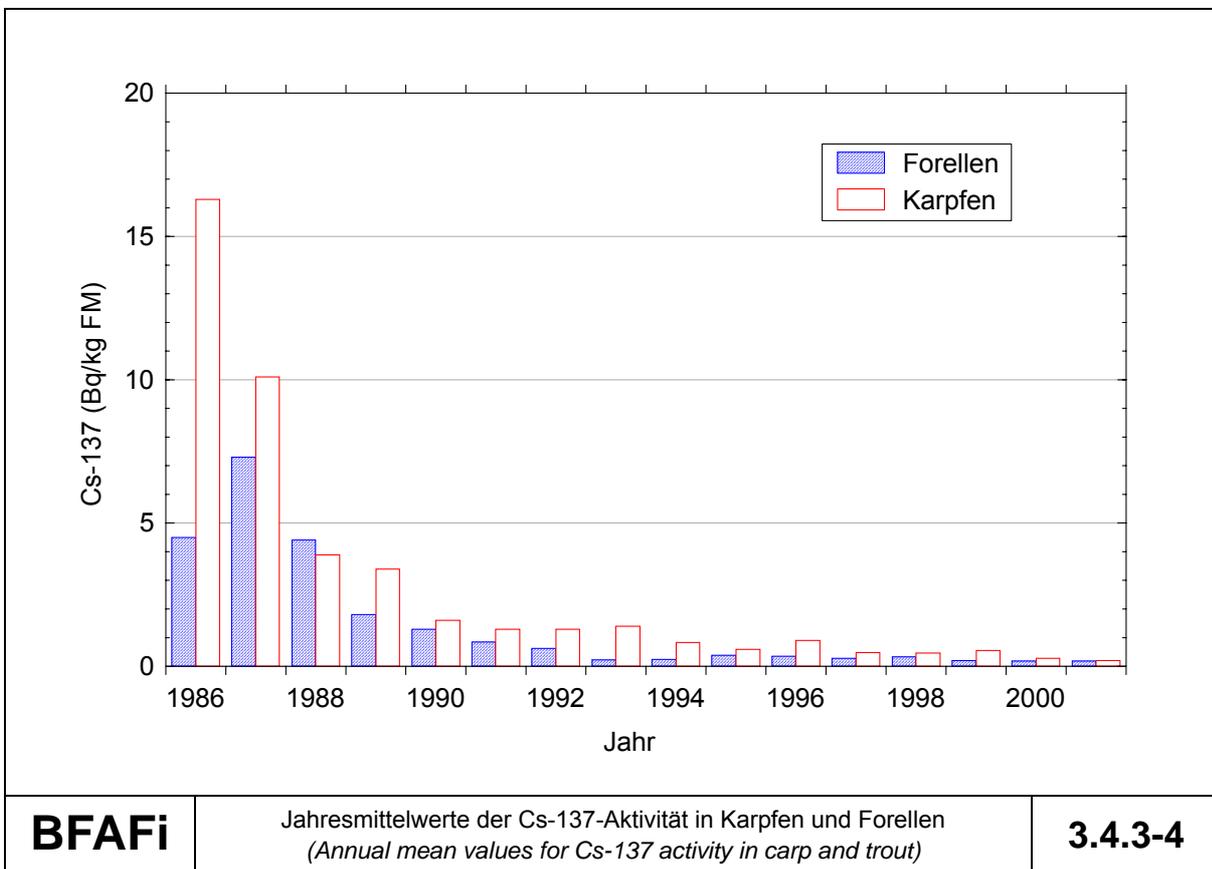
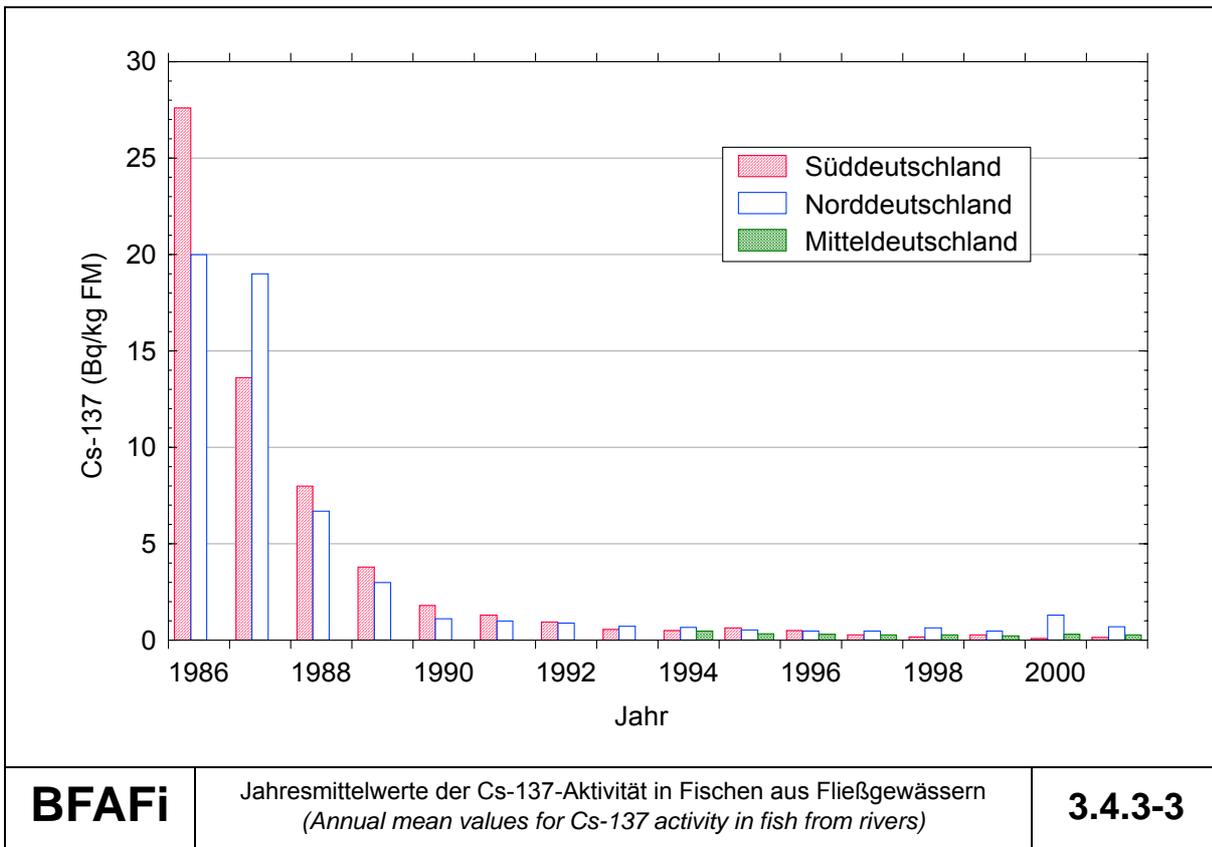
Fisch	N	Anzahl < NWG	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Forellen	50	19	0,10	1,2	0,18
Karpfen	47	12	0,10	21	0,20

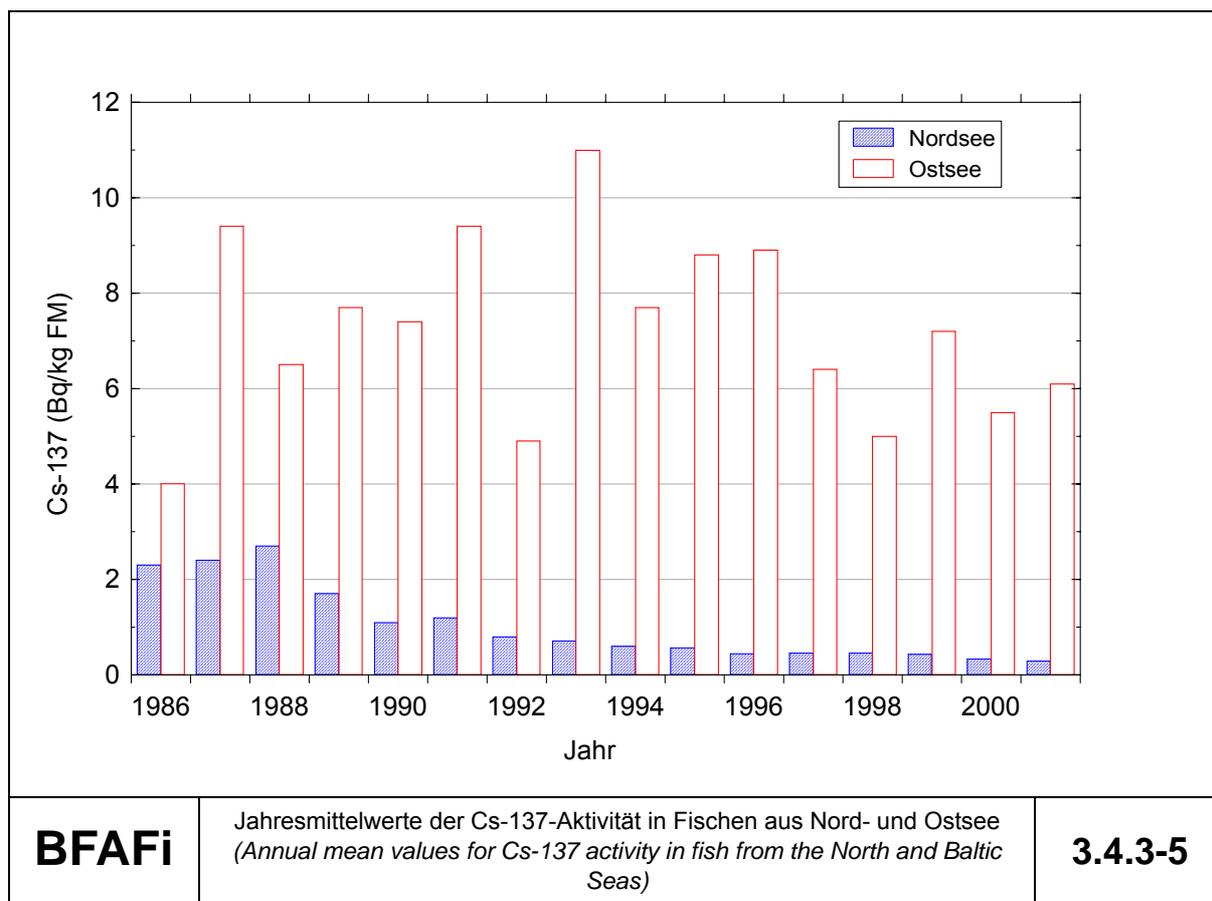


BFAFi

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

3.4.3-2





BFAFi

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

3.4.3-5

In Tabelle 3.4.3-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätsgehalte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt, wobei hier die Messungen der Leitstelle einbezogen wurden. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2001 die meisten Cs-137-Werte unter maximal 1,7 Bq/kg, im Mittel bei etwa 0,29 Bq/kg (2000: 0,33 Bq/kg).

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zum mittleren Cs-137-Gehalt schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig den Cs-137-Gehalt im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abb. 3.4.3-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherem Cs-137-Gehalt aus der östlichen Ostsee (2001: maximal 26 Bq/kg) von Jahr zu Jahr variieren kann.

Tabelle 3.4.3-3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2001)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2001)

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

Gewässer	Probenart	N	Anzahl < NWG	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Nordsee	Fische	56	2	0,08	1,7	0,29
	Garnelen	13	11	0,092	0,17	0,089
	Miesmuscheln	13	9	<0,1	0,28	0,092
Ostsee	Fische	39	0	0,28	26	6,1

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelenfleisch wiesen einen Cs-137-Gehalt von 0,09 Bq/kg (2000: <0,13 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln betrug er ebenfalls etwa 0,09 Bq/kg (2000: <0,13 Bq/kg); vgl. Tabelle 3.4.3-3.

Die im Jahr 2001 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 3.4.3-4) lagen bei 1,0 Bq/kg (2000: 0,58 Bq/kg), diejenigen für Seefisch sowie Krusten- und Schalentiere (Tab. 3.4.3-4) waren vergleichbar mit den entsprechenden für die Nordsee in Tab. 3.4.3-3 angegebenen Werten.

Tabelle 3.4.3-4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren sowie Fischereierzeugnissen (2001)
(*Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2001*)
Messungen der Bundesländer

Probenart	N	Anzahl < NWG	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Süßwasserfisch	51	14	<0,1	18	1,0
Seefisch	113	25	<0,1	18	0,25
Krusten- u. Schalentiere	17	15	<0,1	0,35	<0,13
Fischerzeugnisse	9	5	<0,1	0,35	0,11

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 3.4.3-5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, ähnlich wie bei Cs-137, dass der Sr-90-Gehalt bei Binnenseen etwa zwei mal so groß war wie bei Fließgewässern und Fischteichen. Bei Fischen aus Binnenseen hat sich der Sr-90-Wert gegenüber dem Vorjahr (2000: 0,036 Bq/kg) praktisch nicht geändert.

Tabelle 3.4.3-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2001)
(*Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2001*)
Messungen der Bundesländer

Probenart	Gewässer	N	Anzahl <NWG	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Sr-90-Aktivität (Bq/kg FM)		
Fisch	Binnenseen	15	1	0,011	0,24	0,034
	Fischteiche	8	0	0,012	0,046	0,019
	Fließgewässer	12	6	<0,005	0,043	0,012
	Meere	4	2	0,006	0,038	0,0054
Garnelen	Nordsee	12	6	<0,02	0,12	0,041
Miesmuscheln	Nordsee	12	5	<0,02	0,036	0,024

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während zweier Fahrten mit dem FFS "Walther-Herwig-III" im August/September sowie im Dezember genommen. Da die Leitstelle durch einen sich länger hinziehenden Laborumzug bedingt ab Dezember 2001 bis zum Redaktionsschluss dieses Berichtes keine eigenen Laboranalysen durchführen konnte, standen Ergebnisse von der Dezember-Fahrt bei Redaktionsschluss noch nicht zur Verfügung.

Tabelle 3.4.3-6 zeigt die Ergebnisse für Fischproben aus der Nordsee (Herbst 2001), die nach Veraschung bisher nur γ -spektrometrisch, aber noch nicht auf **Strontium-90**, **Plutonium**-Isotope und **Americium-241** untersucht wurden. Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung zur Tabelle 3.4.3-3 eingegangen. Messwerte der im Dezember 2001 genommenen Proben stehen noch aus. Mittlere Cs-137-Gehalte lagen nach Tabelle 3.4.3-6, abhängig von der Fischart, zwischen 0,22 und 0,54 Bq/kg. Das mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnis war wie schon im Vorjahr nicht mehr signifikant bestimmbar.

Fischproben aus der Ostsee, die nur im Dezember 2001 genommen wurden, konnten bisher noch nicht untersucht werden.

Tabelle 3.4.3-6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee (2001)*(Radionuclide content in fish from the North Sea - year 2001)*

Ergebnisse einer "Walther-Herwig-III"-Fahrt im August/September 2001; Probeentnahme zwischen 53° und 57° Nord, Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei; Werte vom Dezember 2001 stehen noch aus

Probe	Radionuklid	N	Anzahl < NWG	Min. Wert bzw. Wert	Max. Wert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)	
Hering, Filet	Cs-137	2	0	0,27	0,37
Makrele, Fleisch	Cs-137	2	0	0,21	0,87
Schellfisch, Fleisch	Cs-137	1	0	0,22	
Scholle, Fleisch	Cs-137	1	0	0,43	
Sprotte, Gesamtfisch	Cs-137	2	0	0,31	0,34

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (6 Messungen, nn = 6): <0,024

Die Ergebnisse für Nordsee-Garnelenproben aus dem Nordfriesischen Watt und der Elbemündung, die 2001 über das Jahr verteilt genommen wurden, sind in Tab. 7 dargestellt. Diese Proben wurden zur Analyse verascht. Die sehr niedrigen Messwerte liegen bereits unterhalb derjenigen Nachweisgrenzen, die im Allgemeinen bei Direktmessung von 1 kg frischem Rohmaterial sowie kürzeren Messzeiten bei den Messungen der Ländermessstellen (vgl. Tab. 3.4.3-3) erreicht werden. Cs-134 wurde in den Proben nicht nachgewiesen. Die Ergebnisse radiochemischer Analysen stehen noch aus.

Tabelle 3.4.3-7 Radionuklidgehalte von Garnelen der Nordsee (2001)*(Radionuclide content in shrimps from the North Sea - year 2001)*

Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

Probe	Radionuklid	N	Anzahl < NWG	Min. Wert	Max. Wert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)	
Garnelenfleisch	Co-60	4	3	0,0090	<0,013
	Cs-137	4	0	0,039	0,051

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

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

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

Einzellebensmittel

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

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

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht 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 der Berechnung zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Aus diesen Gründen beinhaltet der gebildete Mittelwert einige Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Jahresmittelwerte berücksichtigt werden müssen.

**Tabelle 3.4.4-1: Weizen, Inland
(*Wheat, domestic production*)**

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2000	36	< 0,17	(< 0,05 - 0,28)	8	0,11	(0,08 - 0,15)
	2001	38	< 0,16	(< 0,02 - < 0,21)	9	0,21	(0,09 - 0,41)
Bayern	2000	43	< 0,18	(< 0,05 - 0,48)	5	0,21	(0,14 - 0,32)
	2001	44	0,14	(0,05 - 0,27)	5	0,32	(0,15 - 0,61)
Berlin	2000	2	< 0,07	(0,02 - < 0,13)	1	0,12	
	2001	1	< 0,07		1	0,18	
Brandenburg	2000	16	< 0,12	(< 0,10 - 0,17)	1	0,41	
	2001	16	< 0,12	(< 0,07 - 0,20)	1	0,32	
Bremen	2000	3	< 0,07	(0,02 - < 0,13)	1	0,15	
	2001	2	< 0,05	(< 0,02 - < 0,07)	-		
Hamburg	2000	3	< 0,09	(< 0,05 - < 0,11)	1	0,08	
	2001	5	0,09	(< 0,07 - < 0,10)	-		
Hessen	2000	4	< 0,13	(< 0,12 - < 0,15)	-		
	2001	8	< 0,13	(< 0,09 - < 0,16)	-		
Mecklenburg-Vorpommern	2000	32	< 0,12	(< 0,06 - < 0,18)	2	0,24	(0,18 - 0,29)
	2001	32	< 0,13	(< 0,08 - < 0,18)	2	0,19	(0,18 - 0,20)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Niedersachsen	2000	40	< 0,14	(< 0,01 - 0,66)	4	0,17	(0,15 - 0,18)
	2001	40	< 0,13	(< 0,07 - 0,29)	4	0,10	(< 0,02 - 0,14)
Nordrhein-Westfalen	2000	41	< 0,12	(< 0,04 - 0,33)	3	0,13	(0,10 - 0,17)
	2001	39	< 0,11	(< 0,04 - 0,20)	3	0,30	(0,17 - 0,54)
Rheinland-Pfalz	2000	24	< 0,18	(< 0,08 - 0,43)	-		
	2001	15	0,19	(< 0,06 - 0,37)	-		
Saarland	2000	3	< 0,23	(< 0,20 - 0,29)	1	0,02	
	2001	5	< 0,17	(< 0,02 - 0,23)	1	0,02	
Sachsen	2000	10	< 0,11	(< 0,05 - < 0,15)	3	0,10	(0,02 - 0,16)
	2001	10	< 0,10	(0,04 - < 0,14)	3	0,17	(0,13 - 0,22)
Sachsen-Anhalt	2000	14	< 0,13	(< 0,08 - 0,22)	4	0,16	(0,05 - 0,38)
	2001	14	< 0,12	(< 0,09 - 0,19)	4	0,08	(0,03 - 0,13)
Schleswig-Holstein	2000	31	< 0,10	(< 0,07 - 0,22)	4	0,24	(0,20 - 0,29)
	2001	9	< 0,14	(< 0,11 - < 0,19)	1	0,18	
Thüringen	2000	22	< 0,13	(< 0,09 - < 0,20)	1	0,04	
	2001	22	< 0,12	(< 0,09 - < 0,15)	1	0,05	
Bundesrepublik (gesamt)	2000	324	< 0,14	(< 0,01 - 0,66)	39	< 0,16	(0,02 - 0,41)
	2001	300	< 0,13	(< 0,02 - 0,37)	34	0,20	(< 0,02 - 0,61)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Importe	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2000	1	< 0,06
	2001	1	< 0,10
Frankreich	2000	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2001	2	0,15 (0,09 - < 0,20)
Großbritannien	2000	1	< 0,07
	2001	-	
Russland	2000	1	< 0,07
	2001	-	
Tschechische Republik	2000	1	0,10
	2001	-	
Türkei	2000	2	< 0,12 (0,10 - < 0,14)
	2001	4	< 0,20 (< 0,05 - < 0,14)
USA	2000	1	< 0,11
	2001	1	< 0,04
Ungarn	2000	-	
	2001	1	< 0,20

- Messung / Angabe nicht erforderlich

**Tabelle 3.4.4-3: Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr
(Other cereals, domestic production and import)**

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Gerste	2000	109	< 0,17	(< 0,03 - 1,02)	11	0,22	(0,15 - 0,29)
	2001	103	< 0,14	(< 0,04 - 0,27)	10	0,19	(0,12 - 0,33)
Hafer	2000	22	< 1,05	(< 0,10 - 8,28)	1	0,37	
	2001	18	< 0,66	(< 0,10 - 4,26)	3	0,29	(0,23 - 0,36)
Mais	2000	6	< 0,17	(< 0,10 - < 0,32)	-		
	2001	1	< 0,08		-		
Reis	2000	18	< 0,12	(< 0,03 - < 0,30)	-		
	2001	10	< 0,14	(0,04 - 0,32)	-		
Roggen	2000	181	< 0,19	(< 0,04 - 2,04)	17	0,18	(0,07 - 0,39)
	2001	176	< 0,19	(0,03 - 2,94)	13	0,27	(0,06 - 0,89)
Sonstige	2000	14	< 0,36	(< 0,08 - 2,83*)	-		
	2001	18	< 0,24	(0,06 - 0,77)	2	0,15	(< 0,01 - 0,29)

*) Buchweizenkörner, Import Russland, Mittelwert (Bereich) ohne diese Einzelprobe (2,83): < 0,17 (< 0,08 - < 0,3
- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2000	7	< 2,58 (< 0,20 - 10,9)
	2001	8	< 1,12 (< 0,25 - 2,95)
Bayern	2000	8	< 0,56 (< 0,15 - 1,10)
	2001	8	0,51 (0,20 - 0,79)
Berlin	2000	3	0,18 (0,17 - 0,20)
	2001	2	< 0,18 (< 0,13 - 0,23)
Brandenburg	2000	3	3,47 (0,10 - 10,0)
	2001	3	1,20 (0,40 - 2,10)
Bremen	2000	2	0,79 (0,24 - 1,33)
	2001	4	0,93 (0,07 - 2,60)
Hamburg	2000	4	< 0,57 (0,25 - 0,90)
	2001	4	< 0,72 (< 0,14 - 1,47)
Hessen	2000	2	< 0,07 (< 0,07 - < 0,08)
	2001	1	< 0,13
Mecklenburg-Vorpommern	2000	10	1,78 (0,27 - 4,20)
	2001	6	1,34 (0,45 - 2,39)
Niedersachsen	2000	23	< 2,09 (< 0,17 - 21,0)
	2001	9	0,88 (0,10 - 1,43)
Nordrhein-Westfalen	2000	21	< 0,50 (< 0,08 - 1,05)
	2001	21	< 0,51 (< 0,12 - 1,89)
Rheinland-Pfalz	2000	2	< 0,32 (< 0,23 - 0,41)
	2001	3	< 0,63 (0,40 - 0,93)
Saarland	2000	8	< 0,30 (< 0,20 - 0,57)
	2001	8	< 0,27 (< 0,20 - 0,39)
Sachsen	2000	5	< 0,70 (< 0,11 - 2,16)
	2001	5	0,28 (0,10 - 0,58)
Sachsen-Anhalt	2000	3	0,62 (0,39 - 0,86)
	2001	3	< 0,43 (< 0,11 - 0,90)
Schleswig-Holstein	2000	2	0,69 (0,28 - 1,09)
	2001	-	
Thüringen	2000	2	< 0,15 (< 0,11 - 0,19)
	2001	2	< 0,11 (< 0,10 - < 0,11)
Bundesrepublik (gesamt)	2000	105	< 1,18 (< 0,07 - 21,0)
	2001	87	< 0,66 (0,77 - 2,95)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2000	33	< 0,27 (< 0,10 - 1,79)
	2001	34	< 0,35 (< 0,10 - 2,79)
Bayern	2000	67	< 0,53 (< 0,10 - 4,49)
	2001	64	< 0,52 (0,07 - 4,95)
Berlin	2000	6	< 0,33 (< 0,07 - 0,61)
	2001	7	< 1,40 (< 0,20 - 2,70)
Brandenburg	2000	32	< 2,19 (0,09 - 9,50)
	2001	32	< 2,76 (< 0,10 - 13,0)
Bremen	2000	7	< 1,65 (0,01 - 4,64)
	2001	5	0,74 (0,09 - 2,45)
Hamburg	2000	10	< 1,25 (< 0,07 - 9,65)
	2001	8	< 1,55 (0,07 - 6,89)
Hessen	2000	7	< 0,36 (< 0,03 - 1,95)
	2001	4	< 0,24 (< 0,16 - 0,32)
Mecklenburg-Vorpommern	2000	30	< 1,56 (< 0,04 - 9,52)
	2001	35	< 1,44 (< 0,06 - 6,36)
Niedersachsen	2000	54	< 1,46 (0,08 - 12,5)
	2001	27	< 1,26 (0,10 - 11,0)
Nordrhein-Westfalen	2000	42	< 0,26 (< 0,06 - 0,76)
	2001	33	< 0,34 (0,06 - 2,87)
Rheinland-Pfalz	2000	11	< 0,21 (< 0,10 - 0,53)
	2001	11	< 0,32 (< 0,10 - 0,75)
Saarland	2000	14	< 0,20 (< 0,20 - 0,22)
	2001	15	< 0,22 (< 0,20 - 0,48)
Sachsen	2000	30	< 0,58 (< 0,09 - 6,19)
	2001	29	< 0,36 (< 0,10 - 1,68)
Sachsen-Anhalt	2000	24	< 1,26 (< 0,08 - 7,76)
	2001	24	< 0,48 (< 0,07 - 3,89)
Schleswig-Holstein	2000	28	< 0,70 (< 0,10 - 7,25)
	2001	5	< 0,41 (< 0,09 - 1,57)
Thüringen	2000	22	< 0,13 (< 0,11 - 0,31)
	2001	24	< 0,12 (< 0,08 - 0,37)
Bundesrepublik (gesamt)	2000	416	< 0,85 (< 0,01 - 12,5)
	2001	357	< 0,81 (< 0,06 - 13,0)

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2000	19	< 0,19	(< 0,10 - < 0,26)
	2001	17	< 0,19	(< 0,19 - 0,28)
Bayern	2000	35	<0,27	(< 0,10 - 1,09)
	2001	35	< 0,33	(< 0,10 - 1,26)
Berlin	2000	6	0,36	(0,22 - 0,49)
	2001	6	< 0,35	(< 0,08 - 0,60)
Brandenburg	2000	27	< 0,36	(< 0,06 - 2,80)
	2001	26	< 0,42	(< 0,09 - 2,90)
Bremen	2000	6	0,15	(0,11 - 0,18)
	2001	6	0,63	(0,10 - 2,08)
Hamburg	2000	10	< 0,16	(< 0,07 - < 0,41)
	2001	10	< 0,17	(< 0,08 - 0,27)
Hessen	2000	7	< 0,10	(< 0,07 - < 0,19)
	2001	4	< 0,13	(< 0,12 - < 0,17)
Mecklenburg - Vorpommern	2000	26	< 0,34	(< 0,08 - 1,15)
	2001	34	< 0,22	(0,05 - 0,64)
Niedersachsen	2000	95	< 0,25	(< 0,07 - 1,43)
	2001	52	< 0,24	(< 0,07 - 1,42)
Nordrhein-Westfalen	2000	65	< 0,18	(< 0,07 - 1,00)
	2001	67	< 0,18	(< 0,07 - 1,20)
Rheinland-Pfalz	2000	9	< 0,24	(0,09 - 0,54)
	2001	9	< 0,29	(< 0,10 - 0,45)
Saarland	2000	9	< 0,22	(< 0,20 - 0,39)
	2001	9	< 0,21	(< 0,20 - 0,31)
Sachsen	2000	23	< 0,23	(0,09 - 0,80)
	2001	23	< 0,21	(0,10 - 0,69)
Sachsen-Anhalt	2000	37	< 0,22	(< 0,08 - 0,61)
	2001	36	< 0,27	(< 0,08 - 1,56)
Schleswig-Holstein	2000	19	< 0,17	(< 0,09 - 0,38)
	2001	13	< 0,20	(< 0,09 - 0,78)
Thüringen	2000	21	< 0,23	(< 0,10 - 1,39)
	2001	20	< 0,14	(< 0,08 - 0,26)
Bundesrepublik (gesamt)	2000	414	< 0,24	(< 0,06 - 2,80)
	2001	367	< 0,25	(0,05 - 2,90)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Lamm/Schaf	2000	24	< 1,47 (< 0,07 - 14,2)
	2001	10	< 0,18 (< 0,02 - 0,56)
Ente	2000	17	< 0,15 (< 0,06 - 0,32)
	2001	22	< 0,16 (0,06 - < 0,48)
Gans	2000	26	< 0,15 (< 0,06 - 0,40)
	2001	14	< 0,15 (< 0,08 - 0,47)
Pute	2000	52	< 0,14 (< 0,08 - < 0,33)
	2001	56	< 0,15 (< 0,03 - 0,65)
Huhn/Hähnchen	2000	139	< 0,17 (< 0,02 - 1,15)
	2001	118	< 0,18 (0,04 - 0,81)
Hühnereier	2000	22	< 0,14 (< 0,08 - < 0,20)
	2001	1	< 0,10

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Damwild	2000	10	< 19,74 (< 0,11 - 51,0)
	2001	8	37,32 (0,25 - 75,2)
Hirsch	2000	34	< 26,08 (< 0,06 - 222)
	2001	33	< 17,94 (0,14 - 114)
Känguru	2000	-	
	2001	-	
Reh	2000	171	< 57,08 (< 0,17 - 874)
	2001	169	< 33,84 (0,12 - 638)
Wild, Kaninchen	2000	10	< 0,83 (< 0,15 - 6,64)
	2001	-	
Wild, Hase	2000	1	< 0,12
	2001	2	< 0,20 (< 0,14 - 0,25)
Wildschwein	2000	103	< 131,82 (< 0,05 - 1480)
	2001	253	< 73,82 (< 0,05 - 1270) *)

*) Im Rahmen von laufenden Forschungsvorhaben, die vom BfS betreut werden, wurden im Einzelfall Werte von mehreren zehntausend Bq/kg gemessen

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.4.4-9: Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2000	11	< 0,27	(< 0,05 - 1,34)	1	0,03	
	2001	8	< 0,13	(< 0,04 - < 0,20)	-		
Bayern	2000	35	< 0,21	(0,08 - 0,80)	3	0,07	(0,04 - 0,13)
	2001	34	< 0,21	(< 0,10 - 0,56)	3	0,09	(0,06 - 0,12)
Berlin	2000	3	< 0,11	(< 0,04 - 0,20)	1	0,04	
	2001	2	< 0,07	(< 0,05 - 0,09)	1	0,02	
Brandenburg	2000	12	< 0,17	(< 0,07 - 0,77)	1	0,02	
	2001	12	< 0,14	(< 0,09 - 0,40)	-		
Bremen	2000	2	0,10	(0,09 - 0,11)	-		
	2001	2	0,05	(0,03 - 0,07)	-		
Hamburg	2000	2	< 0,14	(< 0,12 - 0,16)	-		
	2001	2	< 0,12	(< 0,10 - < 0,12)	-		
Hessen	2000	1	< 0,09		-		
	2001	3	< 0,13	(< 0,10 - < 0,16)	-		
Mecklenburg-Vorpommern	2000	13	< 0,09	(< 0,04 - 0,16)	1	0,02	
	2001	13	< 0,09	(< 0,04 - < 0,14)	1	0,02	
Niedersachsen	2000	73	< 0,15	(< 0,06 - 0,48)	4	< 0,02	(< 0,01 - 0,02)
	2001	42	< 0,15	(< 0,05 - 0,32)	4	< 0,03	(< 0,02 - 0,05)
Nordrhein-Westfalen	2000	20	< 0,17	(< 0,05 - 0,35)	5	0,09	(0,04 - 0,19)
	2001	21	< 0,14	(< 0,05 - 0,24)	5	< 0,05	(0,02 - 0,16)
Rheinland-Pfalz	2000	6	< 0,12	(< 0,03 - < 0,29)	2	0,04	(0,03 - 0,05)
	2001	3	< 0,30	(< 0,25 - 0,34)	-		
Saarland	2000	3	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)	-		
	2001	3	< 0,20	(< 0,20 - < 0,20)	-		
Sachsen	2000	10	< 0,11	(< 0,05 - < 0,14)	1	0,03	
	2001	10	< 0,11	(< 0,07 - 0,18)	1	0,03	
Sachsen-Anhalt	2000	10	< 0,15	(< 0,07 - 0,51)	2	0,05	(0,04 - 0,05)
	2001	11	< 0,18	(< 0,08 - 0,48)	2	0,03	(0,02 - 0,03)
Schleswig-Holstein	2000	6	< 0,14	(< 0,09 - 0,21)	1	0,08	
	2001	1	0,10		-		
Thüringen	2000	6	< 0,12	(< 0,11 - < 0,14)	1	0,02	
	2001	6	< 0,11	(< 0,09 - < 0,14)	1	0,02	
Bundesrepublik (gesamt)	2000	213	< 0,16	(< 0,03 - 1,34)	23	< 0,05	(< 0,01 - 0,19)
	2001	173	< 0,15	(0,03 - 0,56)	18	< 0,04	(< 0,02 - 0,16)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.4.4-10: Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(*Fresh vegetables, domestic production and import*)

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2000	713	< 0,16 (< 0,01 - 1,70)	86	< 0,18 (< 0,01 - 0,77)
	2001	569	< 0,19 (< 0,02 - 12,2)	61	< 0,18 (< 0,02 - 0,83)
Fruchtgemüse	2000	241	< 0,14 (< 0,01 - 0,83)	14	0,09 (0,03 - 0,22)
	2001	196	< 0,15 (< 0,03 - 0,55)	7	0,08 (0,04 - 0,17)
Sprossgemüse	2000	244	< 0,14 (< 0,02 - 1,50)	14	< 0,08 (< 0,01 - 0,37)
	2001	239	< 0,13 (< 0,02 - < 0,39)	21	0,11 (0,01 - 0,56)
Wurzelgemüse	2000	206	< 0,15 (< 0,01 - 0,78)	16	< 0,12 (< 0,01 - 0,25)
	2001	173	< 0,16 (< 0,04 - 0,93)	11	< 0,13 (< 0,02 - 0,40)
Hülsenfrüchte	2000	1	0,43	-	-
	2001	1	< 0,13	-	-
Kräuter	2000	7	< 1,50 (< 0,17 - < 3,24)	-	-
	2001	14	< 0,71 (< 0,07 - 2,92)	-	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2000	27	< 0,33 (< 0,03 - 1,61)
	2001	9	< 0,40 (< 0,17 - 1,52)
<u>Waldröhrenpilze</u>			
Maronenröhrling	2000	56	200 (2,39 - 616)
	2001	52	263 (2,30 - 1500)
Steinpilz	2000	43	63,9 (3,00 - 265)
	2001	61	56,3 (0,54 - 663)
sonstige Waldröhrenpilze	2000	36	100 (1,63 - 552)
	2001	44	< 91,9 (0,28 - 414)
<u>sonstige Waldpilze</u>			
Keulen- und Korallenpilze	2000	2	101,2 (12,3 - 190)
	2001	9	30,4 (1,90 - 203)
Pfifferling	2000	78	49,4 (0,38 - 473)
	2001	84	91,2 (0,86 - 645)
Riesenbovist	2000	2	0,47 (0,43 - 0,50)
	2001	1	< 0,24
Wildblätterpilze	2000	51	< 80,4 (0,13 - 2200)
	2001	68	< 55,6 (< 0,17 - 610)
Wildschlauchpilze	2000	1	< 0,49
	2001	-	-
Wildstachelpilze	2000	2	406 (285 - 526)
	2001	2	133,8 (17,5 - 250)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 3.4.4-12: Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr
(Fruit and rhubarb, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Erdbeeren und sonstige	2000	92	< 0,13	(< 0,01 - 0,28)	7	0,05	(0,01 - 0,09)
	2001	117	< 0,13	(< 0,04 - 0,35)	8	0,11	(0,02 - 0,33)
Exotische Früchte	2000	14	< 0,14	(< 0,02 - 0,29)	-		
	2001	9	< 0,11	(< 0,02 - < 0,20)	-		
Kernobst	2000	222	< 0,14	(< 0,01 - 0,28)	18	<0,03	(0,01 - 0,06)
	2001	178	< 0,13	(< 0,02 - 0,34)	12	0,04	(0,01 - 0,21)
Rhabarber	2000	25	< 0,15	(< 0,02 - < 0,20)	3	0,12	(0,05 - 0,21)
	2001	23	< 0,15	(< 0,07 - < 0,20)	3	0,15	(0,07 - 0,27)
Steinobst	2000	111	< 0,13	(0,02 - 0,50)	9	0,06	(0,03 - 0,13)
	2001	124	< 0,13	(< 0,03 - 0,47)	12	0,06	(0,03 - 0,15)
Strauchbeeren	2000	44	< 0,12	(0,01 - 0,26)	4	0,11	(0,07 - 0,20)
	2001	29	< 0,15	(< 0,04 - 0,44)	5	0,09	(0,05 - 0,18)
Wildbeeren	2000	17	< 60,82	(< 0,20 - 450)	1	1,28	
	2001	15	16,76	(0,21 - 80,9)	-		
Zitrusfrüchte	2000	20	< 0,12	(< 0,01 - < 0,20)	2	0,03	(0,02 - 0,05)
	2001	11	< 0,10	(0,02 - < 0,22)	-		

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Fruchtsäfte	2000	10	< 0,20 (< 0,10 - 0,29)
	2001	1	1,50
Zitrusfruchtsäfte	2000	1	< 0,10
	2001	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	2000	31	< 1,71 (< 0,10 - 35,3)
	2001	13	< 0,58 (< 0,07 - 3,30)
Blütenhonig	2000	20	< 63,1 (0,08 - 458)
	2001	35	< 49,5 (< 0,09 - 382)
Honigtauhonig u. Mischung	2000	-	
	2001	-	
Waldhonig	2000	2	< 16,4 (< 0,20 - 32,5)
	2001	-	
Kaffee	2000	5	< 0,35 (< 0,20 - 0,70)
	2001	3	< 0,40 (< 0,35 - < 0,46)
Tee, schwarz	2000	28	< 3,58 (< 0,23 - 59,7)
	2001	-	
Teeähnliche Erzeugnisse	2000	6	< 14,1 (< 0,14 - 81,6)
	2001	3	< 5,74 (< 0,35 - 11,1)
Ölsamen	2000	3	< 0,17 (< 0,14 - 0,22)
	2001	9	< 0,19 (< 0,12 - 0,38)
Schalenobst	2000	23	< 0,53 (< 0,06 - 3,42)
	2001	10	< 0,71 (< 0,05 - 4,00)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Jahr	Strontium-90 (Bq/kg FM)			Cäsium-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalb- fleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14*
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13*
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13*
1998	< 0,18	< 0,06	< 0,03 *	< 1,05	< 0,25	< 1,08	< 0,13	< 0,16	< 0,14 *
1999	< 0,20	< 0,04	< 0,07 *	< 1,05	< 0,22	< 0,96	< 0,12	< 0,14	< 0,12 *
2000	< 0,16	< 0,05	< 0,03 *	< 0,85	< 0,24	< 1,18	< 0,14	< 0,16	< 0,14 *
2001	< 0,20	< 0,04	< 0,04 *	< 0,81	< 0,25	< 0,66	< 0,13	< 0,15	< 0,13 *

* Inland und Einfuhr

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche Cäsium-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2001 mit 0,22 Bq/(d · p) (d = Tag; p = Person) nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss.

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

Die mittlere jährliche ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Sr-90 40 Bq/(a · p)
 Cs-137 80 Bq/(a · p)

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

Monat	Jahr	Cs-137 Bq/(d · p) (d=Tag, p=Person)			Sr-90 Bq/(d · p) (d=Tag, p=Person)		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Januar	2000	94	< 0,22	(< 0,05 - 2,80)	22	< 0,12	(0,002 - 0,42)
	2001	96	< 0,21	(< 0,03 - 1,45)	17	< 0,10	(< 0,04 - 0,19)
Februar	2000	83	< 0,34	(< 0,06 - 5,79)	18	< 0,13	(0,01 - 0,47)
	2001	81	< 0,21	(< 0,04 - 1,10)	20	< 0,12	(< 0,02 - 0,38)
März	2000	93	< 0,22	(< 0,05 - 1,86)	17	0,11	(0,01 - 0,23)
	2001	81	< 0,19	(0,04 - 0,82)	18	< 0,10	(0,02 - 0,31)
April	2000	87	< 0,25	(< 0,04 - 1,60)	19	< 0,09	(< 0,04 - 0,20)
	2001	82	< 0,22	(< 0,05 - 0,70)	19	< 0,13	(0,03 - 0,42)
Mai	2000	92	< 0,22	(< 0,05 - 1,04)	18	< 0,13	(< 0,003 - 0,63)
	2001	88	< 0,24	(0,01 - 1,87)	15	0,12	(0,01 - 0,24)
Juni	2000	82	< 0,19	(< 0,05 - 1,87)	18	< 0,12	(0,03 - 0,26)
	2001	83	< 0,20	(0,05 - 1,12)	20	0,10	(0,01 - 0,20)
Juli	2000	89	< 0,62	(0,04 - 36,0)	22	< 0,11	(0,03 - 0,29)
	2001	85	< 0,19	(0,04 - 0,56)	17	0,10	(0,01 - 0,20)
August	2000	98	< 0,22	(0,05 - 1,70)	18	0,12	(0,01 - 0,31)
	2001	88	< 0,20	(< 0,05 - 0,55)	15	< 0,10	(0,01 - 0,20)
September	2000	85	< 0,20	(0,04 - 0,50)	18	< 0,14	(< 0,04 - 0,41)
	2001	79	< 0,20	(0,03 - 0,46)	18	< 0,12	(< 0,04 - 0,32)
Oktober	2000	96	< 0,32	(0,05 - 8,15)	18	0,10	(0,01 - 0,20)
	2001	85	< 0,27	(0,02 - 3,40)	18	< 0,10	(0,01 - 0,21)
November	2000	90	< 0,23	(0,04 - 1,88)	16	0,11	(0,02 - 0,21)
	2001	88	< 0,30	(0,03 - 6,43)	14	0,13	(0,04 - 0,30)
Dezember	2000	79	< 0,25	(< 0,05 - 1,56)	14	0,13	(0,08 - 0,22)
	2001	73	< 0,18	(0,02 - 0,42)	14	< 0,11	(0,02 - 0,36)
Jahr (gesamt)	2000	1068	< 0,27	(< 0,04 - 36,0)	218	< 0,12	(0,002 - 0,63)
	2001	1009	< 0,22	(0,01 - 6,43)	205	< 0,11	(0,01 - 0,42)

**Tabelle 3.4.4-17: Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)**

Monat	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	2000	31	< 0,18 (< 0,02 - 1,14)	10	0,05 (0,03 - 0,17)
	2001	19	< 0,51 (0,03 - 5,80)	7	< 0,03 (0,02 - 0,05)
Februar	2000	33	< 0,23 (< 0,05 - 1,46)	5	0,08 (0,03 - 0,17)
	2001	18	< 0,40 (< 0,08 - 4,35)	3	0,04 (0,01 - 0,06)
März	2000	25	< 0,17 (< 0,05 - 0,80)	4	0,04 (0,01 - 0,07)
	2001	20	< 0,21 (< 0,05 - 1,66)	6	0,05 (0,02 - 0,07)
April	2000	28	< 0,26 (< 0,04 - 2,70)	7	< 0,05 (0,01 - 0,17)
	2001	22	< 0,16 (< 0,01 - 1,24)	6	< 0,03 (0,002 - 0,04)
Mai	2000	27	< 0,30 (0,02 - 3,20)	5	0,09 (0,02 - 0,20)
	2001	22	< 0,21 (< 0,03 - 1,72)	3	< 0,03 (< 0,02 - 0,04)
Juni	2000	25	< 0,14 (0,05 - 0,40)	5	0,03 (0,004 - 0,04)
	2001	18	< 0,12 (< 0,01 - 0,20)	5	0,11 (0,02 - 0,35)
Juli	2000	29	< 0,16 (0,03 - 1,19)	10	0,08 (0,02 - 0,38)
	2001	20	< 0,15 (0,03 - 0,93)	9	0,03 (0,01 - 0,04)
August	2000	27	< 0,24 (< 0,04 - 1,89)	3	0,03 (0,01 - 0,06)
	2001	23	< 0,76 (< 0,03 - 14,1)	-	
September	2000	26	< 0,19 (< 0,06 - 0,79)	3	0,08 (0,04 - 0,11)
	2001	20	< 0,13 (0,05 - 0,21)	3	0,08 (0,04 - 0,11)
Oktober	2000	19	< 0,18 (0,04 - 1,50)	4	0,03 (0,03 - 0,04)
	2001	14	< 0,16 (0,04 - 0,91)	3	0,03 (< 0,02 - 0,04)
November	2000	24	< 0,22 (< 0,05 - 1,76)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
	2001	23	< 0,12 (< 0,02 - < 0,27)	4	0,04 (< 0,04 - 0,07)
Dezember	2000	25	< 0,33 (< 0,03 - 2,70)	2	0,03 (0,02 - 0,05)
	2001	18	< 0,19 (0,03 - 0,75)	1	0,03
Jahr (gesamt)	2000	319	< 0,22 (0,02 - 3,20)	60	< 0,06 (0,004 - 0,38)
	2001	237	< 0,26 (< 0,01 - 14,1)	50	< 0,04 (0,002 - 0,35)

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

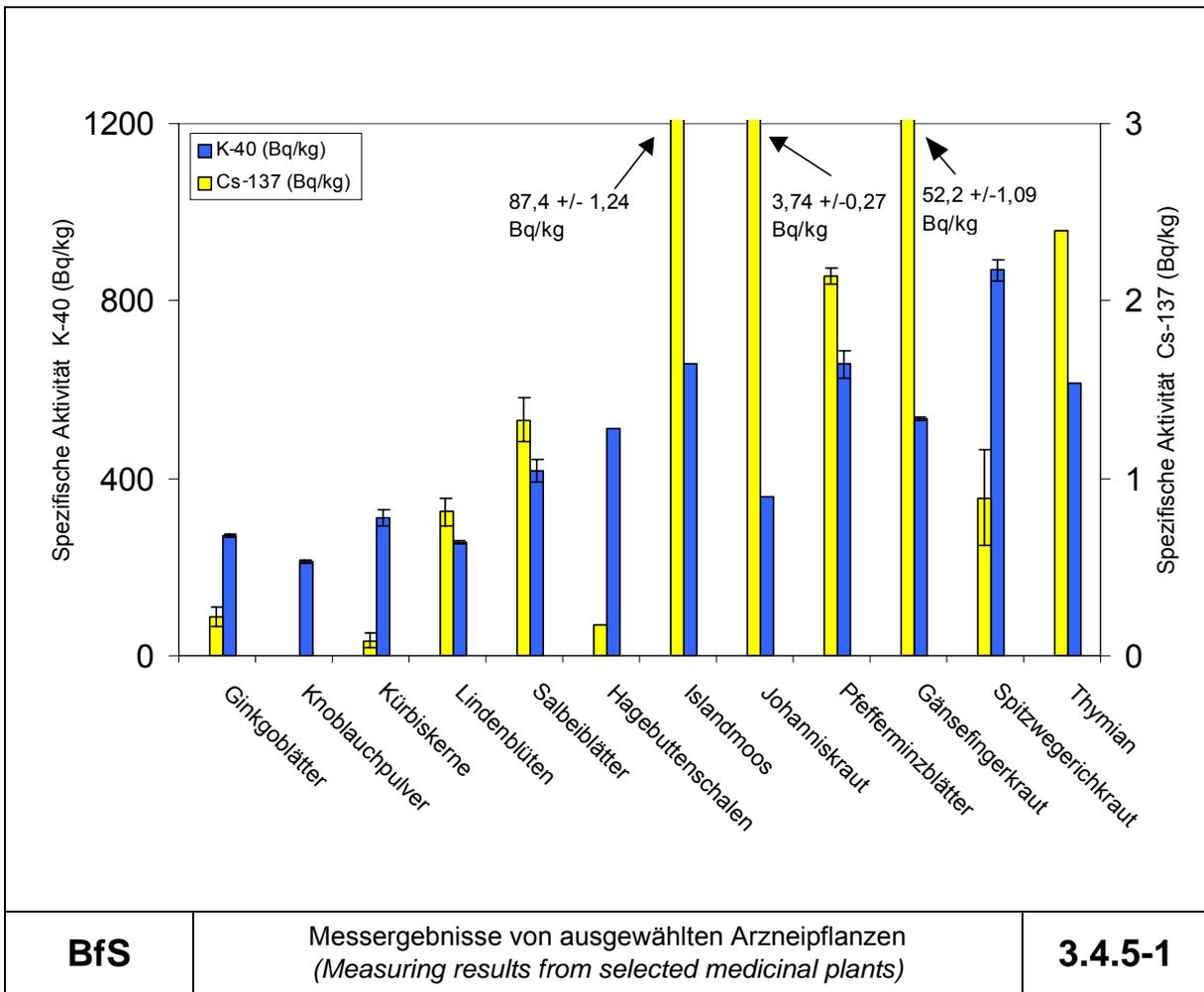
Die Funktion einer Leitstelle gemäß § 11 StrVG zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Tabakerzeugnissen, Bedarfsgegenständen sowie Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffe wird vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Institut für Strahlenhygiene (ISH), erfüllt. Einige Arzneimittelpflanzen stellen auch die Grundlage für Gewürze dar. Zur Vermeidung von Doppelbestimmungen wurde 1990 eine Absprache mit der Bundesanstalt für Ernährung in Karlsruhe (BfE) getroffen, wonach Gewürze ebenfalls von der Leitstelle für Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände sowie Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe bestimmt werden.

Für die Bereiche Tabakerzeugnisse und Arzneimittelpflanzen sind im Messprogramm für den Normalbetrieb Messungen zu Vergleichszwecken vorgeschrieben. Dies gilt ebenso für Bedarfsgegenstände und Ausgangsstoffe von Arzneimitteln. Die von der Leitstelle durchgeführten Messungen der γ -Aktivität sichern die fachliche Kompetenz und dienen zur Gewinnung von Referenzwerten.

Die im Rahmen der Überwachung untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammten aus verschiedenen, meistens europäischen Ländern. In fast allen γ -spektrometrisch untersuchten Pflanzenproben wurden außer Cäsium-137 keine weiteren künstlichen Nuklide nachgewiesen. Die einzige Ausnahme ist Islandmoos aus Jugoslawien, in dem 0,4 Bq Cs-134 pro kg TM gefunden wurden. Die spezifischen Aktivitäten liegen im Bereich des Vorjahres. Schwankungen sind auf die verschiedene Sortenauswahl und die unterschiedlichen Herkunftsregionen zurückzuführen.

Arzneimittelpflanzen weisen je nach Sorte, Bodentyp und Region unterschiedliche Gehalte von Cäsium-137 auf. Produkte von Wald- und Heidestandorten ergeben auf Grund des Bodentyps generell höhere Cäsiumaktivitäten als pflanzliche Produkte aus landwirtschaftlichem Anbau. So wurde in Islandmoos aus Jugoslawien aus dem Erntejahr 2001 87 Bq Cs-137 pro kg TM gemessen. Islandmoos ist ein ausgewiesener Akkumulator von Cäsium-137. In polnischem Gänsefingerkraut bzw. bulgarischem Johanniskraut der letztjährigen Ernte wurden 52 bzw. 4 Bq Cs-137 pro kg TM nachgewiesen. In Wacholderbeeren aus Bulgarien wurden 6 Bq Cs-137 pro kg TM gemessen. Die Cäsium-137-Gehalte der übrigen untersuchten Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe lagen z.T. deutlich unter 3 Bq Cs-137 pro kg TM.

Der Gehalt des natürlich vorkommenden Radionuklids Kalium-40 wurde auch in Arzneimittelpflanzen gemessen. Die spezifische Aktivität schwankte von minimal 180 Bq K-40 pro kg TM bei Zimtrinde bis maximal 880 Bq K-40 pro kg TM bei polnischem Spitzwegerichkraut und 1250 Bq K-40 pro kg TM bei bulgarischen Brennesselblättern. Der Kalium-40-Gehalt der meisten untersuchten Proben bewegte sich zwischen 250 und 650 Bq K-40 pro kg TM.



3.5 Abwasser und Klärschlamm (Waste water and sludge)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Diesem Bericht für das Jahr 2001 liegen die Messergebnisse aus 90 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Probenentnahmen der amtlichen Messstellen der Länder zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt entsprechend dem Routinemessprogramm erfolgten zum größten Teil an den gleichen Stellen wie im Vorjahr.

Als Abwässer wurden gereinigte kommunale Abwässer (Klarwässer) aus den Abläufen der Kläranlagen untersucht. Die Messwerte für Klärschlämme beziehen sich vorzugsweise auf konditionierte oder stabilisierte Schlämme in der Form, in der sie die Kläranlagen verlassen, z. B. auf teilentwässerte Schlämme, Faulschlämme usw.

In Tabelle 3.5-1 sind die ausgewerteten Daten in stark verdichteter Form zusammengestellt. Angegeben wird jeweils die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der untersuchten Proben mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte, arithmetische Mittel- und zusätzlich die Medianwerte der Gehalte an Kalium-40, Kobalt-60, den Cäsiumisotopen Cs-134 und Cs-137, Jod-131, Strontium-90 und den Uranisotopen. Sämtliche Zahlenwerte sind auf zwei signifikante Stellen gerundet.

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm variieren in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2001 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1200 Bq/kg TM (Vorjahr bis 770 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 170 bzw. 160 Bq/kg TM (Vorjahr 150 bzw. 130 Bq/kg TM).

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 wurde nur in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 42 Bq/kg TM; Maximalwert: 2300 Bq/kg TM, Vorjahr 41 bzw. 970 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m. In einer Kläranlage wurden – wie in den Vorjahren – im Schlamm Spuren von Co-60 festgestellt. Plutoniumisotope konnten von den Messstellen nicht nachgewiesen werden.

Von den infolge des Kernkraftwerksunfalls in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten ist für Abwässer und Klärschlämme nur noch Cs-137 von Bedeutung. Die im Vergleich zu der Zeit vor dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl z. T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Abwasser lagen zu 95% und von Cs-134 ausschließlich unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieser Radionuklide im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 2001 zwischen 0,0021 und 0,034 Bq/l, bei einem Median von <0,033 Bq/l (2000: zwischen 0,0016 und 0,10 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 3.5-1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher belasteten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2001 – wie in den früheren Jahren – die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg), wobei mit 140 Bq/kg TM der gleiche Wert für Cs-137 auftrat wie im Vorjahr, der Wert für Cs-134 lag mit 0,78 Bq/kg TM unter dem Vorjahreswert von 1,1 Bq/kg TM. In den Jahren 1997 und 1999 waren in dieser Kläranlage sogar Erhöhungen gegenüber der jeweiligen Vorjahresperiode festzustellen. Seit 1996 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten: 240, 500, 170, 180, 140 und 140 Bq/kg TM.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme aller Bundesländer in den letzten fünf Jahren ist in Abbildung 3.5-1 dargestellt. Die bisherige Tendenz zur Abnahme der Konta-

mination der Klärschlämme ist nur noch in wenigen Fällen zu beobachten, z.B. in Schleswig-Holstein und in Nordrhein-Westfalen. Die gleiche Entwicklung ist auch im südlichen Bayern zu erkennen. Im Zeitraum von 1988 bis 2000 wurden anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38 Bq/kg TM; für das Jahr 2001 ergab sich dagegen ein nahezu gleicher Wert von 37 Bq/kg TM wie im Jahr 2000. In einigen Fällen sind die Cs-137-Gehalte auch leicht angestiegen, z. B. im Saarland. Hierbei ist anzumerken, dass mit abnehmender spezifischer Aktivität natürlicherweise eine höhere Streuung der Messwerte verbunden ist.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 0,5 : 1 betrug, hat sich auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertszeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2001, d. h. im Laufe von 15 Jahren auf etwa 0,0045 : 1 verschoben (Vorjahr 0,0062 : 1). In wenig belasteten Gebieten findet man mitunter ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche der 60er Jahre relativ stärker bemerkbar macht.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 140 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von etwa 23 Bq Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zur Zeit ca. 25 000 Bq/m² Cs-137, eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von weniger als 0,1%. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des Cs-137-Inventars gegenüber der Aktivitätsabnahme des bereits im Boden befindlichen Inventars (2,3% pro Jahr durch radioaktiven Zerfall) um ein Vielfaches kompensiert wird.

Tabelle 3.5-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2001
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(*General surveillance of waste water and sludge in the year 2001 - minimum, maximum, and mean values*)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwerte ^{a)}	Maximalwerte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}	
		Gesamt	<NWG					
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)								
Schleswig-Holstein	K-40	20	20	0,16	0,97	0,44	<1,4	
	Co-60	20	20				<0,049	
	I-131	18	0				0,36	
	Cs-137	20	20				<0,053	
	Sr-90	4	4				<0,05	
	U-234	4	4				<0,1	
	U-235	4	4				<0,1	
	U-238	4	4				<0,1	
Hamburg	K-40	8	7	2,3	2,3	<2,1		
	Co-60	8	8	0,11	0,4	<0,084		
	I-131	8	0			0,26		
	Cs-137	8	8			<0,082		
Niedersachsen	K-40	59	19			0,34	1,6	0,78
	Co-60	59	59	0,027	1,2	0,25	<0,026	
	I-131	59	6				0,19	
	Cs-137	59	59				<0,022	
	Sr-90	6	5				<0,017	
	U-234	4	3				0,0055	<0,00066
	U-235	4	4				0,0037	<0,00076
	U-238	4	3				0,0037	<0,00066

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Bremen	K-40	8	6	0,73	51		0,73
	Co-60	8	8				<0,017
	I-131	8	3	0,099	0,25	0,18	0,13
	Cs-137	8	6	0,02	0,034		0,034
	Sr-90	4	3	0,1	0,1		<0,024
	U-234	4	4				<0,0034
	U-235	4	4				<0,002
	U-238	4	4				<0,0016
Nordrhein-Westfalen	K-40	37	29	0,23	1,1		<1,1
	Co-60	37	37				<0,049
	I-131	25	3	0,026	0,56	0,15	0,13
	Cs-137	37	37				<0,051
	Sr-90	4	0	0,0011	0,11	0,033	0,013
	U-234	4	0	0,0036	0,012	0,0082	0,0087
	U-235	4	4				<0,0012
	U-238	4	0	0,0028	0,0092	0,0059	0,0058
Hessen	K-40	20	20				<2,2
	Co-60	20	20				<0,086
	I-131	19	19				<0,48
	Cs-137	20	20				<0,083
	Sr-90	4	4				<0,055
	U-234	4	1	0,015	0,037	0,025	0,019
	U-235	4	4				<0,005
	U-238	4	1	0,011	0,023	0,0174	0,013
Rheinland-Pfalz	K-40	20	14	0,8	1,6		<0,9
	Co-60	20	20				<0,028
	I-131	20	3	0,028	0,48	0,14	0,079
	Cs-137	20	20				<0,029
	Sr-90	4	0	0,0015	0,0045	0,0025	0,0021
	U-234	4	0	0,0022	0,026	0,017	0,021
	U-235	4	3	0,0016	0,0016		<0,0012
	U-238	4	0	0,0022	0,024	0,016	0,019
Baden-Württemberg	K-40	40	26	0,35	0,84		<0,89
	Co-60	40	40				<0,048
	I-131	40	28	0,051	1,4		0,12
	Cs-137	40	29	0,02	0,02		<0,047
	Sr-90	4	2	0,024	0,029	0,027	0,024
	U-234	4	0	0,0051	0,0072	0,0058	0,0056
	U-235	4	4				<0,0014
	U-238	4	0	0,0026	0,006	0,0042	0,0042
Bayern	K-40	39	33	0,97	2,3		<1,3
	Co-60	39	39				<0,086
	I-131	6	0	0,18	0,62	0,4	0,39
	Cs-137	39	39				<0,097
	Sr-90	2	0	0,0049	0,0059	0,0054	0,0054
	U-234	4	0	0,0014	0,015	0,0078	0,0075
	U-235	4	3	0,0012	0,0012		<0,00075
	U-238	4	0	0,0014	0,014	0,0077	0,0078

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Saarland	K-40	8	8				<1,2
	Co-60	8	8				<0,041
	I-131	8	7	0,076	0,076		<0,06
	Cs-137	8	8				<0,058
	Sr-90	3	1	0,0021	0,0056	0,0039	0,0021
	U-234	3	0	0,0023	0,0072	0,0055	0,0072
	U-235	3	1	0,00023	0,00024	0,00024	0,00023
	U-238	3	0	0,0017	0,0052	0,0039	0,0049
Berlin	K-40	16	0	0,53	1,1	0,9	0,91
	Co-60	16	16				<0,001
	Cs-137	16	3	0,0021	0,0037	0,0026	0,0023
	Sr-90	8	0	0,0027	0,0055	0,0038	0,0037
	U-234	8	0	0,0019	0,0045	0,0033	0,0036
	U-235	8	3	0,0001	0,0003	0,00022	0,0002
	U-238	8	0	0,0016	0,0044	0,0029	0,0031
	Brandenburg	K-40	20	0	0,6	1,0	0,92
Co-60		20	20				<0,012
I-131		20	3	0,06	1,0	0,35	0,3
Cs-137		20	19	0,03	0,03		<0,0094
Sr-90		8	0	0,002	0,006	0,0038	0,004
U-234		8	4	0,0002	0,001	0,00063	0,0005
U-235		8	8				<0,0002
U-238		8	4	0,0001	0,001	0,00058	<0,00035
Mecklenburg-Vor- pommern	K-40	20	0	0,12	1,0	0,62	0,62
	Co-60	20	20				<0,011
	I-131	16	0	0,034	0,81	0,24	0,14
	Cs-137	20	20				<0,0084
	Sr-90	4	1	0,002	0,008	0,0043	0,0029
	U-234	4	3	0,0073	0,0073		<0,0054
	U-235	4	3	0,00043	0,00043		<0,0017
	U-238	4	3	0,011	0,011		<0,0038
Sachsen	K-40	20	0	0,35	1,2	0,76	0,76
	Co-60	20	20				<0,013
	I-131	14	0	0,033	1,1	0,31	0,26
	Cs-137	20	19	0,0045	0,0045		<0,012
	Sr-90	4	3	0,009	0,009		<0,0065
	U-234	4	0	0,013	0,041	0,024	0,021
	U-235	4	2	0,003	0,0052	0,0041	0,003
	U-238	4	0	0,0098	0,036	0,02	0,018
Sachsen-Anhalt	K-40	20	2	0,35	1,1	0,7	0,71
	Co-60	20	20				<0,0086
	I-131	16	3	0,026	1,1	0,29	0,17
	Cs-137	20	20				<0,0091
	Sr-90	4	4				<0,055
	U-234	4	0	0,023	0,05	0,041	0,045
	U-235	4	1	0,0027	0,004	0,0032	0,0027
	U-238	4	0	0,016	0,045	0,032	0,034

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Thüringen	K-40	20	20				<2,3
	Co-60	20	20				<0,082
	I-131	3	0	0,15	0,71	0,37	0,26
	Cs-137	20	20				<0,092
	Sr-90	4	4				<0,0025
	U-234	4	0	0,02	0,041	0,032	0,033
	U-235	4	2	0,001	0,0012	0,0011	0,0012
	U-238	4	0	0,012	0,022	0,018	0,019
Bundesrepublik Deutschland	K-40	375	204	0,12	51		<1,0
	Co-60	375	375				<0,035
	I-131	280	75	0,026	1,4	0,27	0,18
	Cs-137	375	357	0,0021	0,034		<0,033
	Sr-90	67	31	0,0011	0,11	0,011	0,0059
	U-234	67	19	0,0002	0,05	0,014	0,0058
	U-235	67	50	0,0001	0,0052		<0,0011
	U-238	67	19	0,0001	0,045	0,011	0,0044
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	22	99	62	57
	Co-60	20	20				<0,97
	I-131	20	2	9,1	86	36	26
	Cs-137	20	2	1,5	6,7	3,0	2,8
	Sr-90	4	0	2,7	5,1	3,8	3,8
	U-234	4	0	5,9	12	8,5	7,9
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	1	6,3	12	8,1	6,4
Hamburg	K-40	6	0	120	390	240	230
	Co-60	6	6				<1,2
	I-131	6	6				<11
	Cs-134	6	0	20	61	38	38
	Cs-137	6	6				<1,0
	Sr-90	6	0	2,0	5,0	3,5	3,6
Niedersachsen	K-40	40	1	48	420	160	130
	Co-60	40	38	0,34	0,87		<0,43
	I-131	37	0	0,86	2300	230	37
	Cs-134	40	40				<0,36
	Cs-137	40	1	1,4	18	5,9	4,8
	Sr-90	4	2	2,7	3,0	2,9	<3,2
	U-234	4	0	13	32	26	29
	U-235	4	1	0,61	0,94	0,77	0,69
	U-238	4	0	10	26	21	24
Bremen	K-40	8	0	190	550	360	330
	Co-60	8	8				<1,1
	I-131	8	0	17	120	68	70
	Cs-134	7	7				<1,1
	Cs-137	8	0	2,8	12	6,8	6,2
	Sr-90	4	2	0,64	5,0	2,8	<0,65
	U-234	4	0	2,2	7,4	3,9	3,0
	U-235	4	4				<0,059
	U-238	4	0	2,1	7,9	3,8	2,6

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Nordrhein-Westfalen	K-40	39	0	65	520	230	250
	Co-60	39	39				<0,31
	I-131	39	0	5,1	390	87	57
	Cs-134	18	18				<0,46
	Cs-137	39	0	2,7	28	9,1	7,2
	Sr-90	4	0	1,1	4,0	2,3	2,1
	U-234	4	0	0,3	37	26	34
	U-235	4	0	1,2	1,5	1,3	1,3
	U-238	4	0	0,26	32	21	26
Hessen	K-40	19	0	110	260	180	170
	Co-60	19	19				<1,2
	I-131	14	4	12	170	61	31
	Cs-134	19	19				<0,95
	Cs-137	19	3	2,8	20	8,1	5,7
	Sr-90	4	2	1,8	2,0	1,9	<5,0
	U-234	2	0	49	110	80	80
	U-235	2	0	1,7	3,3	2,5	2,5
	U-238	2	0	38	70	54	54
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	98	280	180	170
	Co-60	20	20				<0,48
	I-131	20	2	0,76	290	44	13
	Cs-134	20	20				<0,48
	Cs-137	20	1	2,0	18	8,6	8,9
	Sr-90	4	0	2,3	9,0	5,2	4,7
	U-234	4	0	56	60	57	56
	U-235	4	0	1,4	1,6	1,5	1,5
	U-238	4	0	36	45	41	41
Baden-Württemberg	K-40	40	0	69	400	200	210
	Co-60	40	40				<1,3
	I-131	40	12	0,43	680	97	21
	Cs-134	2	0	0,66	0,78	0,72	0,72
	Cs-137	40	0	3,8	180	40	16
	Sr-90	4	0	0,0018	4,7	2,3	2,2
	U-234	4	0	26	67	44	42
	U-235	4	4				<1,8
	U-238	26	0	16	160	44	35
Baden-Württemberg (West ^{b)})	Co-60	28	28				<1,1
	Cs-137	28	0	3,8	100	19	12
	Sr-90	2	0	0,0018	2,5	1,3	1,3
Baden-Württemberg (Ost ^{c)})	Co-60	12	12				<1,3
	Cs-134	2	0	0,66	0,78	0,72	0,72
	Cs-137	12	0	13	180	90	98
	Sr-90	2	0	1,8	4,7	3,3	3,3
Bayern	K-40	38	0	73	600	310	300
	Co-60	38	38				<1,3
	I-131	34	0	4,6	590	83	42
	Cs-134	38	38				<1,4
	Cs-137	38	0	3,9	84	23	12
	Sr-90	2	0	2,9	10	6,5	6,5
	U-234	3	0	35	64	53	60
	U-235	3	0	1,7	3,6	2,8	3,1
	U-238	3	0	34	56	48	53

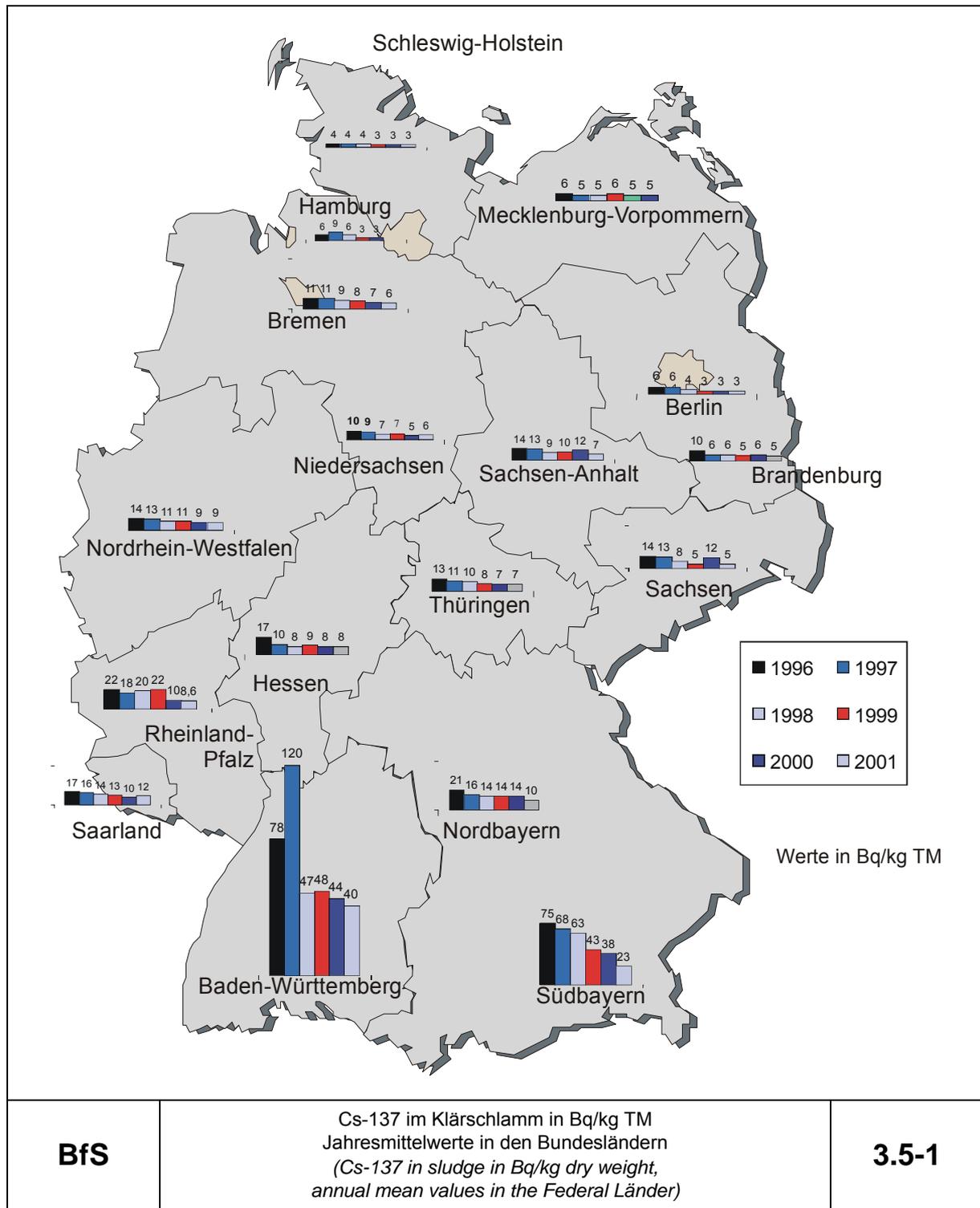
(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Bayern (Nord ^{b)}	Co-60	20	20				<1,4
	Cs-134	20	20				<1,7
	Cs-137	20	0	3,9	16	9,9	10
	Sr-90	1	0	10	10	10	10
Bayern (Süd ^{c)}	Co-60	18	18				<1,2
	Cs-134	18	18				<1,3
	Cs-137	18	0	4,2	84	37	38
	Sr-90	1	0	2,9	2,9	2,9	2,9
Saarland	K-40	8	0	180	1200	360	240
	Co-60	8	8				<0,44
	I-131	8	0	2,3	170	63	48
	Cs-134	8	8				<0,43
	Cs-137	8	0	2,7	44	12	7,1
	Sr-90	4	0	1,7	12	5,3	3,7
	U-234	4	0	74	170	110	100
	U-235	4	0	2,4	6,4	3,9	3,4
U-238	4	0	56	140	87	78	
Berlin	K-40	16	0	42	190	78	71
	Co-60	16	16				<0,35
	I-131	16	0	28	240	85	68
	Cs-134	16	16				<0,33
	Cs-137	16	0	1,4	10	3,2	2,4
	Sr-90	4	0	1,8	2,9	2,4	2,5
	U-234	4	0	10	14	12	12
	U-235	4	0	0,43	0,62	0,51	0,5
U-238	4	0	9,1	13	10	10	
Brandenburg	K-40	20	0	55	190	120	120
	Co-60	20	20				<0,18
	I-131	20	0	7,7	590	91	30
	Cs-134	20	20				<0,21
	Cs-137	20	0	1,5	13	4,5	3,3
	Sr-90	8	0	2,7	4,5	3,5	3,5
	U-234	8	0	9,0	26	17	19
	U-235	8	1	0,5	1,0	0,86	1,0
U-238	8	0	9,0	24	15	13	
Mecklenburg-Vor- pommern	K-40	20	0	72	220	130	130
	Co-60	20	20				<0,35
	I-131	17	0	39	310	130	97
	Cs-134	20	20				<0,33
	Cs-137	20	0	1,3	12	4,8	3,8
	Sr-90	4	1	5,3	15	11	8,6
	U-234	4	0	20	22	21	21
	U-235	5	0	0,7	1,5	1,1	1,1
U-238	4	0	17	23	19	19	
Sachsen	K-40	20	0	62	190	130	120
	Co-60	20	20				<0,71
	I-131	20	0	4,6	570	170	140
	Cs-134	1	0	0,068	0,068	0,068	0,068
	Cs-137	20	0	1,8	13	5,0	3,8
	Sr-90	4	0	1,6	3,5	2,3	2,0
	U-234	4	0	16	36	26	26
	U-235	4	4				<2,6
U-238	4	0	14	32	23	23	

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel-/ Einzelwerte ^{a)}	Mediane ^{a)}
		Gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	110	350	190	160
	Co-60	20	20				<0,17
	I-131	19	1	2,8	550	85	53
	Cs-134	20	20				<0,18
	Cs-137	20	0	2,3	12	6,8	5,5
	Sr-90	4	0	0,58	5,7	3,2	3,3
	U-234	4	0	57	120	86	82
	U-235	4	0	2,2	5,1	3,5	3,3
	U-238	4	0	44	110	69	64
Thüringen	K-40	20	0	120	380	240	220
	Co-60	20	20				<0,26
	I-131	12	1	15	58	35	31
	Cs-134	16	16				<0,28
	Cs-137	20	0	2,6	13	6,6	5,9
	Sr-90	1	0	1,6	1,6	1,6	1,6
	U-234	3	0	88	130	110	110
	U-235	18	0	1,7	5,5	3,5	3,5
	U-238	22	0	35	110	77	81
Bundesrepublik Deutschland	K-40	354	1	22	1200	190	160
	Co-60	354	352	0,34	0,87		<0,5
	I-131	330	22	0,43	2300	100	42
	Cs-134	251	248	0,068	0,78		<0,38
	Cs-137	354	7	1,3	180	12	5,8
	Sr-90	59	7	0,0018	15	3,8	2,9
	U-234	60	0	0,3	170	41	28
	U-235	76	18	0,43	6,4	2,3	1,7
	U-238	101	1	0,26	160	44	35
Bundesrepublik Deutschland (Nord ^{b)})	Co-60	324	322	0,34	0,87		<0,44
	Cs-134	231	230	0,068	0,068		<0,36
	Cs-137	324	7	1,3	100	7,7	4,9
	Sr-90	56	7	0,0018	15	3,8	2,9
Bundesrepublik Deutschland (Süd ^{c)})	Co-60	30	30				<1,3
	Cs-134	20	18	0,66	0,78		<1,2
	Cs-137	30	0	4,2	180	58	44
	Sr-90	3	0	1,8	4,7	3,1	2,9

- a) Bei Werten unter der Nachweisgrenze fließen die Grenzwerte in die Berechnung der Mediane mit ein. Liegen mehr als 50% der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert und der Maximalwert angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet
- b) Nördlich bzw. westlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel
- c) Östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel



3.6 Reststoffe und Abfälle (Residues and wastes)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2001 der Leitstelle für Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe und Abfälle, Abwasser aus kerntechnischen Anlagen Messwerte zu den Überwachungsmedien Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien, von Asche, Schlacke, festen und flüssigen Rückständen aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie für in den Handel gelangenden Kompost aus Kompostierungsanlagen mitgeteilt.

Tabelle 3.6-1 gibt eine Übersicht über die zusammengefassten Messwerte für Cäsium-137, Kobalt-60, Jod-131, Kalium-40 und Tritium. Nach Medien geordnet sind die Anzahl der Messungen, die Anzahl der Messwerte, die kleiner als die Nachweisgrenze sind, die Minimal- und Maximalwerte sowie die Mediane der Konzentrationen und spezifischen Aktivitäten angegeben. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg – Zwiesel unterschieden, da dies etwa die Grenze zwischen den durch den Reaktorunfall 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 Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 etwa 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 2001 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0045 : 1 (2000: 0,0062 : 1) abgenommen. Da in den Proben, soweit noch nachweisbar, etwa das erwartete Aktivitätsverhältnis auftrat, wird auf eine Angabe der Cs-134-Aktivitäten verzichtet. Der Gehalt an Cs-137 wird immer noch deutlich durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt. Dies zeigt sich vor allem in den höheren Werten im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Im Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien stammen die höchsten Werte für Cs-137 aus Nordbayern. Der Maximalwert liegt bei 2,9 Bq/l (2000: 13 Bq/l), der Median aller Werte beträgt <0,071 Bq/l (2000: <0,071 Bq/l). Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,1 Bq/l bis 92 Bq/l, der Median bei 12 Bq/l (2000: 0,08 bis 140 Bq/l, Median: 12 Bq/l). Tritium wurde in 73 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 2,0 und 320 Bq/l (2000: 3,5 bis 510 Bq/l) gefunden.

Für Reststoffe und Abfälle aus Verbrennungsanlagen sind die Aktivitäten der Nuklide C-137, K-40 und I-131 in Tabelle 3.6-1 dargestellt:

Südöstlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg – Zwiesel sind die Werte für C-137 grundsätzlich höher als im Nordwesten. In Kompost liegt die spezifische Cs-137-Aktivität in der gleichen Größenordnung wie in Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Zur radiologischen Beurteilung von Kompost aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird entsprechend der normalerweise aufgebrachten Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Wurzeltransfers von Cäsium ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

Das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 konnte in Filterstaub, Schlacke, in festen und in flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungen nachgewiesen werden. Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche. Die Bestimmung von Sr-90 in flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen ist seit 1995 nicht mehr routinemäßig vorgesehen.

Tabelle 3.6-1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2001
(Monitoring of residues and wastes in the year 2001)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane ^{a)}
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	105	63	0,011	2,9		<0,066
Südlich *)	Cs-137	6	2	0,23	0,71	0,39	0,25
Alle Länder	K-40	111	14	0,1	92	17	12
	H-3	110	30	2,0	320	51	19
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	44	0	1,0	110	34	28
Südlich *)	Cs-137	2	0	130	180		150
Alle Länder	K-40	45	0	63	2300	1100	1300
	Co-60	46	46				<0,41
	I-131	29	14	0,45	72	19	<1,4
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	47	2	0,2	27	4,3	2,1
Südlich *)	Cs-137	2	0	4,6	5,2		4,9
Alle Länder	K-40	49	0	70	2200	360	280
	I-131	28	20	0,56	49		0,6
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	37	14	0,17	78	13	1,3
Südlich *)	Cs-137	2	1	2,3			2,3
Alle Länder	K-40	39	5	2,8	2200	360	28
	I-131	21	3	0,43	1200	120	6,3
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	30	30				<0,069
Südlich *)	Cs-137	2	2				<0,1
Alle Länder	K-40	32	13	0,51	43	15	<4,8
	I-131	25	3	0,26	1500	200	3,9
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	52	0	2,5	45	11	9,7
Südlich *)	Cs-137	4	0	7,6	58	28	23
Alle Länder	K-40	55	0	190	810	450	480

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

a) Bei Werten unter der Nachweisgrenze fließen die Grenzwerte in die Berechnung der Mediane mit ein. Liegen mehr als 50 % der gemessenen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, werden nur der Minimalwert und der Maximalwert angegeben. Der arithmetische Mittelwert wurde aus den Messwerten ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen errechnet

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Oberschleißheim

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

In den Abbildungen 3.7-5 und 3.7-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen an verschiedenen Orten in Deutschland, getrennt für Frauen und Männer, zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Radiocäsium angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 15 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,2 mSv.

**Tabelle 3.7-1 Jahres- und Monatsmittelwerte im Raum München
(Annual and monthly mean values in the Munich area)**

Messstelle: Institut für angewandten Strahlenschutz, Außenstelle Oberschleißheim

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1990	291	51	0,92	259	57	1,70
1991 a)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 b)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	<1,4	255	61	<1,2
2000	265	58	<1,6	242	63	<1,2
2001	362	57	<1,4	236	62	<1,1
Januar	34	62	<1,6	24	64	<1,2
Februar	33	60	<1,4	21	60	<1,1
März	33	57	<1,4	21	63	<1,1
April	32	58	<1,4	19	63	<1,1
Mai	30	57	<1,4	20	65	<1,1
Juni	27	56	<1,4	17	62	<1,0
Juli	27	58	<1,4	19	63	<1,1
August	29	54	<1,4	17	60	<1,1
September	25	56	<1,4	17	63	<1,1
Oktober	35	58	<1,5	20	64	<1,1
November	32	57	<1,5	19	62	<1,1
Dezember	25	57	<1,5	22	62	<1,1

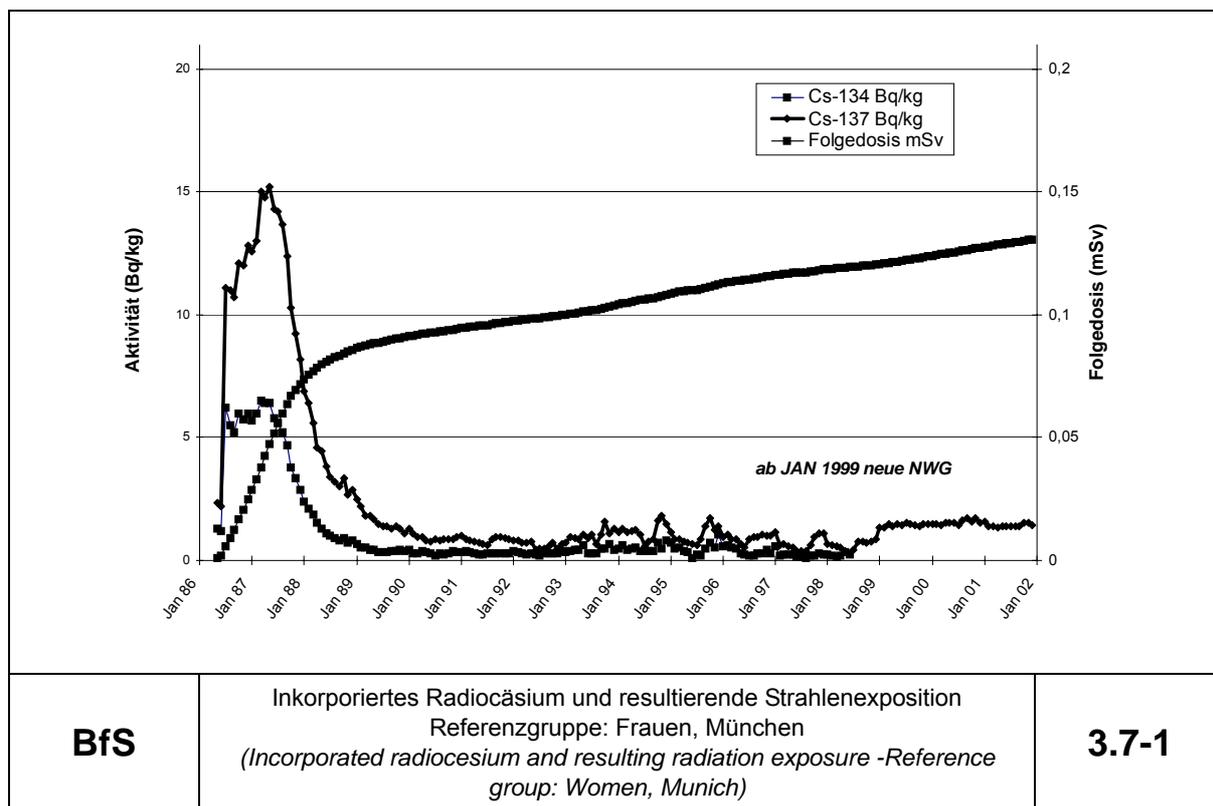
a) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen

b) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

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

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1990	97	-	0,73	87	-	0,92
1991	97	53	0,53	88	59	0,74
1992 a)	82	51	0,51	76	58	0,58
1993	106	52	0,43	87	58	0,50
1994	112	49	<0,20	102	52	<0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 b)	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
2000	109	51	<0,16	106	60	<0,27
2001	94	52	<0,20	101	61	<0,31
Januar	8	53	0,32	9	59	0,21
Februar	7	56	0,17	8	63	0,35
März	8	53	0,19	7	58	0,34
April	8	49	0,21	9	61	0,29
Mai	6	56	0,11	6	60	0,28
Juni	9	53	0,24	10	65	0,28
Juli	7	53	0,16	8	61	0,29
August	9	52	0,26	10	60	0,33
September	9	50	0,15	9	61	0,26
Oktober	10	50	0,25	8	61	0,35
November	6	51	0,17	9	60	0,33
Dezember	7	50	0,15	8	61	0,44

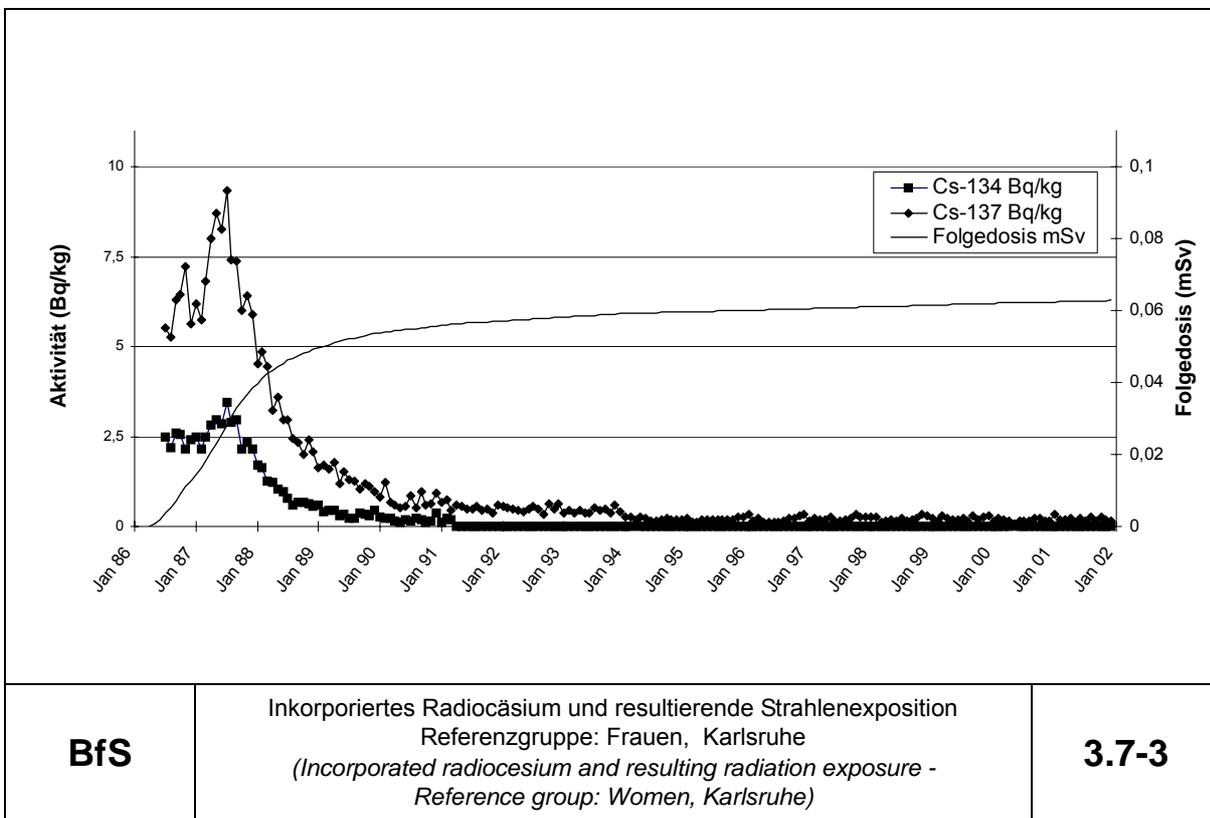
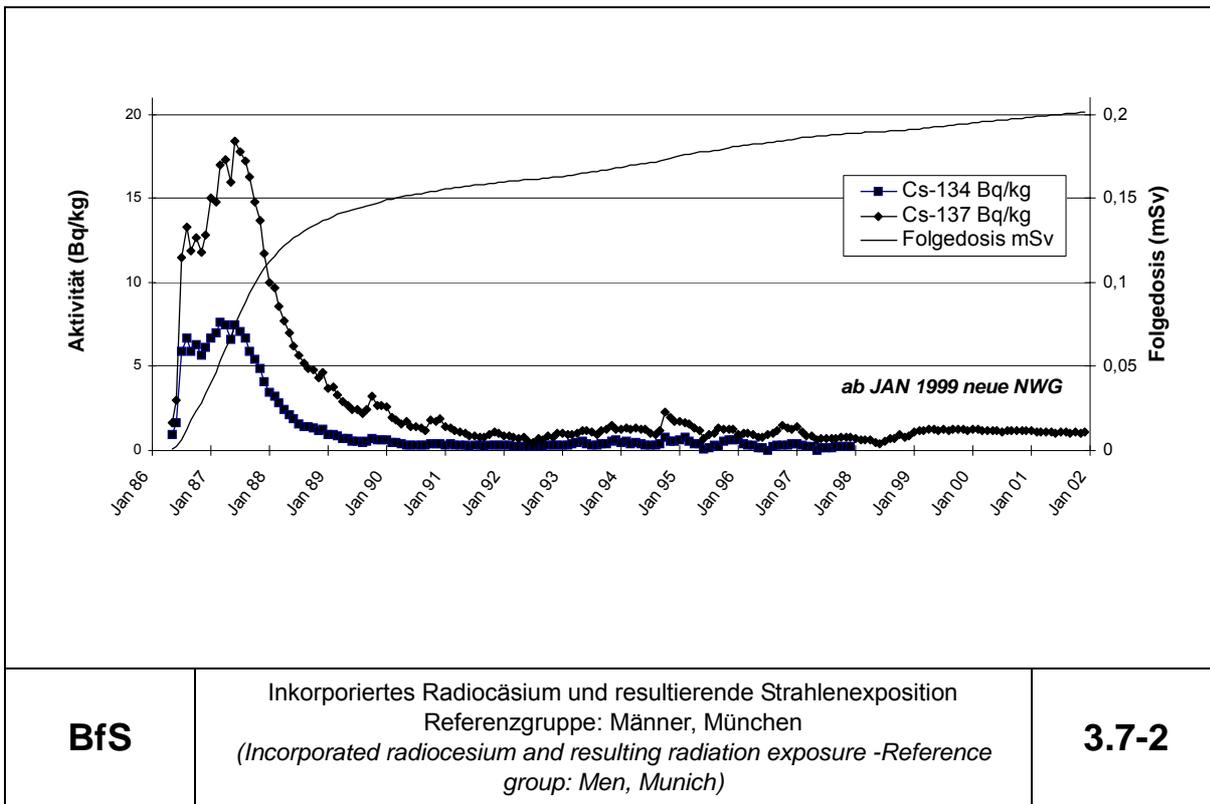
a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung
 b) Mai 1996 keine Messungen

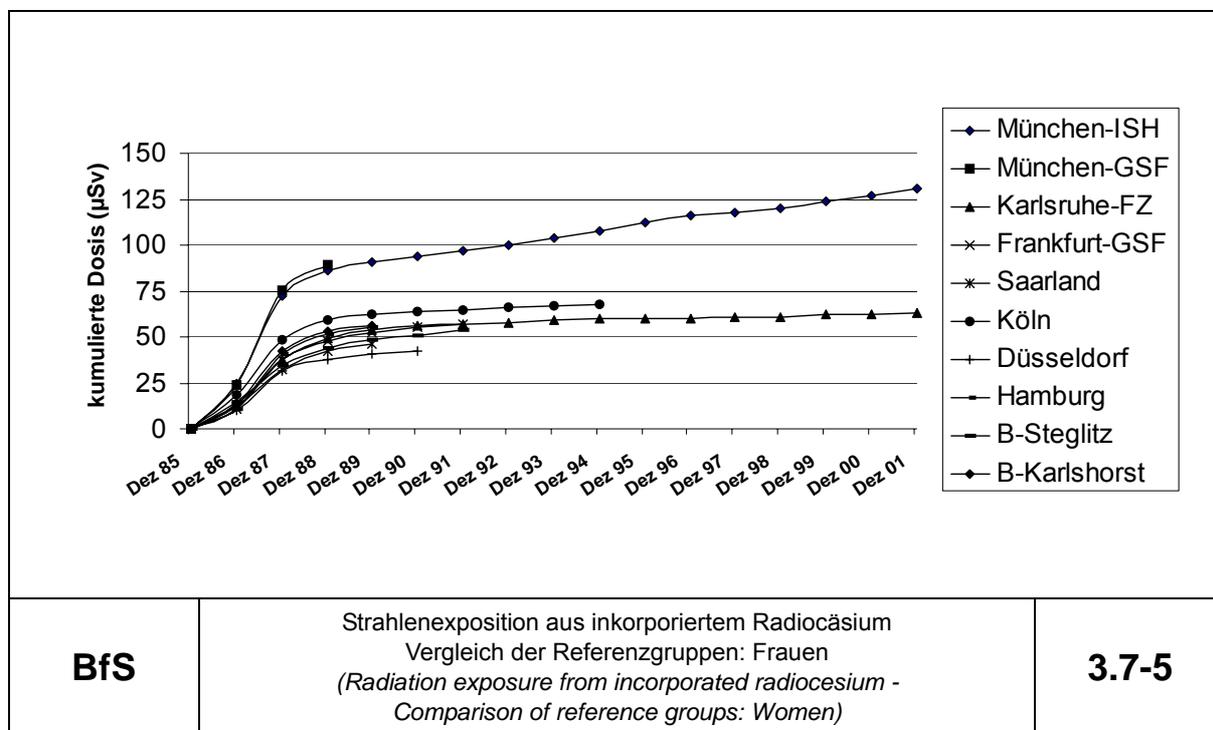
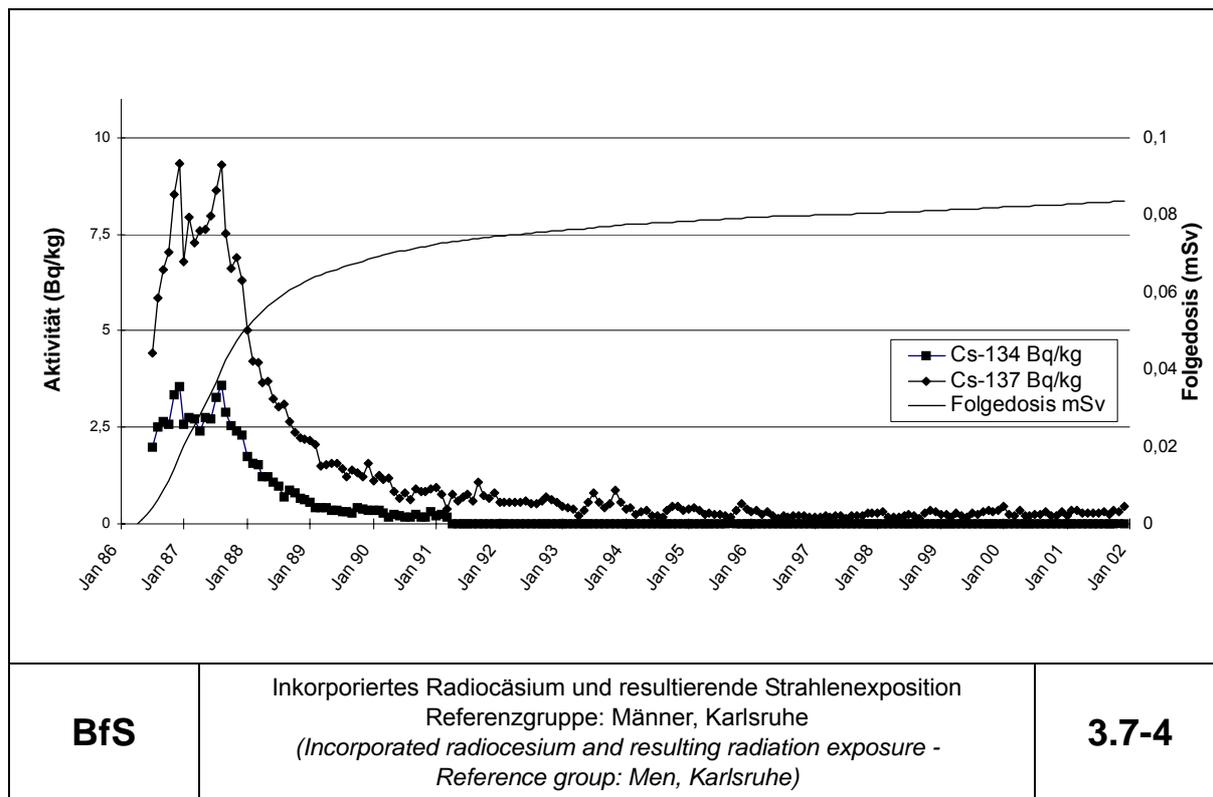


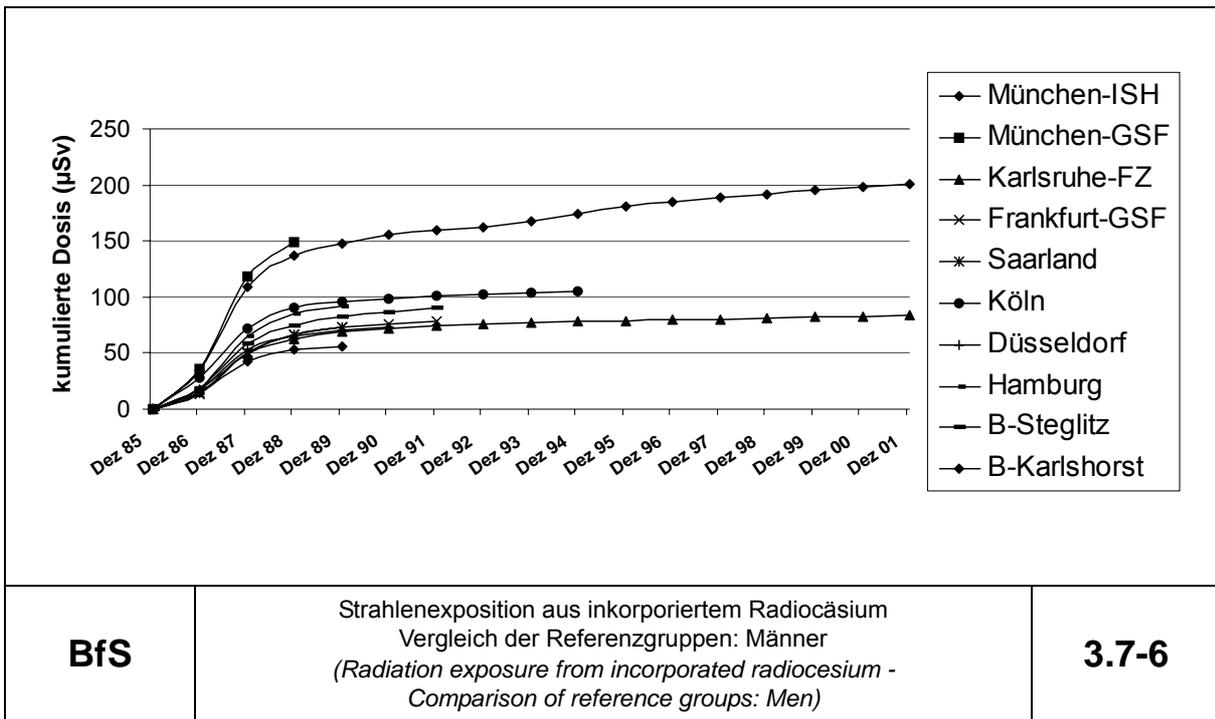
Bfs

Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition
 Referenzgruppe: Frauen, München
(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure -Reference group: Women, Munich)

3.7-1







BfS

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

3.7-6

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Nachdem die nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Deutschland abgelagerten Radionuklide mit kürzerer Halbwertszeit bereits weitgehend zerfallen sind, trägt nur noch Cäsium-137 mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur äußeren Strahlenbelastung bei. Unter Berücksichtigung eines Abschirmfaktors von 0,15 in Gebäuden kann die auf den Reaktorunfall zurückzuführende mittlere effektive Dosis durch Bodenstrahlung für das Jahr 2001 auf ca. 10 µSv für Erwachsene abgeschätzt werden (zum Vergleich: 1986 ca. 70 µSv). Vernachlässigt wird dabei das Eindringen von Radiocäsium in tiefere Bodenschichten und die dadurch abnehmende Bodenstrahlung. In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, besonders südlich der Donau, kann diese Dosis um eine Größenordnung höher sein (siehe Tabelle 3.8-1). Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil I, 1.6) beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 µSv pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Im Jahr 2001 sind Grundnahrungsmittel durch Cs-137 aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die mittlere tägliche Cs-137 Zufuhr mit der Gesamtnahrung im Jahr 2001 wurde zu 0,22 Bq pro Tag und Person bestimmt (siehe Teil I, 3.4.4). Dies entspricht einer effektiven Dosis durch Ingestion von ca. 1,1 µSv pro Jahr. Zum Vergleich liegt die Strahlenexposition durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung bei ca. 300 µSv pro Jahr.

Bei einzelnen Nahrungsmitteln wie Wild, einigen Arten von Waldpilzen, Waldbeeren, Fischen aus Binnenseen oder Blütenhonig wurden auch 2001 in einigen Proben maximale Cs-137-Aktivitäten von einigen hundert Bq/kg gefunden, in Waldpilzen und Wild bis zu einigen tausend Bq/kg, jeweils bezogen auf die Frischmasse. Die jeweiligen Mittelwerte der spezifischen Aktivitäten dieser Nahrungsmittel liegen deutlich niedriger. Individuelle Verzehrsgewohnheiten dieser Nahrungsmittel und starke örtliche Schwankungen der Cs-137-Aktivitäten können zu Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr durch Ingestion führen. Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Nahrungsmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt zu einer effektiven Dosis von 7 µSv.

Der Strontium-90-Gehalt in Nahrungsmitteln blieb 2001 gegenüber dem Vorjahr nahezu konstant. Dieses Radionuklid stammt zu mehr als 90% aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen in den 50er und 60er Jahren und nur zu einem kleinen Teil aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Die jährliche effektive Dosis für Erwachsene durch Ingestion von Strontium-90 beträgt ca. 2 µSv pro Jahr, der Tschernobyl-Beitrag liegt bei ungefähr 0,2 µSv pro Jahr.

**Tabelle 3.8-1 Mittlere effektive Dosis durch den Reaktorunfall in Tschernobyl für Erwachsene in Deutschland
(Mean effective dose to adults in Germany from the Chernobyl accident)**

Jahr	externe Strahlenexposition mSv/a	interne Strahlenexposition mSv/a	gesamte Strahlenexposition mSv/a
1986	ca. 0,07 ^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
2000-2001	< 0,01	0,001	< 0,015

- a) Im Münchener Raum um etwa den Faktor 4, im Berchtesgadener Raum 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 ¹³⁷Cs verursacht

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2001 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.

3.9 Kernwaffenversuche (*Nuclear weapons tests*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Im Jahr 2001 wurden (wie in den beiden Jahren zuvor) keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Tabelle 3.9-1 gibt einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche. Die entsprechenden Versuchsorte sind in Abbildung 3.9-1 dargestellt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen "Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser" im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie **Strontium-90** und **Cäsium-137** auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Die mittlere effektive Dosis durch den Fallout der Kernwaffenversuche im Jahr 2001 liegt unter 0,01 Millisievert.

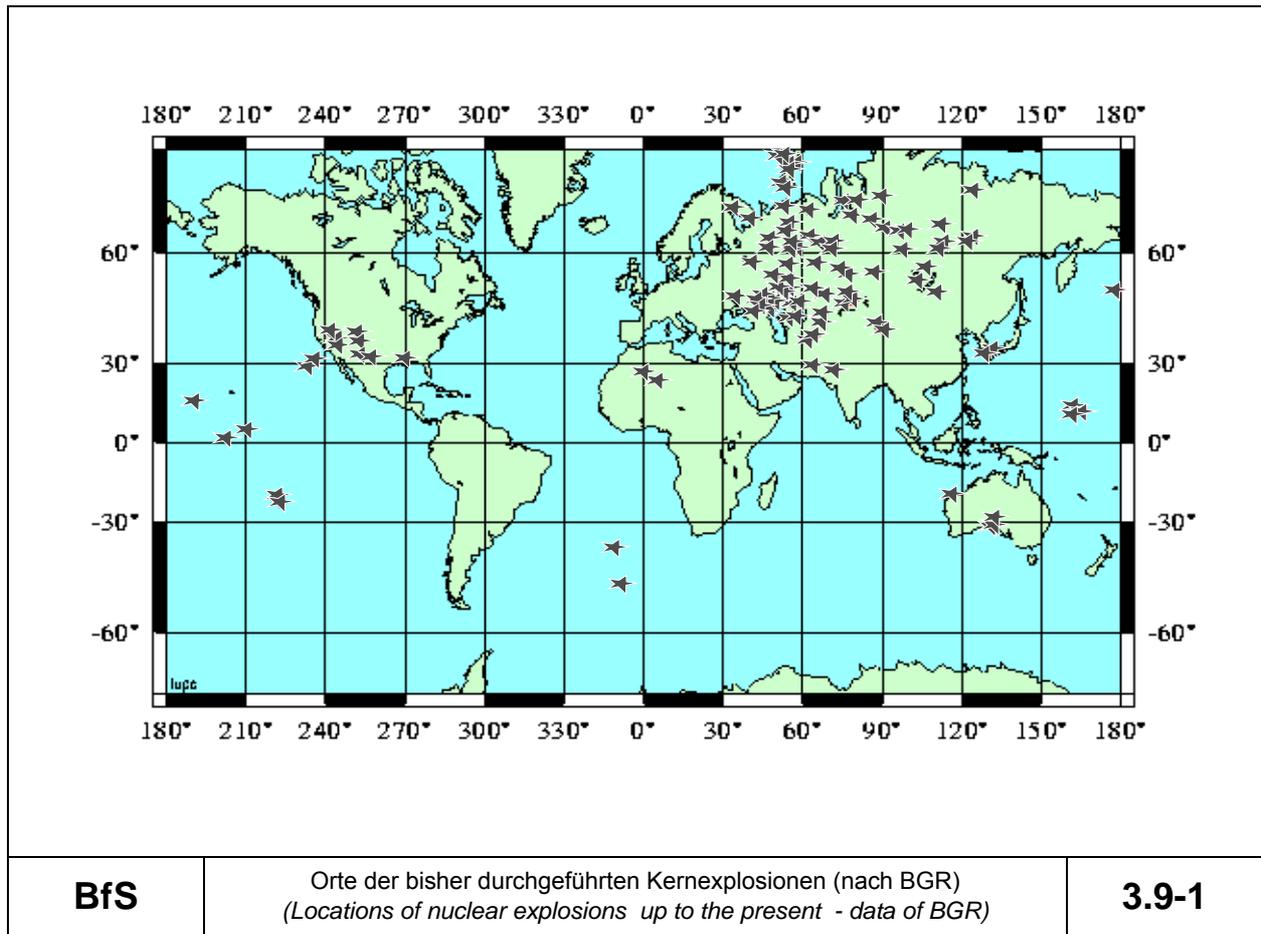
Tabelle 3.9-1 Anzahl der Kernwaffenversuche a)
(*Number of nuclear weapons tests*)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		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	-	-	-	-	-
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	-	-	-

(Fortsetzung Tabelle)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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



Teil II

RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN

(Radioactive substances from nuclear and uranium mining facilities)

Bearbeitet von den Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin und von der Eigenüberwachung Endlager Morsleben, Salzgitter

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin, und von der Eigenüberwachung Endlager Morsleben, Salzgitter

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

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 2001 folgende kerntechnische Anlagen:

- 19 Atomkraftwerke (Tabelle 1.1-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22.365 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 171 TWh und einem Anteil von 30% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 33% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2001. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich war 2001 infolge Gerichtsbeschlusses abgeschaltet; die Stilllegung wurde am 12.6.2001 beantragt. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald und Hamm-Uentrop haben den Betrieb in den vergangenen Jahren beendet.
- 4 Forschungsreaktoren (Tabelle 1.1-2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 38 MW.
- 4 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: NUKEM GmbH, SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau: Betriebsteil MOX-Verarbeitung und Betriebsteil Uran-Verarbeitung, ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Betriebe NUKEM GmbH und SIEMENS AG haben die Brennelementproduktion eingestellt.
- 6 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald, Transportbehälterlager Ahaus, AVR-Behälterlager Jülich, Transportbehälterlager Gorleben, Zwischenlager im Atomkraftwerk Obrigheim und Zwischenlager Nord bei Greifswald.
- 2 Interimslager: Neckarwestheim (maximal 24 Behälter Castor V/19) und Philippsburg (maximal 12 Behälter Castor V/19). Als drittem Interimslager wurde am 20.12.2001 Biblis (maximal 28 Behälter Castor V/19) die Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen erteilt.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2001 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung angenommen (Tabelle 1.1-3).

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung. Die Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe ist in § 47 der am 1. August 2001 in Kraft getretenen neuen Strahlenschutzverordnung 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. Diese Dosisgrenzwerte wurden unverändert aus der alten Strahlenschutzverordnung übernommen; für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert weiterhin 0,3 Millisievert, für die Schilddrüsendosis 0,9 Millisievert pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Höchstwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft 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 Abluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

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

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

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

Über diese Überwachungsprogramme hinaus versetzt die Einrichtung von Kernreaktor-Fernüberwachungssystemen die Aufsichtsbehörde in die Lage, sicherheitsrelevante Betriebs-, Emissions- und Immissionsdaten laufend zu kontrollieren und sich auf diese Weise von der Einhaltung der den Strahlenschutz betreffenden rechtlichen Verpflichtungen der Betreiber zu überzeugen.

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin, sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 2001 sind in den Abschnitten 1.2 und 1.3 getrennt nach Abluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2001 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 Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Abschnitt 1.5 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2001 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.1-4 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten "Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community". Die jährlichen Emissionen der schweizer Anlagen werden in den Jahresberichten "Umwelt-radioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

Tabelle 1.1-1 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)
 (Stand 31.12.2001)

Kernkraftwerk/Standort	Typ a)	elektr. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 2001 (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	16	0	1960/1985	Main
MZFR Karlsruhe	D ₂ O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Kernkraftwerk Rheinsberg	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Kernkraftwerk Gundremmingen A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Versuchsatomkraftwerk AVR Jülich	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Kernkraftwerk Lingen	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	357	337	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	519	1972	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	1152	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	900	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	736	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	686	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	912	701	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1410	1279	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	832	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1273	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	969	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1231	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1320	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1178	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1458	1084	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich b)	DWR	1302	0	1986	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1346	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1475	1415	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1400	1316	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1275	1988	Neckar

- a) SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart
- b) 2001 nicht in Betrieb

Tabelle 1.1-2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland
(Research reactors - not including reactors with zero output - in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung a) (MW)	Beginn-/Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München	FRM	4	1957/2000
Rosendorf	Forschungszentrum Rosendorf e.V.	RFR	10	1957/1991
Geesthacht	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH	FRG 1	5	1958
		FRG 2	15	1963/1993
Karlsruhe	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH	FR 2	44	1961/1981
Jülich	Forschungszentrum Jülich GmbH	FRJ 1	10	1962/1985
		FRJ 2	23	1962
Mainz	Johannes Gutenberg-Universität	FRMZ	0,1	1965
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1	1967/1995
Neuherberg	GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH	FRN	1	1972/1982
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	0,25	1973/1996
Berlin	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH	BER II	10	1973
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	0,25	1978/1999

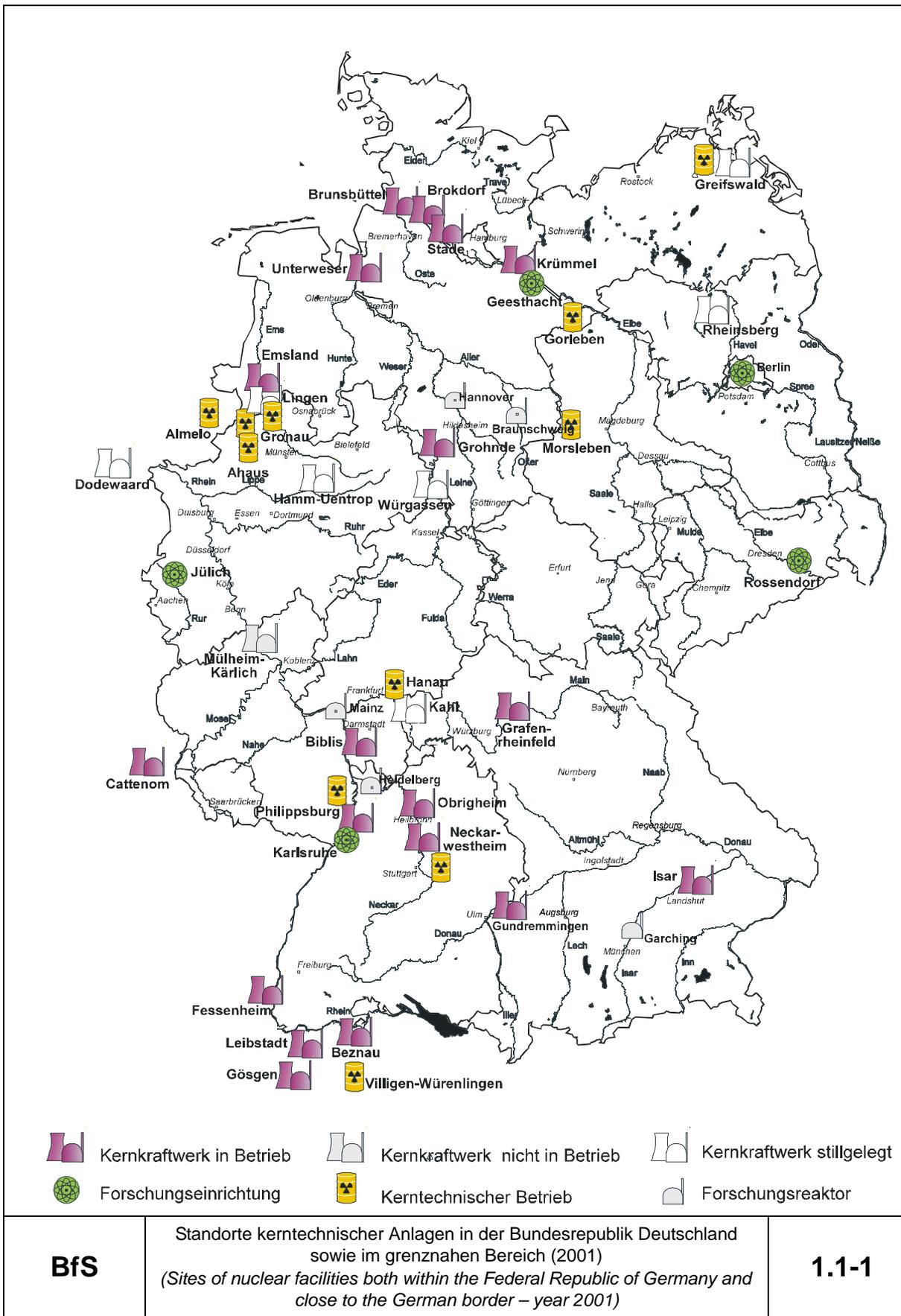
Tabelle 1.1-3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Ultimate disposal facilities for radioactive wastes in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1971	36752 m ³ /3,8 E14 Bq

Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,4 E14 Bq.

Tabelle 1.1-4 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Nuclear facilities in neighbouring countries located close to the German border)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km



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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Die nuklidspezifisch nachgewiesenen Aktivitätsableitungen werden vom Betreiber vierteljährlich und jährlich dokumentiert und an die zuständige Aufsichtsbehörde übermittelt. Aus der lückenlosen Bilanzierung der Ableitungen radioaktiver Stoffe wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen ermittelt und die Einhaltung der Dosisgrenzwerte des § 47 StrlSchV überprüft. Auf die Bestimmung der Strahlenexposition aus den Emissionsdaten muss deshalb zurückgegriffen werden, weil die Aktivitätskonzentrationen der aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten Radionuklide in den Umweltmedien Luft und Wasser und in Nahrungsmitteln im Allgemeinen so gering sind, dass sie messtechnisch nicht nachgewiesen werden können. Die Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabellen 1.2-1 bis 1.2-8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft der Kernkraftwerke im Jahr 2001 sind in Tabelle 1.2-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Aerosole (Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide Jod-131, Kohlenstoff-14 ($^{14}\text{CO}_2$ -Anteil) und Tritium aufgeführt. Die Jahresableitungen von MZFR, KNK und AVR sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 1.2-5). Die einzelnen in einer Nuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Nuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 2001 abgeleiteten Edelgase ist aus Tabelle 1.2-2 zu ersehen. Tabelle 1.2-3 enthält die Zusammensetzung der aerosolgebundenen Radionuklide einschließlich der β -Strahler Strontium-89 und -90 sowie der α -Strahler Plutonium-238, -239, -240, Americium-241, Curium-242 und -244.

Tabelle 1.2-4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtemissionsraten für Edelgase und I-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke (ohne Forschungszentren) in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2001 mit $1,5 \cdot 10^{13}$ Becquerel niedriger als 2000 mit $2,6 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2001 mit $2,8 \cdot 10^8$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $2,2 \cdot 10^8$ Becquerel. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Kernkraftwerke.

In Tabelle 1.2-5 sind die Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin im Jahr 2001 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 1.2-6 angegeben.

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

Bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben werden die mit der Abluft emittierten α -strahlenden Aerosole ermittelt (Tabelle 1.2-8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 2001 mit insgesamt $7,1 \cdot 10^5$ Becquerel niedriger als 2000 mit $7,9 \cdot 10^5$ Becquerel.

Die für das Jahr 2001 ermittelten Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten im Allgemeinen deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 1.2-1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Becquerel für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Aerosole und ca. 10^{10} Bq für I-131 zeigt.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung ermittelten jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Maß des Strahlenrisikos ist nicht die abgeleitete Aktivität, sondern die effektive Dosis (Anhang, Abschnitt 1). Die aus den Jahresableitungen unter Berücksichtigung von meteorologischen, ökologischen und biologischen Parametern berechneten Jahresdosen sind in Kapitel 1.5 angegeben.

Tabelle 1.2-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2001)

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

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

b) Betrieb beendet 1985

c) Betrieb beendet 1990

d) Betrieb beendet 1977

e) Betrieb beendet 1994

f) Betrieb beendet 1988

g) 2001 nicht in Betrieb

nn: nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 1.2-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2001
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2001)

Radio-nuklid	Kahl / Rheins-berg	Gund-remmin-gen A / Lingen	Obrig-heim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A	Biblis B
	Aktivität in Bq							
Ar-41			6,1E10		1,3 E12		6,6 E10	4,1 E10
Kr-85m							4,6 E07	1,1 E10
Kr-85							3,8 E11	6,8 E11
Kr-87							5,7 E07	3,5 E09
Kr-88							3,4 E07	1,2 E10
Kr-89							2,8 E08	
Xe-131m							1,0 E11	1,1 E11
Xe-33m							1,2 E09	1,9 E10
Xe-33			1,8 E11		6,1 E10		2,7 E09	1,2 E12
Xe-35m							2,0 E08	4,5 E09
Xe-35			4,5 E10		2,5 E11		6,2 E09	1,7 E11
Xe-37								3,4 E07
Xe-38							3,3 E08	

Radio-nuklid	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unter-weser	Philipps-burg 1	Grafen-rheinfeld	Krümmel	Gund-remmin-gen B, C
	Aktivität in Bq							
Ar-41	4,4 E11		1,1 E09	1,7 E11	8,5 E07	7,1 E10		2,2 E11
Kr-85m	2,0 E08		8,5 E09				3,3 E08	1,5 E09
Kr-85		1,0 E11	2,6 E11	7,7 E10	1,6 E10		1,8 E11	2,3 E11
Kr-87			5,4 E08		3,9 E08			1,8 E08
Kr-88			3,7 E10		5,5 E08			
Kr-89			1,0 E08					
Xe-131m			3,3 E10				1,4 E09	1,7 E11
Xe-33m	2,0 E09		2,6 E10				5,3 E09	1,2 E08
Xe-33	2,9 E10	4,8 E10	1,4 E12	8,6 E11	1,7 E10		2,4 E11	4,4 E10
Xe-35m	5,0 E08		5,6 E10		5,5 E10		3,6 E10	6,1 E09
Xe-35	3,1 E10	1,2 E12	2,1 E11	1,9 E12	5,0 E10		1,1 E11	1,7 E10
Xe-37			1,2 E10					1,7 E09
Xe-38			5,4 E09		7,6 E08			

Radio-nuklid	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
	Aktivität in Bq							
Ar-41			1,3 E11		1,3 E11	9,0 E10	1,4 E11	8,1 E10
Kr-85m			3,9 E08		5,1 E08	7,8 E07		
Kr-85			1,3 E11			2,0 E11		1,4 E11
Kr-87						1,9 E08		3,4 E08
Kr-88						1,2 E08		6,0 E08
Kr-89						2,9 E08		
Xe-131m			3,8 E09			2,3 E10		5,5 E10
Xe-33m			3,1 E09			1,3 E09		9,3 E08
Xe-33	1,2 E11		1,2 E11		5,8 E11	1,6 E10		4,4 E09
Xe-35m			2,0 E08			1,1 E07		5,7 E07
Xe-35	3,7 E10		2,4 E10		4,2 E10	2,5 E09	1,2 E08	1,9 E09
Xe-37						7,1 E08		5,5 E08
Xe-38						2,0 E08		

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

Tabelle 1.2-3 Ableitung radioaktiver Aerosole mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2001 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 1.2-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2001, expressed in becquerel - iodine-131: Table 1)

Radio-nuklid	Kahl	Rheins-berg	Gund-remmin-gen A	Lingen	Obrig-heim	Wür-gassen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
Aktivität in Bq									
Cr-51									
Mn-54							2,3 E04		
Fe-59									
Co-57									
Co-58					7,8 E04		3,2 E05		
Co-60	4,4 E04	2,1 E05	6,6 E04	8,4 E02	2,2 E06	3,0 E06	1,0 E06	1,6 E07	2,6 E04
Zn-65									
Sr-89									
Sr-90	5,8 E02	4,8 E04							
Zr-95									
Nb-95							2,4 E04		
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					3,0 E04	8,0 E03	7,0 E04		
Sn-113									
Sb-124							9,6 E04		4,6 E04
Sb-125									
Te-123m									1,3 E06
Cs-134					2,9 E03				
Cs-137	5,9 E04	2,0 E05		2,7 E03	1,5 E04	1,8 E06	9,2 E04	7,3 E06	
Ba-140									
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		6,6 E03							
Eu-154									
Pu-238/ Am-241									
Pu-239/ Pu-240									
Pu-241									
Cm-242									
Cm-244									

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

Fortsetzung Tabelle 1.2-3

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

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

Fortsetzung Tabelle 1.2-3

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

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

Tabelle 1.2-4 Ableitung radioaktiver Edelgase und von Jod-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke (alte Bundesländer, ohne Forschungszentren) in den Jahren 1988 bis 2001
(Discharges of radioactive noble gases and iodine-131 with exhaust air from nuclear power plants - old German Länder, excluding research centres in the years from 1988 to 2001)

Jahr	Edelgase	Jod-131
	Aktivität in Bq	Aktivität in Bq
1988	1,4 E14	7,8 E08
1989	8,4 E13	5,7 E08
1990	5,2 E13	2,7 E08
1991	3,2 E13	3,4 E08
1992	4,4 E13	5,2 E08
1993	2,8 E13	3,9 E08
1994	4,2 E13	8,0 E08
1995	9,8 E13	5,5 E08
1996	6,2 E13	3,4 E08
1997	3,8 E13	3,0 E08
1998	2,7 E13	1,8 E08
1999	1,9 E13	2,5 E08
2000	2,6 E13	2,2 E08
2001	1,5 E13	2,8 E08

Tabelle 1.2-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2001)

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

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

b) davon Alphastrahler: 1,8 E05 Bq

nn: nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 1.2-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2001)

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
	Aktivität in Bq				
Braunschweig	-	1,3 E04	-	8,3 E07	3,5 E08
Garching	nn	nn	nn	2,0 E07	8,4 E09
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	-	3,3 E03	1,1E02	-	4,7 E06
Mainz	8,7 E10	nn	nn	-	7,3 E06

- Messung / Angabe nicht erforderlich

Die Jahresableitungen von FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin enthalten (Tabelle 1.2-5). Der Forschungsreaktor Braunschweig wurde Ende 1995 endgültig abgeschaltet, der Forschungsreaktor Hannover Ende 1996, der Forschungsreaktor Heidelberg Ende November 1999 und der Forschungsreaktor Garching im Juni 2000.

Tabelle 1.2-7 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility in the year 2001)

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	4,9 E10
Kohlenstoff-14	1,7 E09
langlebige Aerosole	1,7 E06
Radon-Folgeprodukte	1,2 E10

Tabelle 1.2-8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Abluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances (α -activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2001)

Betrieb	Abluft Bq
NUKEM GmbH (Hanau) a)	4,4 E05
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung a)	< 1,1 E04
Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	< 2,0 E05
ANF GmbH (Lingen)	< 1,5 E04
URENCO D (Gronau)	4,6 E04

a) Brennelementeproduktion eingestellt

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

In den Tabellen 1.3-1 bis 1.3-3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2001 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2001 insgesamt 8,5 m³ Abwasser abgeleitet (Tabelle 1.3-4).

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

Für Druck- und Siedewasserreaktoren lagen die insgesamt abgegebenen Mengen an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei jeweils 1,2 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 164 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 6,7 TBq.

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

Tabelle 1.3-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2001 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water form nuclear power plants in the Federal Republic of Germany in the year 2001 - summation values, tritium and alpha sources)

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

a) Anlage stillgelegt

b) Anlage seit 1990 außer Betrieb

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze.

Tabelle 1.3-2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2001)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (Bq) (außer Tritium)	Tritium (Bq)	Alphastrahler (Bq)
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	1,9 E07	6,9 E11	
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	2,8 E08	4,4 E11	
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht a)			
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	2,8 E05	5,8 E08	
FRM Forschungsreaktor München	1,2 E06	1,0 E09	2,2 E04
Forschungszentrum Rossendorf b)	4,1 E06	1,1 E10	9,9 E04

a) Zahlenwerte liegen dem BfS nicht vor

b) vormals ZfK Rossendorf

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2001)

Betrieb	Alphastrahler (Bq)
NUKEM GmbH	1,4 E08
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung a) Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	5,5 E06
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	1,0 E04

a) Brennelementproduktion eingestellt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2001
(Discharges of radioactive substances (alpha activity) with waste water from the final repository Morsleben in the year 2001)

Radionuklid	Jahresaktivitätsabgabe (Bq)
Tritium	nn *)
Nuklidgemisch (außer Tritium)	7,1 E02

*) Nachweisgrenze 0,8 Bq/l

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

1.4.1 Luft (Air)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Freiburg

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131 haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Lediglich an einer Messstelle des Forschungszentrums Jülich konnte wie in den vorangegangenen Jahren I-131 nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 1.4.1-1). Als Ursprung der Aktivität werden I-131-Applikationen im Institut für Medizin angenommen.

Durch die Änderung der REI im August 1993 ist die Ermittlung der Konzentrationen der langlebigen β -Aktivität in diesem Bereich nicht mehr vorgeschrieben, statt dessen werden Werte für die durch γ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentrationen einzelner Radionuklide bzw. die Nachweisgrenze für Kobalt-60 angegeben. Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 lagen 2001 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 1.4.1-2).

Die nach der REI geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 2 mBq/m³, für Co-60 bei 0,4 mBq/m³. Diese Werte werden im Jahresmittel an allen Probennahmestellen (s. Tabellen 1.4.1-1 und 1.4.1-2) erreicht bzw. in den meisten Fällen sogar deutlich unterschritten.

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der γ -Dosisleistung (Tabelle 1.4.1-3) sind im Vergleich zum Vorjahr im Allgemeinen gering und entsprechen den natürlichen Schwankungen. An einigen Standorten führte die starke Gewittertätigkeit in den Sommermonaten zu einer Erhöhung der Monatsmittelwerte in diesem Zeitraum.

Tabelle 1.4.1-1 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Jod-131
(Annual mean values for activity concentrations of gaseous iodine-131)
(in Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
		Jod-131 (mBq/m ³)							
HMI Berlin	2	-	<0,23	<0,22	< 0,20	<0,29	<0,31	<0,2	<0,31
KKW Brunsbüttel	2	-	<0,22	<0,26	< 0,22	-	-	[<0,2] ⁹	<0,2
KKW Brokdorf	2	<0,19	<0,46	<0,54	< 0,55	-	-	<0,54	<0,43
KKW Krümmel	3	<0,10	<0,10	<0,40	< 0,40	-	-	<0,36	<0,36
GKSS Geesthacht	1	<0,28	<0,28	<0,24	< 0,50	-	-	[<0,43] ⁶	<0,45
KKW Stade	1	-	<0,60	<0,53	< 0,42	[<0,38] ⁹	<0,37		
KKW Unterweser	2	<3,7	<2,0	[<2,0] ⁹	< 2,00	[<2,00] ⁹	<2,00	<2,00	[<2,00] ^{6,d}
KKW Grohnde	3	<0,82	<0,48	<0,43	< 0,45	<0,44	<0,47	-	[<0,69] ⁹
KKW Emsland	2	<0,15	[<0,38] ³	<0,43	< 0,33	<0,31	<0,37	-	[<0,31] ⁹
KKW Würgassen	3	<1,18	<1,43	*	*	*	*	*	*
KFA Jülich	3	<3,7	<2,0	0,63**	0,33 **	0,63**	0,25**	0,76**	0,72**
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,89	[<0,38]*	*	*	*	*	*	*
KKW Biblis	2	<1,2	<1,2	<0,54	< 0,57	<0,50	<0,57	[<0,65] ⁹	[<0,76] ⁹
KKW Philippsburg	4	<0,61	<0,74	<0,68	< 0,65	<0,62	<0,60	<0,62	<0,64
KKW Obrigheim	3	<0,56	<0,68	<0,80	< 0,78	<0,80	<0,79	<0,85	<0,86
KKW Neckarwestheim	2	<0,54	<0,74	<0,77	< 0,72	<0,68	<0,64	<0,60	<0,59
KfK Karlsruhe	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	<0,19	<0,14	<0,35	< 0,36	<0,31	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,25	<0,21	<0,48	< 0,49	<0,42	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	<0,27	<0,33	<0,44	< 0,32	<0,32	-	-	-
KKW Greifswald	2	-	<0,38	<0,14	< 0,10	<0,08	<0,07	<0,27	[<0,76]*
VKTA Rossendorf	1	-	<0,22	<0,14	< 0,06	<0,06	<0,06	<0,1	[<0,06] ⁹
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	-	< 0,40	<0,36	<0,18	*	*

N Zahl der Messstationen

- keine Messwerte

[]ⁱ unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate

* Messungen eingestellt

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

d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung

Tabelle 1.4.1-2 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(Annual mean values for activity concentrations of Co-60)
(in Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
		Co-60 (mBq/m ³)							
HMI Berlin	2	-	<0,02	<0,016	<0,02	<0,013	<0,016	<0,08	<0,02
KKW Brunsbüttel	2	-	<0,09	<0,02	<0,10	-	-	[<0,06] ⁶	<0,06
KKW Brokdorf	2	<0,19	<0,20	<0,24	<0,23	-	-	[0,19] ⁶	<0,19
KKW Krümmel	3	<0,02	<0,02	<0,06	<0,08	-	-	[<0,08] ⁶	<0,07
GKSS Geesthacht	1	<0,11	<0,09	<0,06	<0,16	-	-	[<0,19] ⁶	<0,18
KKW Stade	1	-	<0,31	<0,27	<0,25	[<0,22] ⁹	<0,21		
KKW Unterweser	2	<0,05	<0,4	[<0,4] ⁹	<0,40	[<0,4] ⁹	<0,40	<0,40	[<0,40] ^{6,d}
KKW Grohnde	3	<0,21	<0,20	<0,12	<0,13	<0,12	<0,12	-	[<0,12] ⁹
KKW Emsland	2	<0,07	[<0,13] ³	<0,17	<0,16	<0,16	<0,18	-	[<0,18] ⁹
KKW Würgassen	2	<0,28	<0,30	<0,32	<0,15	<0,10	<0,10	<0,1	<0,10
KFA Jülich	3	<0,37	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,02	<0,02	<0,014	<0,006	<0,04	<0,17	<0,11	<0,05
KKW Biblis	3	-	<0,008	<0,25	<0,20	<0,18	<0,19	[<0,21] ⁹	[<0,21] ⁹
KKW Philippsburg	4	<0,04	<0,04	<0,046	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
KKW Obrigheim	3	<0,09	<0,08	<0,076	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
KKW Neckarwestheim	2	<0,14	<0,14	<0,15	<0,15	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14
KfK Karlsruhe	3	<0,005	<0,007	<0,010	<0,006	<0,006	<0,008	<0,01	<0,01
KKI Niederaichbach	3	<0,013	<0,07	<0,19	<0,19	<0,19	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,008	<0,05	<0,09	<0,10	<0,09	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	<0,008	<0,24	<0,25	<0,18	<0,20	-	-	-
KKW Greifswald	2	-	<0,44 [#]	<0,06	<0,07 [#]	<0,07 [#]	<0,13	<0,15	[<0,37] [*]
VKTA Rossendorf	3	-	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	[<0,02] ⁹
KKR Rheinsberg	2	-	<0,02	<0,11	<0,11	<0,11	<0,14	<0,10	<0,09
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	-	<0,30	<0,29	<0,18	<0,16	0,15

- keine Messwerte
- # Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten
- []ⁱ unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate
- ^d zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung
- N Zahl der Messstationen
- * Messungen eingestellt

Tabelle 1.4.1-3 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Ambient radiation from nuclear power plants and research reactors)
 (γ -Dosisleistung in nSv pro Stunde, Messwerte der Betreiber)

Probenahmestelle	N	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
		nSv/h							
HMI Berlin	2	-	83	79	72	73	70	71	71
KKW Brunsbüttel	2	93	83	[90] ⁹	72	75	78	75	85
KKW Brokdorf	2	62	65	62	62	60	61	61	60
KKW Krümmel	3	60	66	[68] ⁹	63	71	68	53	56
GKSS Geesthacht	1	78	80	80	84	[80] ⁹	84	84	84
KKW Stade	1	-	165	196	60 ^x	[50] ⁹	[85] ¹¹		
KKW Unterweser	2	50	54	[54] ⁹	90	[90] ⁹	83	87	[90] ⁶
KKW Grohnde	3	88	91	88	88	85	85	-	[88] ⁹
KKW Emsland	2	74	[75] ³	73	66	66	66	-	[65] ⁹
KKW Würgassen	3	102	105	104	*	*	*	*	*
KFA Jülich	12	55	63	59	55	64	64	61	59
THTR Hamm-Uentrop	2	74	83	92	92	90	90	89	88
KKW Biblis	3	80 - 125	73 - 128	93	85	88	88	[88] ⁹	[90] ⁹
KKW Philippsburg	4	99	99	112	109	105	105	105	100
KKW Obrigheim	3	73	73	78	75	73	72	70	70
KKW Neckarwestheim	2	53	54	58	61	58	56	56	56
KfK Karlsruhe	6	86	86	96	85	84	84	82	82
KKI Niederaichbach ^a	3	78	79	80	68	67	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld ^a	3	86	117	118	97	109	-	-	-
KRB Gundremmingen II ^a	3	85	88	89	79	77	-	-	-
KKW Greifswald	20	-	71	54 - 81	70	72	71	71	77
VKTA Rossendorf	3	-	116	113	110	110	112	106	[109] ⁹
KKR Rheinsberg	4	-	-	110	105	101	100	99	99
KKW Mühlheim-Kärlich	2	-	-	-	-	-	-	110	114

- keine Messwerte

x Ersatzwert Sonde NLÖ unweit defekter Sonde

* Messungen eingestellt

** Netto-Gammadosisleistung künstlich

[]ⁱ unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate

a teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

N Zahl der Messstationen

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

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

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

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Boden und Bewuchs in den Tabellen 1.4.2-1 und 1.4.2-2, für Milch in Tabelle 1.4.2-3 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

**Tabelle 1.4.2-1: Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of the soil in the vicinity of nuclear power plants)**

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)		
Baden-Württemberg	FZ Karlsruhe	Cs-137					
					Pu-238		
					Pu-239/240		
		1999	11	18,3	7	<0,12	<0,18
		2000	11	19,3 (4,8 - 64,0)	7	<0,18	<0,39
		2001	8	39,9 (6,8 - 100,0)	5	<0,30 (<0,18 - 0,54)	<0,82 (<0,25 - 1,7)
						Sr-90	
		1999	-		3	1,6	
		2000	-		3	2,6	
	2001	-		3	2,7 (1,8 - 3,8)		
	Kernkraftwerk Obrigheim	1999	8	12,0	-		
		2000	8	11,3	-		
		2001	6	14,2 (3,9 - 22,0)	-		
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	8	14,8	-		
		2000	8	10,3	-		
	2001	6	10,6 (2,8 - 19,0)	-			
Kernkraftwerk Philippsburg	1999	8	14,3	a)			
	2000	8	14,4	a)			
	2001	6	16,4 (7,4 - 28,0)	-			
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1999	8	36,5	-			
	2000	8	32,9	-			
	2001	4	30,5 (23,0 - 48,0)	-			
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1999	4	22,1	-			
	2000	4	10,7	-			
	2001	2	9,7 (9,5; 9,9)	-			
TRIGA Heidelberg	1999	2	b) 17,0; 23,0	-			
	2000	2	b) 17,0; 18,0	-			
	2001	1	14,0	-			
Bayern							
Kernkraftwerk Kahl	1999	3	30,0	-			
	2000	a)		-			
	2001	a)		-			

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM							
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)				
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	12	54,5	-	Sr-90				
	2000	a)		-					
	2001	a)		-					
	Kernkraftwerk Isar	1999	12	49,1		-			
		2000	a)			-			
		2001	a)			-			
	Kernkraftwerk Grafrheinfeld	1999	8	6,4		-			
		2000	a)			-			
		2001	a)			-			
	Forschungsreaktor München	1999	2	b) 74,0; 110,0		-			
		2000	a)			-			
		2001	a)			-			
KWU Erlangen	1999	4	20,4	2	Pu-238	Pu-239/240			
		a)		a)	a)	a)	0,12		
		a)		a)	a)	a)			
	2000	-	-	2	U-235	U-238	Am-241		
		-		-	a)	b) 0,3; 0,6	b) 5,4; 8,4	b) <0,1; <0,14	
	2001	-	-	a)	a)	a)	a)		
		-		-	a)	a)	a)	a)	
	KWU Karlstein	1999	2	25,0	2	Pu-238	Pu-239/240		
			a)		a)	a)	a)	b) <0,05; <0,1	b) <0,1; 0,19
			a)		a)	a)	a)		
2000		-	-	2	U-235	U-238	Am-241		
		-		-	a)	b) 0,2; 0,51	10,0 N=1	b) <0,05; <0,1	
2001	-	-	a)	a)	a)	a)			
SBWK Karlstein	1999	a)	Gesamt- α -Aktivität	-	Sr-90				
	2000	a)		-					
	2001	a)		-					
Berlin Forschungsreaktor BERII	1999	8	Cs-137	-					
		8		18,6	-				
		6		16,8	-				
Brandenburg Kernkraftwerk Rheinsberg	2000	8	13,8 (6,6 - 23,0)	-					
	2001	8	8,6	-					
		8	11,1	-					
Hessen Kernkraftwerk Biblis	2001	8	10,0 (5,7 - 13,0)	-					
	1999	10	7,5	-					
		9	9,1	-					
Nuklearbetriebe Hanau	2000	9	6,5 (3,1 - 8,9)	-					
	1999	5	Gesamt- α -Aktivität Bq/kg Asche	3	Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche	Pu-239/240 Bq/kg Asche			
		8	715	a)	a)	0,40			
2000	8	880	4	a)	0,35				
	2001	a)	a)	a)	a)				

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137		U-235
Kernkraftwerk Greifswald	1999	26	9,7	18	0,9
	2000	29	10,8	18	0,9
	2001	27	10,0 (0,8 - 47,0)	18	0,9 (0,4 - 2,0)
Zwischenlager Nord	1999	42	<5,9	-	
	2000	42	<5,7	-	
	2001	42	4,8 (0,42 - 42,0)	-	
Niedersachsen					Sr-90
Kernkraftwerk Stade	1999	14	15,5	a)	
	2000	14	12,0	a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Unterweser	1999	12	13,9	a)	
	2000	12	20,5 (2,9 - 46,0)	a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Grohnde	1999	10	23,1	a)	
	2000	10	21,0	a)	
	2001			a)	
Kernkraftwerk Emsland	1999	10	18,2	a)	
	2000	10	26,3	a)	
	2001	a)		a)	
Zwischenlager Gorleben	1999	22	29,6	4	0,8
	2000	6	54,2	a)	
	2001	a)		a)	
FMRB Braunschweig	1999	8	25,4	a)	
	2000	8	36,7	a)	
	2001	6	22,3 (10,0 - 52,0)	a)	
Schacht Konrad II c)	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
			Uran µg/kg Asche		Bq/kg Asche
					U-234
					U-235
					U-238
Advanced Nuclear Fuels Lingen	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Nordrhein-Westf.			Cs-137		Sr-90 (Bq/kg TM)
KFA Jülich	1999	10	10,4	6	2,6
	2000	10	8,6	6	1,3
	2001	10	5,8 (2,8 - 9,5)	6	1,2 (0,5 - 2,9)
Kernkraftwerk Würgassen	1999	20	19,0	-	
	2000	20	18,8	-	
	2001	17	15,1 (6,9 - 43,0)	-	
Kernkraftwerk Uentrop	1999	8	24,5	a)	
	2000	8	18,7	a)	
	2001	8	18,3 (9,5 - 35,0)	a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Zwischenlager Ahaus	1999	5	16,4	5	0,8
	2000	5	10,3	5	0,9
	2001	5	10,9 (5,8- 16,9)	5	1,7 (0,6 - 2,8)
			U-238 TM		
UAG Gronau	1999	10	<0,1 (<0,1 - <0,1)	-	
	2000	10	<0,2 (<0,2 - <0,2)	-	
	2001	a)		-	
			Cs-137		
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	8	13,0	-	
	2000	8	11,3	-	
	2001	8	16,4 (4,8 - 34,4)	-	
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Sachsen Rossendorf	1999	16	11,4	-	
	2000	16	8,6	-	
	2001	4	11,0 (8,5 - 16,0)	-	
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1999	8	9,1	4	Sr-90
	2000	8	9,6	4	Gesamt-β-Aktiv.
	2001	8	9,1 (5,1 - 16,0)	4	<0,6 590 0,9 670 0,4 (0,3 - 0,5) 620 (530 - 720)
Schleswig-Holstein GKSS Geesthacht	1999	10	9,3	2	Sr-90
	2000	10	12,2	2	0,5
	2001	10	14,4 (8,1 - 22,0)	2	0,5 (0,4 - 0,5)
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1999	8	37,3	2	2,6
	2000	8	31,8	2	b) 1,0; 3,4
	2001	8	32,8 (17,0 - 55,5)	2	b) 1,0; 3,5
Kernkraftwerk Krümmel	1999	12	8,8	6	0,9
	2000	12	8,6	6	0,9
	2001	13	8,0 (5,0 - 10,3)	7	0,8 (0,5 - 1,2)
Kernkraftwerk Brokdorf	1999	16	22,6	16	2,0
	2000	16	19,7	8	2,7
	2001	16	18,9 (5,1 - 38,0)	8	2,4 (0,8 - 4,3)

- a) Daten lagen nicht vor
 b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll
 c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt
 d) Weicht die Anzahl einzelner Messungen in dieser Spalte vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
 - Messung / Angabe nicht erforderlich

Tabelle 1.4.2-2: Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen
(Radioactivity of vegetation in the vicinity of nuclear power plants)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)	
Baden-Württemb.			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240
FZ Karlsruhe	1999	6	2,0	4	<0,06	<0,05
	2000	6	1,2	4	<0,06	<0,03
	2001	3	1,3 (0,4 - 2,4)	2	<0,17(<0,01-0,32)	<0,14(<0,004-<0,27)
					Sr-90	
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	8	0,4	-		
	2000	8	<0,4	-		
	2001	6	<0,4 (0,3 - <0,5)	-		
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	8	<0,8	-		
	2000	8	<0,5	-		
	2001	6	<0,3 (0,2 - <0,4)	-		
Kernkraftwerk Philippsburg	1999	8	1,0	a)		
	2000	8	2,2	a)		
	2001	6	2,4 (0,1 - 7,1)	a)		
			Cs-137			
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1999	8	1,8	-		
	2000	8	1,7	-		
	2001	4	1,8 (0,4 - 3,8)	-		
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1999	4	2,5	-		
	2000	4	<0,5	-		
	2001	2	0,5 (0,3 - 0,7)	-		
TRIGA Heidelberg	1999	2	0,4	-		
	2000	2	0,2	-		
	2001	1	0,3	-		
Bayern						
Kernkraftwerk Kahl	1999	3	0,6	-		
	2000	a)		-		
	2001	a)		-		
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	12	<2,0	-		
	2000	a)		-		
	2001	a)		-		
Kernkraftwerk Isar	1999	12	<2,8	-		
	2000	a)		-		
	2001	a)		-		
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1999	10	<0,6	-		
	2000	a)		-		
	2001	a)		-		
Forschungsreaktor München	1999	2	b) <1,0; 1,6	-		
	2000	a)		-		
	2001	a)		-		
			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240
KWU Erlangen	1999	4	<3,3	2	a)	b) <0,03; <0,04
	2000	a)		a)		
	2001	a)		a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)		
KWU Karlstein	1999	2	b) 0,3; 1,5	2	b) <0,005; <0,1	b) <0,1; 0,58	
	2000	a)		a)			
	2001	a)		a)			
SBWK Karlstein	1999	a)	Gesamt-α-Aktivität	-	Sr-90		
	2000	a)		-			
	2001	a)		-			
Berlin Forschungsreaktor BERII	1999	8	Cs-137 <3,9	-			
	2000	7		<1,3			-
	2001	6		<2,1 (<0,2 - 6,2)			-
Brandenburg Kernkraftwerk Rheinsberg	1999	8	4,6	-			
	2000	8	4,4	-			
	2001	8	6,2 (0,7 - 16,0)	-			
Hessen Kernkraftwerk Biblis	1999	10	<0,5	a)			
	2000	9	<0,3	a)			
	2001	9	<0,4 (<0,1 - 0,9)	a)			
Nuklearbetriebe Hanau	1999	3	Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche 180	1	Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche a)	Pu-239/240 Bq/kg Asche <0,05 b) <0,05; <0,73	
	2000	6		220			2
	2001	a)		a)			a)
Mecklenburg-Vorp. Kernkraftwerk Greifswald	1999	21	Cs-137 <1,6	-	Sr-90		
	2000	20		<1,1			-
	2001	20		<0,6 (<0,1 - 1,7)			-
Zwischenlager Nord	1999	36	<1,4	-			
	2000	36	<1,2	-			
	2001	36	<1,0 (<0,1 - 11,0)	-			
Niedersachsen Kernkraftwerk Stade	1999	14	<1,4	-			
	2000	14	<1,1	-			
	2001	a)	a)	-			
Kernkraftwerk Unterweser	1999	12	<1,7	a)			
	2000	12	<0,9	a)			
	2001	a)	a)	a)			
Kernkraftwerk Grohnde	1999	10	<0,4	a)			
	2000	10	<1,0	a)			
	2001	a)	a)	a)			
Kernkraftwerk Emsland	1999	10	2,3	-			
	2000	10	1,2	-			
	2001	a)	a)	a)			
Zwischenlager Gorleben	1999	16	85,8	4	2,9		
	2000	a)	a)	a)			
	2001	a)	a)	a)			

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
FMRB	1999	6	8,8	-	
Braunschweig	2000	6	20,7	-	
	2001	4	3,0 (0,7 - 7,7)	-	
					Sr-90 Gesamt-α-Aktiv.
Schacht Konrad II c)	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen				Sr-90	
KFA Jülich	1999	10	<0,4	-	
	2000	10	<0,4	-	
	2001	8	<0,6 (0,1 - 2,3)	-	
Kernkraftwerk Würgassen	1999	12	<0,4	-	
	2000	12	<0,5	-	
	2001	15	<0,9 (0,2 - 4,6)	4	0,32 (0,1 - 0,5)
Kernkraftwerk Uentrop	1999	8	<1,0	-	
	2000	8	<2,7	-	
	2001	8	1,4 (0,2 - 2,9)	-	
Zwischenlager Ahaus	1999	10	6,0	9	2,1
	2000	10	<1,8	9	2,1
	2001	9	<1,5 (0,3 - 4,6)	8	0,4 (0,1 - 0,8)
			Uran Bq/kg TM		Uran Bq/kg TM Fluor mg/kg TM
UAG Gronau	1999	6	<1,0 U-238	12	<0,27 <1,3
	2000	4	<0,3 U-238	12	<0,34 1,7
	2001	a)	a)	12	<0,46 (<0,23 - 2,8) <2,0 (<1,5 - 7,2)
Rheinland-Pfalz				Sr-90	
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	7	<1,2	-	
	2000	8	<0,7	-	
	2001	8	<0,5 (<0,3 - 1,3)	-	
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Sachsen-Anhalt				Gesamt-β-Aktivität	
Endlager Morsleben	1999	8	<0,5	4	1065
	2000	8	<0,4	4	1070
	2001	8	<0,7 (<0,3 - 1,7)	4	1180 (720 - 1600)
Sachsen				Sr-90	
Rossendorf	1999	16	<6,3	-	
	2000	16	6,5	-	
	2001	4	14,8 (1,1 - 44,0)	-	
Schleswig-Holstein					
GKSS Geesthacht	1999	8	2,0	-	
	2000	8	2,8	-	
	2001	8	2,2 (0,7 - 3,1)	-	
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1999	8	<0,4	a)	
	2000	8	<0,4	a)	
	2001	8	<0,3 (0,1 - 0,6)	a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Krümmel	1999	8	0,9	6	3,0
	2000	8	0,5	6	2,7
	2001	9	<0,5 (<0,2 - 1,0)	7	2,0 (1,1 - 3,1)
Kernkraftwerk Brokdorf	1999	14	<1,2	a)	
	2000	14	<1,5	a)	
	2001	14	<0,6 (0,2 - 1,9)	a)	

- a) Daten lagen nicht vor
- b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll
- c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt
- d) Weicht die Anzahl einzelner Messungen in dieser Spalte vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält die Ergebnisse der Radioaktivitätsmessungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen aus dem Jahr 2001 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Die Auswertung der insgesamt 2625 (2000: 2313) Einzelwerte von 259 (2000: 232) Probenentnahmestellen in Tabelle 1.4.3-1 erfolgte entsprechend den Hinweisen in Teil I Kapitel 3.3.1.

Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in Oberflächenwasser aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte allenfalls in Einzelfällen nachweisbar. Erhöhte Tritium-Gehalte (H-3) wurden in Stichproben gemessen, die unmittelbar an Auslaufbauwerken genommen wurden. Die Werte betragen hier im Einzelfall bis zu 10.000 Bq/l (Ems, KKW Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber wieder zurück (siehe auch Teil I Tabelle 3.3.1-2). Die Nuklidgehalte anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l oder waren wegen der Vorbelastung, insbesondere Strontium-90 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) bis 0,01 Bq/l aus anderen Quellen - Kernwaffen-Fallout und Reaktorunfall in Tschernobyl -, praktisch nicht aufzeigbar. Einzelne Bestimmungen von Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 an Wasserproben ließen wegen der niedrigen Werte (unter 0,0001 Bq/l) kaum Auswirkungen der jeweiligen Anlage im Vorfluter erkennen (Elbe/KKW Brunsbüttel).

In Sedimentproben aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren Gehalte der anlagen-spezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In wenigen direkt an Auslaufbauwerken entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Kobalt-60 (Co-60) gemessen: bis 34,5 Bq/kg TM in der Weser/KKW Würgassen. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 waren Auswirkungen dieses Radionuklids von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzeigbar. Für Alpha-Strahler wurden etwas erhöhte Werte der Gesamt-Alpha-Aktivität (G_{α}) bis 600 Bq/kg TM im Mittel im Hirschkanal/Forschungszentrum Karlsruhe gemessen; hier konnte zudem Americium-241 (Am-241) bis 18 Bq/kg TM nachgewiesen werden. Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und Pu-239/240 ergaben Gehalte bis höchstens 0,14 bzw. 0,4 Bq/kg TM (Rheinniederungskanal/Forschungszentrum Karlsruhe, Elbe/KKW Brunsbüttel).

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

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus strahlenhygienischer Sicht praktisch vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis 23 Bq/l (siehe Kapitel I Teil 3.3.1). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die auf dem "Trinkwasser-Pfad" für Erwachsene (> 17 a; 700 l/a Konsum) von H-3 resultierende effektive Dosis zu ca. 0,29 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 μ Sv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 zu 0,1 % ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 34,5 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus der Weser im Bereich "ungünstigster Einwirkungsstellen" gemessen werden. Für den Fall, dass derartige Sohlenmaterial gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad "Aufenthalt auf Spül-feldern" zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a) für Standardbedingungen zu ca. 11 μ Sv/a abschätzen. Sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 μ Sv/a.

Tabelle 1.4.3-1 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 Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration						
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte		
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000	
RHEIN / KKW Beznau und 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	<0,013	<0,036	nn	nn	
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,023	<0,038	nn	nn	
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,020	<0,020	nn	nn	
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,010	<0,032	nn	nn	
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,022	<0,035	nn	nn	
		nach KKW Leibstadt	4	4			nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	nach KKW Leibstadt	1		0,41	0,41	0,41	0,60	
	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,55	<1,03	nn	-	
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,64	<0,81	nn	nn	
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2		8,1	10,0	9,0	7,05	
		vor KKW Leibstadt	2		6,9	8,8	7,9	15,0	
	nach KKW Leibstadt	2		7,3	7,8	7,6	11,2		
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Weil	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn	
		Breisach	12	12	<8,0	<8,0	nn	<7,9	
	Co-60	Weil	12	12	<0,0072	<0,042	nn	nn	
		Breisach	12	12	<0,0090	<0,038	nn	nn	
	Cs-137	Weil	12	12	<0,0071	<0,035	nn	-	
		Breisach	12	12	<0,0078	<0,041	nn	-	
Sediment (Bq/kg TM)	Co 60	Grissheim, km 206,5	2	2	<0,63	<0,82	nn	-	
		Breisach, km 232,0	2	2	<0,91	<1,10	nn	-	
	Cs-137	Grissheim, km 206,5	2		3,9	3,9	3,9	3,25	
		Breisach, km 232,0	2		2,6	5,8	4,2	4,30	
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	7	7	<8,0	<8,0	nn	nn	
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	6	3	<8,0	63,0	<26,7	75	
	Co-60	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,018	<0,024	nn	nn	
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,016	<0,026	nn	nn	
	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,015	<0,025	nn	nn	
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,015	<0,025	nn	nn	
	Sediment (Bq/kg TM)	Gβ	Hirschkanal	4		1200	1300	1250	1600
		Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	2		3,7	14,0	8,9	8,0
Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk			2		4,8	5,7	6,2	10,5	
Hirschkanal			4		220	530	353	498	
Pu-238		Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	3		0,0051	0,14	0,07	0,22	
Pu-239/240		Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	3		0,21	0,40	0,29	0,48	

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	12	9	<8,0	19,0	<9,6	<10,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,012	<0,081	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0086	<0,019	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0068	<0,013	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0074	<0,015	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	1		3,40	3,40	3,40	2,07
		am Auslaufbauwerk	3		2,60	6,60	4,13	4,03
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<1,10	<1,60	nn	0,57
		am Auslaufbauwerk	4		1,50	19,0	7,30	4,85
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4		14,0	21,0	16,3	15,3
		am Auslaufbauwerk	4		15,0	27,0	20,0	19,3
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	am Auslaufbauwerk	2	2	<6,0	<6,0	nn	<111
	Co-60	am Auslaufbauwerk	2	2	<0,050	<0,060	nn	nn
	Cs-137	am Auslaufbauwerk	2	2	<0,050	<0,060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<1,10	<1,10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	1	1	<0,80	<0,80	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1		6,00	6,00	6,00	9,3
		nach Auslaufbauwerk	1		13,0	13,0	13,0	15,5
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4		5,3	6,2	5,8	5,5
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4		5,7	6,0	5,9	7,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,010	<0,030	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,010	<0,020	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,010	<0,030	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,010	<0,020	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 596,5	2	2	<0,32	<0,43	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2		1,30	1,40	1,35	0,50
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 596,5	2		11,0	15,0	13,0	13,5
		bzw. 604,5 nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2		13,0	15,0	14,0	12,0
NECKAR / KKW Neckarwestheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk I und II	4		19,0	44,0	28,3	42,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,013	<0,017	nn	-
		am Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,018	<0,029	nn	-
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,013	<0,015	nn	nn
am Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,017	<0,028	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2		6,2	6,7	6,5	5,10
		nach Auslaufbauwerk	3		4,6	5,7	5,3	4,50
NECKAR / KKW Obrigheim								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	3	<8,0	10,0	<8,5	9,7
		am Auslaufbauwerk	4		14,0	20,0	16,0	16,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,014	<0,023	nn	-
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,011	nn	-
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	0,0087	0,0087	<0,016	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0010	<0,025	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,93	<0,93	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	2	2	<0,88	<0,97	nn	-

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	2 2		0,81 10,0	1,30 15,0	1,06 12,5	0,59 6,65
MAIN / KKW Grafenrheinfeld								
Oberflächen- wasser (Bq/l) Sediment (Bq/kg TM)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	Gα	Ablauf Kläranlage Hanau	3	1	0,092	0,17	0,13	<0,12
	Sr-90	Kinzig, Hanau	3	3	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,015	nn	nn
	U-234		4	1	<0,005	0,013	0,010	0,010
	U-235		4	4	<0,005	<0,005	nn	nn
	U-238		4	2	<0,005	0,006	<0,0054	0,0050
	Pu-238		4	4	<0,005	<0,005	nn	nnnn
	Pu-239/240		4	4	<0,005	<0,005	nn	
Sediment (Bq/kg GR) (GR = Glüh- rückstand)	Gα	Kinzig, vor Einleitung Doppelbiergraben Kinzig, nach Einleitung Doppelbiergraben Doppelbiergraben	a)					730 1100 3500
	Cs-137	Kinzig, Hanau	4		3,87	5,67	4,81	9,52
	U-234	Doppelbiergraben)	a)					1000
	U-235		a)					40,0
	U-238		a)					460
	Pu-238		a)					nn
	Pu-239/240		a)					0,42
	MOSEL / KKW Cattenom							
Oberflächen- wasser (Bq/l)		keine Werte / s. a. Teil I Kapitel 3.3.1						
Sediment (Bq/kg TM)		keine Werte / s. a. Teil I Kapitel 3.3.1						
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0	a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0	a)					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2548,5	a)					

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration						
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte		
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2548,5	a)						
ISAR / KKW Isar 1 und 2									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a)						
	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a)						
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a)						
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a)						
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a)						
ISAR / Forschungsreaktor München									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a)						
	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a)						
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a)						
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a)						
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a)						
EMS / KKW Emsland									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	-	
			4	4	88,0	10000	3220	-	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	0,0055	<0,010	nn	-	
			4	4	<0,0037	<0,0086	nn	-	
Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0045	<0,011	nn	-		
		4	4	<0,0039	<0,0076	nn	-		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,21	<0,23	nn	nn	
			4	4	<0,28	<0,69	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4		11,0	12,0	12,0	9,9	
			4		44,0	53,0	61,0	55,8	
WESER / KKW Würgassen									
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
			4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn	
			4	4	<0,05	<0,05	nn	nn	
Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<0,05	<0,05	nn	nn		
		4	4	<0,05	<0,05	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2 am Auslaufbauwerk, km 49,6 Wehrden, km 60,2	2	2	<1,80	<2,80	nn	nn	
			2		29,0	42,0	34,5	35,5	
			2	2	<1,30	<2,50	nn	nn	
	Cs-137	Herstelle, km 47,2 am Auslaufbauwerk, km 49,6 Wehrden, km 60,2	2		18,0	20,0	19,0	20,0	
			2		35,0	42,0	38,5	38,5	
			2		13,0	13,0	13,0	26,0	

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
WESER / KKW Grohnde								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	-
		am Auslaufbauwerk	4	1	<10,0	110	74,7	-
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0051	<0,011	nn	-
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0055	<0,015	nn	-
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0051	<0,010	nn	-
am Auslaufbauwerk		4	4	<0,0052	<0,013	nn	-	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,32	<0,64	nn	nn
		Hamel, km 135	4	4	<0,34	<0,65	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4		16,0	18,0	17,0	17,3
		Hamel, km 135	4		18,0	20,0	19,0	20,0
UNTERWESER / KKW Unterweser								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4		0,73	1,10	0,92	1,05
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4		0,46	0,77	0,57	0,94
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4		7,90	11,0	9,1	9,1
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4		4,70	12,0	8,6	12,0
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	Selhausen	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	Selhausen	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<3,10	<3,60	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<3,60	<4,00	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2		21,0	20,0	20,5	21,0
		Jülich-Süd	2		23,0	28,0	25,5	28,0
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	G α	Retentionsanlage	4	3	<0,060	0,080	<0,065	0,065
		unterhalb der Straßenkreuzung	12	12	<0,060	<0,060	nn	<0,068
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<2,0	<2,5	nn	nn
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<2,9	<3,9	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2		58,0	110	84	114
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2		21,0	46,0	34,0	48,0
	Uran	Retentionsanlage	1		0,79	0,79	0,79	3,17
		unterhalb der Straßenkreuzung	1		0,92	0,92	0,92	0,34
AHAUSER AA / MOORBACH / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	G- α	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
	R β		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3		4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Moorbach	4	4	<2,00	<5,00	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,00	<5,00	nn	nn
	Cs-137	Moorbach	4		30,0	51,0	38,5	41,3
		Ahauser Aa	4		51,0	64,0	56,0	64,8
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	3	3	<10,0	<10,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	3	3	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	3	3	<0,035	<0,045	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	3	3	<0,026	<0,041	nn	nn

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6 nach Auslaufbauwerk, km 579,6	3	3	<0,029	<0,032	nn	nn
3			3	<0,028	<0,032	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6 nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	2	<0,78	<0,85	nn	nn
			2	2	<0,71	<0,84	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6 nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	2	0,93	1,20	1,07	<0,91
			2	2	<0,79	<1,10	nn	<0,82
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 568,9 nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<6,5	<6,5	nn	nn
			12	12	<6,5	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 568,9 nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0065	<0,013	nn	nn
			12	12	<0,0059	<0,012	nn	nn
Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 568,9 nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0088	<0,015	nn	nn	
		12	12	<0,0075	<0,016	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,8 nach Auslaufbauwerk, km 582,9	4	4	<0,94	<1,10	nn	nn
			4	4	<0,78	<1,10	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,8 nach Auslaufbauwerk, km 582,9	4	4	1,70	2,80	2,28	1,88
			4	4	0,52	1,20	0,81	0,57
ELBE / KKW Brokdorf								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5 nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	8	8	<0,88	<2,00	nn	nn
			6	6	<0,72	<1,10	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5 nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	8	2	<0,98	5,80	4,20	4,25
			6	3	<0,91	4,10	<2,14	3,18
ELBE / KKW Stade								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
			4	3	<10,0	22,0	<13,0	<12,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0058	<0,014	nn	nn
			4	4	<0,0060	<0,016	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,012	nn	nn
			4	4	<0,0051	<0,013	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654 nach Auslaufbauwerk, km 660	4	2	<0,24	0,41	<0,32	<0,33
			4	1	0,38	0,56	0,45	0,47
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654 nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	2,9	7,0	5,6	7,7
			4	4	9,2	13,0	10,5	9,6
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächenwas- ser (Bq/l)	H-3	Elbe, km 690	4	4	<5,2	<5,5	nn	<6,1
		Elbe, km 693	2	2	<5,2	<5,5	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<5,2	<5,5	nn	nn
	Co-60	Elbe, km 690	4	4	<0,0095	<0,0010	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<0,0088	<0,0091	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<0,0085	<0,010	nn	nn
	Sr-90	Elbe, km 690	4	4	0,0046	0,0053	0,0050	0,0052
		Elbe, km 693	2	2	0,0049	0,0049	0,0049	0,0057
		Elbe, km 698	2	2	0,0048	0,0052	0,0050	0,0055

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
	Cs-137	Elbe, km 690	4	3	0,0073	0,0073	<0,0098	nn
		Elbe, km 693	2		0,010	0,011	,011	nn
		Elbe, km 698	2	2	<0,0093	<0,011	nn	<0,0078
	Pu-238	Elbe, km 690	1	1	<0,00009	<0,00009	nn	nn
	Pu-239/240	Elbe, km 690	1		0,00008	0,00008	0,00008	0,0004
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb am Auslaufbauwerk	4	4	<0,79	<1,50	nn	nn
			2	2	<0,95	<1,10	nn	nn
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	4	4	<0,083	<1,20	nn	nn
	Cs-137	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb am Auslaufbauwerk	4	1	<0,84	3,60	2,20	2,18
			2		3,70	4,70	4,20	4,30
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	3		1,10	1,90	1,60	1,40
	Pu-238	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb am Auslaufbauwerk	1		0,0057	0,0057	0,0057	0,0049
			1		0,034	0,034	0,034	0,036
	Pu-239/240	Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1		0,019	0,019	0,019	0,0049
		Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb am Auslaufbauwerk	1		0,042	0,042	0,042	0,031
		1		0,18	0,18	0,18	0,20	
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1		0,11	0,11	0,11	0,032
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	3	3	<4,6	<7,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<4,7	<6,3	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0017	<0,0022	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,0014	<0,0019	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3		0,0070	0,0090	0,0077	0,009
nach Auslaufbauwerk		3		0,0080	0,0091	0,0086	0,009	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2		0,10	0,20	0,15	0,20
		nach Auslaufbauwerk	2		0,20	0,30	0,25	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2		21,0	22,0	21,5	22,0
		nach Auslaufbauwerk	2		4,80	8,50	6,65	4,90
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	8	2,2	2,8	<3,3	3,8
		nach Auslaufbauwerk	12	7	2,2	4,9	<3,5	3,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0042	<0,0076	nn	<0,0067
		nach Auslaufbauwerk	12	12	<0,0052	<0,0072	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12		0,011	0,032	0,023	0,031
		nach Auslaufbauwerk	12		0,018	0,043	0,031	0,032
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,14	<0,27	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,13	<0,38	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4		5,45	7,77	6,70	7,50
		nach Auslaufbauwerk	4	1	3,71	7,01	5,25	12,3
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen- wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<3,0	<3,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<3,0	<3,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,0050	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,0050	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,0050	<0,0060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,17	<0,17	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1		8,5	8,5	8,5	7,40
ELBE/KALTER BACH/DITTERSBACH / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächen- wasser Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<5,5	<5,7	nn	nn
		Kalter Bach	3		31,0	45,0	36,0	37,0
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<5,5	<5,7	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<5,5	<5,7	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	3		0,013	0,023	0,018	0,017

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2001		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2001	2000
	Cs-137	Dittersbach	2	2	<0,0022	<0,0025	nn	nn
		Kalter Bach	3		0,010	0,027	0,016	<0,015
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<0,0019	<0,0020	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<0,0020	<0,0025	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	1		1,80	1,80	1,80	2,50
	Cs-137	Dittersbach	2		8,50	9,60	9,10	4,20
		Kalter Bach	2		15,0	23,0	19,0	15,5
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2		1,70	11,0	6,4	3,40

a) Daten lagen nicht vor

1.4.4 Fische und Wasserpflanzen (Fish and aquatic plants)

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Der vorliegende Beitrag enthält Messergebnisse der Radioaktivität in Fischen und Wasserpflanzen, die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (nach REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern erhalten wurden. Im Berichtsjahr 2001 wurden für 23 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem Cäsium-137) an 97 Fischfleischproben und 3 Wasserpflanzenproben, sowie für 2 Anlagen Strontium-90-Messungen an 16 Fischfleischproben durchgeführt. An einer Fischfleischprobe (Elbe, KKB) wurde auch die Bestimmung der sehr niedrigen Aktivitätskonzentration von Plutonium-239/240 durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 21 Süßwasserfischarten, 6 Mischproben (Süßwasser), 5 marinen Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie nicht arten-spezifizierte untersucht wurden. Die Wasserpflanzen wurden ebenfalls nicht spezifiziert. Die statistische Auswertung der Daten wurde wie im Teil I 3.4.3 beschrieben durchgeführt.

Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 1.4.4-1 - nach Fließgewässer und überwachter Anlage sortiert - zusammengefasst. In Fließgewässern wurde Cäsium-134 im Fisch nicht mehr nachgewiesen. Für die niedrigen Cs-137-Gehalte in Fischen ist 2001 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich im Rahmen der statistischen Streuung keine Veränderung zu verzeichnen. Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg sowie das Hahn-Meitner-Institut erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee, Ellbogensee und Sacrower See) entnommen wurden, so dass die gefundenen Cäsium-Aktivitäten, auch Cs-134 im Falle des Stechlinsees und des Sacrower Sees, auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen. 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 1.4.4-1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide dienen, insbesondere aus Ableitungen kerntechnischer und klinischer Anlagen, sind keine Besonderheiten festzustellen

Tabelle 1.4.4-1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 2001 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)

(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2001 within the framework of ambient surveillance for nuclear plants)

(nn: Anzahl der Werte <NWG; Pu-239 steht für die Summe Pu-239 + Pu-240)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg) FM							
Donau	KRB II Gundremmingen a)						
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,25	0,40	0,36
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,26	0,33	0,29
	PKA Gorleben a)						
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,35	0,37	0,42
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	6	<0,013	<0,02	<0,017
		Cs-137	6	0	0,28	0,68	0,32
	KKB Brunsbüttel	Sr-90	10	9	<0,0077	0,1	<0,0087
	Cs-137	14	0	0,21	0,72	0,26	
		Pu-239	1	1	<0,00026	<0,00026	<0,00026
Ems	KKE Emsland	Cs-137	8	0	0,19	2,4	0,92

(Fortsetzung Tabelle)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-137	6	0	0,16	13	1,2
Harttheich	Rosendorf a)						
Havel	HMI Berlin	Cs-137	1	0	3,4	3,4	3,4
Isar	KKI 1/2 Isar a)						
Main	KKG a) Grafenrheinfeld VAK a) Kahl						
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	3	0	0,085	0,12	0,12
	KWO Obrigheim	Cs-137	4	2	0,058	0,062	0,058
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,32	0,42	0,37
	Biblis	Cs-137	4	0	0,12	0,20	0,14
	Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	0	0,11	0,35	0,17
	KKP Philippsburg	Cs-137	4	0	0,15	0,21	0,17
	Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	0	0,16	0,22	0,19
Rheinniederungskanal	KfK Karlsruhe	Cs-137	1	0	0,14	0,14	0,14
Rur	KFA Jülich	Cs-137	4	0	0,18	0,34	0,25
Sacrower See	HMI Berlin	Cs-134	1	0	0,18	0,18	0,18
		Cs-137	1	0	57	57	57
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-134	2	1	<0,14	0,30	<0,22
		Cs-137	2	2	4,6	120	62
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	9,1	12	11
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,07	0,26	0,10
		KKU Unterweser	Cs-137	5	0	0,18	0,45
	Wasserpflanzen (Bq/kg) TM						
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	2	2	<0,5	<0,5	<0,5
		Cs-137	1	0	0,19	0,19	0,19
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	<0,5	<0,5	<0,5
Isar	FRM a) Garching						
	KKI 1/2 Isar a)						

a) Daten lagen nicht vor

1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser (Groundwater and drinking water)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Angewandten Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind im Jahr 2001 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1.4.5-1 übersichtlich zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze, der Minimal- und der Maximalwert sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 151 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

Für Cäsium-137 liegen alle Messwerte unterhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,63 mBq/l bis 72 mBq/l. (2000: Drei Messwerte über der Nachweisgrenze, 2,6 bis 17 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte einschließlich derer unterhalb der Nachweisgrenze liegt bei < 25 mBq/l (2000: < 24 mBq/l).

Die Werte für die Strontium-90-Aktivitätskonzentrationen (53% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 0,90 mBq/l und 6,1 mBq/l (2000: 0,80 bis 16 mBq/l). Der Median aller Werte liegt bei < 1,6 mBq/l (2000: 2,8 mBq/l).

Die berichtete Gesamt- α -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,034 Bq/l und 4,4 Bq/l (2000: 0,025 bis 4,9 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von 0,16 Bq/l (2000: < 0,20 Bq/l), wobei sämtliche Messwerte oberhalb 0,1 Bq/l im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Hanauer Nuklearbetriebe in Hessen ermittelt wurden. Erhöhte Werte wurden in Überwachungsbrunnen auf dem Werksgelände in unmittelbarer Nähe des Fertigungsgebäudes des SIEMENS-Brennelementwerkes Hanau (früher RBU I) erstmals nach Leckagen im Kühlwasserkreislauf im Jahr 1986 festgestellt. Sie treten ebenfalls lokal auf dem Betriebsgelände der Fa. NUKEM auf. Die Gesamt- α -Aktivitätswerte sind dort hauptsächlich auf Uranisotope zurückzuführen.

Die Rest- β -Aktivitätskonzentration wurde in 36 Proben gemessen. Alle Werte lagen unterhalb der gefundenen Nachweisgrenzen (2000: alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze). Der Median aller Werte beträgt < 0,10 Bq/l (2000: < 0,10 Bq/l).

In 18% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 0,46 Bq/l bis 410 Bq/l nachgewiesen (2000: 0,53 Bq/l bis 410 Bq/l), der Median aller Werte einschließlich derer unterhalb der Nachweisgrenze liegt bei < 9,7 Bq/l (2000: < 9,0 Bq/l). Die Werte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Werten im Niederschlag, die zwischen 1 und 2 Bq/l liegen.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen von bis zu 410 Bq/l (2000: bis 410 Bq/l) wurden - wie in den vergangenen Jahren - an Probenentnahmestellen für oberflächennahes Grundwasser auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Rossendorf gefunden. Bei diesen Stichproben wurden auch eine Kobalt-60-Kontamination von bis zu 0,44 Bq/l (2000: 0,35 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Werte im Grundwasser sind auf eine Kontamination des Untergrundes auf dem Betriebsgelände infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5,0 Bq/l auf.

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

Trinkwasser

Im Jahr 2001 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 37 Trinkwasser- und 17 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für Cäsium-137 wurde wie 2000 kein Messwert oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,35 mBq/l bis 60 mBq/l ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei < 20 mBq/l (2000: < 16 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Strontium-90 liegen zwischen 0,33 mBq/l und 13 mBq/l (2000: 0,25 bis 4,4 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 2,5 mBq/l (2000: 2,0 mBq/l).

Die Werte für die Gesamt- α -Aktivitätskonzentrationen sind größtenteils natürlichen Ursprungs. Die gemessenen Werte über der Nachweisgrenze liegen zwischen 34 mBq/l und 100 mBq/l (2000: 10 mBq/l bis 130 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte liegt bei 70 mBq/l (2000: 73 mBq/l).

In 26 Proben (von 89 gemessenen Proben) wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 0,82 Bq/l und 78 Bq/l (2000: 0,8 bis 74 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei < 8,0 Bq/l (2000: < 7,8 Bq/l). Die über den derzeitigen Werten im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zu erklären, das durch H-3-Emissionen aus dem Abwasser kerntechnischer Anlagen belastet ist.

Alle Werte über 10 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weist lediglich Tritiumkonzentrationen von < 2,5 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen.

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

Tabelle 1.4.5-1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 2001
(Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in 2001
- groundwater and drinking water)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt ^{b)}	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	128	77	0,011	1,1		<0,38
	Co-60	398	377	0,01	0,44		<0,03
	Cs-137	254	254				<0,025
	H-3	419	342	0,46	410		<9,7
	Sr-90	17	8	0,0009	0,061	0,0019	<0,0016
	R-Beta	36	36				<0,1
	G-Alpha	82	29	0,034	4,4	0,85	0,16
Trinkwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	55	43	0,029	0,32		<0,38
	Co-60	70	70				<0,02
	Cs-137	69	69				<0,02
	H-3	89	63	0,82	78		<8,0
	Sr-90	29	17	0,00033	0,013		0,0025
	G-Alpha	5	0	0,034	0,1	0,071	0,07

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

1.4.6 Pflanzliche Nahrungsmittel
(Foodstuffs of vegetable origin)

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

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

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 1.4.6-1 und 1.4.6-2, für Obst in Tabelle 1.4.6-3 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 1.4.6-1: Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse
(Radioactivity of food of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: vegetables)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs-137		Sr-90
FZ Karlsruhe	1999	23	<0,10	8	0,21
	2000	19	<0,07	4	0,20
	2001	10	<0,04 (<0,02 - <0,09)	4	0,08 (0,03 - 0,15)
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	17	<0,14	9	0,30
	2000	17	<0,13	9	0,16
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	18	<0,14	11	0,13
	2000	15	<0,13	10	0,12
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Philippsburg	1999	8	<0,10	3	0,21
	2000	8	<0,07	5	0,08
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1999	17	<0,13	9	0,32
	2000	12	<0,14	9	0,35
	2001	1	<0,09	a)	a)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1999	15	<0,17	8	0,32
	2000	13	<0,14	6	0,16
	2001	a)		a)	
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	6	<0,23	6	0,12
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Isar	1999	1	<0,2	1	0,17
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1999 2000 2001	4 a) a)	<0,1	4 a) a)	0,11
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	1999 2000 2001	7 6 11	<0,15 <0,09 <0,18 (<0,06 - 0,48)	3 3 4	0,10 0,17 0,43 (0,08 - 0,8)
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1999 2000 2001	11 8 11	<0,15 <0,11 <0,13 (<0,09 - <0,2)	11 8 11	0,42 0,12 0,24 (0,05 - 0,83)
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	1999 2000 2001	12 5 4	<0,03 <0,05 <0,11 (<0,05 - <0,14)	12 a) 3	0,09 0,11 (0,08 - 0,13)
Nuklearbetriebe Hanau	1999 2000 2001			1 1 a)	Pu-238 Bq/kg Asche Pu-239/240 Bq/kg Asche
					<0,68 <0,68
					<0,04 <0,04
					a) a)
Mecklenburg-Vorp.					Sr-90
Kernkraftwerk Greifswald	1999 2000 2001	8 9 5	<0,07 <0,08 <0,06 (0,04 - <0,07)	8 9 5	0,24 0,25 0,27 (0,06 - 0,53)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	1999 2000 2001	7 7 a)	<0,11 <0,08	5 6 a)	0,28 0,14
Kernkraftwerk Grohnde	1999 2000 2001	7 a) a)	<0,08	6 a) a)	0,16
Kernkraftwerk Stade	1999 2000 2001	6 5 a)	<0,13 <0,09 a)	4 5 a)	<0,17 0,19 a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999 2000 2001	6 2 a)	<0,12 <0,07	4 2 a)	0,21 0,08
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	1999 2000 2001	6 3 a)	<0,10 <0,08	7 3 5	0,15 0,25 <0,34 (<0,01 - 1,2)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
UAG Gronau	1999	3	Fluor (mg/kg TM) 3,5	4	Uran (Bq/kg TM) <0,30
	2000	2	3,3	2	U-238 (Bq/kg TM) <0,5 (N=1)
	2001	4	<3,1 (<1,5 - 5,9)	4	<0,58 (<0,23 - 1,2)
		Cs-137		Sr-90	
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2000	1	<0,04		
	2001	a)			
Sachsen Rossendorf	1999	5	<0,73	1	0,14
	2000	5	<0,10	a)	a)
	2001	1	<0,09	1	0,19
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1999	3	<0,12	2	0,26
	2000	2	<0,15	1	0,16
	2001	2	<0,21 (<0,17; <0,24)	1	0,36
Schleswig-Holstein GKSS Geesthacht	2001	1	<0,09	1	0,13
Kernkraftwerk Krümmel	2000	1	0,06	1	0,10
	2001	2	<0,08 (<0,07; 0,08)	2	0,10 (0,04: 0,16)

a) Daten lagen nicht vor

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

Tabelle 1.4.6-2: Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: cereals)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	N	Aktivität Bq/kg FM			
			Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)	
Baden-Württemberg		Cs-137			Sr-90	
FZ Karlsruhe	1999	8	<0,08	4	0,32	
	2000	9	<0,11	3	0,36	
	2001	4	<0,07 (<0,06 - <0,07)	2	0,51 (0,50; 0,52)	
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	6	<0,17	3	0,16	
	2000	6	<0,14	3	0,12	
	2001	a)		a)		
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	6	<0,15	3	0,13	
	2000	6	<0,14	3	0,14	
	2001	a)		a)		
Kernkraftwerk Philippsburg	1999	2	<0,10	1	0,11	
	2000	4	<0,11	a)		
	2001	a)		a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	N	Aktivität Bq/kg FM		
			Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
			Cs137		Sr-90
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1999 2000 2001	7 5 a)	<0,13 <0,13	4 3 a)	0,25 0,29
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1999 2000 2001	6 4 a)	<0,14 <0,17	5 3 a)	0,26 0,18
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999 2000 2001	8 a) a)	<0,22	8 a) a)	0,08
Kernkraftwerk Isar	1999 2000 2001	5 a) a)	<0,2	5 a) a)	0,11
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1999 1999 2001	2 a) a)	<0,10	2 a) a)	0,13
			Gesamt-α-Aktivität		
SBWK Karlststein	1999 2000 2001	a) a) a)		a) a) a)	
Berlin			Cs-137		
Forschungsreaktor BERII	1999 2000 2001	a) a) a)			
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	1999 2000 2001	9 9 9	<0,10 <0,06 <0,16 (<0,1 - <0,28)	9 a) 3	0,23 0,13 (0,07 - 0,19)
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		
Nuklearbetriebe Hanau	1999 2000 2001			1 1 a)	Pu-238 Bq/kg Asche <0,03 <0,03
					Pu-239/240 Bq/kgAsche <0,01 <0,02
			Cs-137		Sr-90
Mecklenburg-Vorp.					
Kernkraftwerk Greifswald	1999 2000 2001	5 5 6	<0,12 <0,14 <0,15 (<0,11 - <0,18)	5 5 6	0,17 0,16 0,40 (0,17 - 0,71)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	1999 2000 2001	2 2 a)	0,16 <0,10	2 1 a)	0,23 0,58
Kernkraftwerk Grohnde	1999 2000 2001	1 7 a)	<0,10 <0,09	1 6 a)	0,58 0,16

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	N	Aktivität Bq/kg FM		
			Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Stade	1999	2	<0,15	2	0,03
	2000	1	<0,07	1	<0,13
	2001	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	1	<0,11	1	0,46
	2000	2	<0,10	2	<0,10
	2001	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen Zwischenlager Ahaus	2000	1	<0,25	1	0,93
	2001	a)		a)	
KFA Jülich	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
UAG Gronau	1999	18	<0,60	18	<0,23
	2000	18	<1,22	18	<0,23
	2001	18	<1,42 (<0,10 - <1,5)	18	<0,23 (<0,23 - <0,23)
			Cs-137		Sr-90
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	1	< 0,09	1	0,27
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1999	4	<0,13	1	0,16
	2000	4	<0,16	2	0,15
	2001	3	<0,17 (<0,13 - <0,19)	1	0,07
Schleswig-Holstein GKSS	2000	1	0,18	1	0,45
	2001	1	<0,17	1	0,24
Kernkraftwerk Brunsbüttel	2000	2	<0,13	2	0,09
	2001	2	<0,13 (<0,12 - <0,13)	2	0,10 (0,09 - 0,11)
Kernkraftwerk Krümmel	2000	2	<0,07	2	0,30
	2001	2	<0,09 (<0,05 - <0,13)	2	0,29 (0,27 - 0,31)

a) Daten lagen nicht vor

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

Tabelle 1.4.6-3: Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst
(Radioactivity of foodstuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: fruit)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Baden-Württemberg			Cs - 137		Sr - 90
FZ Karlsruhe	1999	4	<0,05	1	0,38
	2000	7	<0,08	2	0,76
	2001	2	0,02 (0,01 - 0,03)	a)	
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	7	<0,13	3	0,10
	2000	8	<0,13	3	0,13
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	6	<0,13	3	0,25
	2000	6	<0,11	3	0,32
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Philippensburg	1999	5	<0,07	2	0,21
	2000	6	<0,09	3	0,08
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt	1999	10	<0,13	2	0,06
	2000	8	<0,10	a)	
	2001	1	<0,10		
Kernkraftwerk Fessenheim	1999	3	<0,12	2	0,15
	2000	3	<0,15	1	0,02
	2001	a)		a)	
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	1	<0,2	1	0,03
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1999	2	<0,10	2)	0,05
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	1999	5	<0,10	2	0,07
	2000	8	<0,09	9	<0,06
	2001	9	<0,10 (<0,06 - 0,15)	5	0,11 (0,02 - 0,27)
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1999	1	<0,12	1	0,20
	2000	1	<0,12	1	0,10
	2001	1	<0,12	1	0,07
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	1999	3	<0,03	3	0,02
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert b) (Bereich)
Mecklenburg-Vorp.			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Greifswald	1999	14	<0,11	14	0,07
	2000	15	<0,06	13	0,06
	2001	15	<0,16 (<0,06 - 1,00)	14	0,12 (0,02 - 0,56)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	1999	1	<0,07	1	0,14
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Grohnde	1999	2	<0,05	1	0,02
	2000	1	<0,06	1	0,04
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Stade	1999	6	<0,06	2	0,04
	2000	2	<0,09	1	0,03
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Unterweser	1999	3	<0,06	3	0,12
	2000	1	<0,04	1	0,05
	2001	a)		a)	
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	2000	4	<0,10	4	0,36
	2001	a)		a)	
			Fluor (mg/kgTM)		Uran (Bq/kgTM)
UAG Gronau	1999	2	0,70	2	<0,23
	2000	2	2,20	2	<0,23
	2001	2	<1,50 (<1,5 - <1,5)	2	<0,23 (<0,23 - <0,23)
			Cs-137		U-238 (Bq/kgTM)
					<0,5 (N=7)
					<0,5 (N=4)
Rheinland-Pfalz					
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	5	<0,03	5	0,03
	2000	8	<0,02	8	0,02
	2001	8	<0,03 (<0,02 - <0,04)	8	0,03 (0,02 - 0,05)
Sachsen					
Rosendorf	1999	1	<0,06	1	0,05
	2000	2	<0,11	1	0,01
	2001	1	<0,09	1	0,03
Sachsen-Anhalt					
Endlager Morsleben	1999	3	<0,11	1	0,08
	2000	4	<0,12	2	<0,05
	2001	4	<0,12 (<0,11 - <0,13)	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)
Schleswig-Holstein					
Kernkraftwerk Krümmel	2000	3	<0,04	3	0,07
	2001	3	<0,03 (<0,02 - <0,05)	2	0,05 (0,04 - 0,06)

a) Daten lagen nicht vor

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

Tabelle 1.4.6-4: Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln
(Radioactivity of food stuffs of vegetable origin in the vicinity of nuclear facilities: potatoes)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Baden-Württemberg					
FZ Karlsruhe	1999	5	<0,15	1	0,05
	2000	3	<0,03	3	<0,07
	2001	2	<0,03 (<0,03 - 0,04)	a)	
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	3	<0,15	3	0,05
	2000	3	<0,13	3	0,03
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	3	<0,12	3	0,03
	2000	3	<0,13	3	0,03
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Philippensburg	1999	2	<0,12	2	0,03
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1999	4	<0,14	4	0,06
	2000	4	<0,09	4	0,05
	2001	a)		a)	
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1999	2	<0,11	1	<0,01
	2000	2	<0,08	2	0,06
	2001	a)		a)	
Bayern					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	3	<0,20	3	0,08
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	1999	1	<0,08		
	2000	1	0,08	1	0,02
	2001	2	<0,07 (<0,05 - 0,09)	1	0,17
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
	2001	a)		a)	
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	1999	5	<0,08	5	0,05
	2000	1	<0,04	a)	
	2001	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)	1	0,05
Mecklenburg-Vorp.					
Kernkraftwerk Greifswald	1999	2	<0,06	2	0,02
	2000	2	<0,12	2	0,02
	2001	2	<0,09 (<0,07 - <0,11)	2	0,01 (0,01 - 0,02)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert (Bereich) Sr-90
Nordrhein-Westfalen KFA Jülich	1999	a)		a)	
	2000	2	<0,01	2	0,03
	2001	a)		a)	
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	3	<0,03	3	0,08
	2000	a)		a)	
	2001	1	0,04	1	0,04

a) Daten lagen nicht vor

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim und Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Die für das Jahr 2001 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Abschnitten II 1.2 bzw. 1.3 zusammengefasst. Sie dienen als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der einzelnen Anlagen. Diese Berechnung wurde entsprechend der "Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der neuen Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen" durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.5-1 bis 1.5-6 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 Mikrosievert, die Schilddrüsendosis höchstens 900 Mikrosievert und die Knochenoberflächendosis höchstens 1800 Mikrosievert pro Jahr betragen.

Tabelle 1.5-1 enthält die Ergebnisse aus den Berechnungen der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe >1 bis ≤2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke ergeben sich nach der neuen Strahlenschutzverordnung im Mittel um ca. 25% höhere Werte der effektiven Dosis als nach der alten Strahlenschutzverordnung. Dies ist vorwiegend auf höhere für die Referenzperson angenommene Verzehrswerte zurückzuführen. Die Expositionswerte der übrigen vier Altersgruppen liegen hier in den meisten Fällen zwischen den Werten für Kleinkinder und Erwachsene. Tabelle 1.5-1 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 5 µSv (rund 2% des Grenzwertes nach Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 9 µSv (3% des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Gundremmingen. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 8 µSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Gundremmingen.

In Tabelle 1.5-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrswerte und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 1,6 µSv für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,5 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurde eine effektive Dosis von etwa 1 µSv für Erwachsene und 2 µSv für Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personengruppen 0,3 µSv bzw. 0,5 µSv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,2 µSv bzw. 0,3 µSv und an der Donau bei 0,3 µSv bzw. 0,6 µSv. Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Tabelle 1.5-1 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air, expressed in microsievert)

Kernkraftwerk	Oberer Wert a)		
	der effektiven Dosis (μSv)		der Schilddrüsendosis (μSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Kahl	<0,1	<0,1	<0,1
Rheinsberg b)	<0,1	<0,1	<0,1
Lingen	<0,1	<0,1	<0,1
Obrigheim	3	5	5
Stade	0,3	0,5	0,5
Würgassen	0,1	0,2	0,2
Greifswald b)	<0,1	<0,1	<0,1
Biblis A, B	0,3	0,6	0,8
Neckar 1, 2	0,8	1	1
Brunsbüttel	1	2	2
Isar 1,2	2	4	4
Unterweser	0,3	0,5	0,5
Philippsburg 1, 2	4	7	7
Grafenrheinfeld	0,2	0,3	0,3
Krömmel	1	2	4
Gundremmingen A, B, C	5	9	8
Grohnde	0,2	0,3	0,3
Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1
Brokdorf	0,3	0,6	0,5
Emsland	0,3	0,5	0,5

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

Tabelle 1.5-2 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

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

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

Die in Tabelle 1.5-3 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren stammen aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 2001 als höchsten Wert 7 µSv (rund 2% des Grenzwertes) für Erwachsene und 12 µSv (4% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 13 µSv (rund 1% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich aus den jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte für die effektive Dosis im Jahr 2001 von 5, 3 bzw. 0,4 µSv

Tabelle 1.5-3 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (µSv)		der Schilddrüsendosis (µSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	0,9	1,2	2,3
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	7	12	13
Forschungszentrum Rossendorf (FZR)	0,4	0,6	0,6
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,2	0,6	0,6
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,1	0,2	0,3

*) Entnommen den Jahresberichten 2001 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

In Tabelle 1.5.4 wird die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe über das Abwasser aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf und Geesthacht angegeben. Im Jahr 2001 wurde mit 5,5 μSv der höchste Wert der effektiven Dosis für Erwachsene beim Forschungszentrum Rossendorf berechnet.

Tabelle 1.5-4 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser *)
(*Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with waste water*)

Forschungseinrichtung	Oberer Wert
	der effektiven Dosis für Erwachsene (μSv)
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	0,4
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	0,8
Forschungszentrum Rossendorf	5,5
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	a)

*) Entnommen den Jahresberichten 2001 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich und Rossendorf

a) Daten lagen nicht vor

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in Tabelle 1.5-5 nach der neuen Strahlenschutzverordnung berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder durch die Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft aufgeführt. Für Kleinkinder sind an Stelle der oberen Werte der Lungendosis nunmehr die oberen Werte der Knochenoberflächendosis angegeben, da sich bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben nach der neuen Strahlenschutzverordnung für die Lunge kleinere Dosiswerte und für die Knochenoberfläche überwiegend größere Dosiswerte ergeben als nach der alten Strahlenschutzverordnung. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0001 mSv (rund 0,03% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,0003 mSv (0,1% des Grenzwertes). Der höchste Wert der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder ist 0,006 mSv (rund 0,3% des Grenzwertes).

Tabelle 1.5-5 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft
(*Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air*)

Betrieb	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (μSv)		der Knochenoberfläche (μSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	0,1	0,3	6
SIEMENS AG			
Brennelementewerk Hanau			
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,2
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind in Tabelle 1.5-6 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 μSv .

Tabelle 1.5-6 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(*Radiation exposures in the surroundings of processing facilities for nuclear fuels in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with waste water*)

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

Die Strahlenexposition in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle 1.5-7 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2001 0,4 μSv , für Kleinkinder 0,7 μSv ; dies sind ca. 0,1% bzw. 0,2% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2001 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.5-7 Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser
(*Radiation exposure in the surroundings of the Morsleben final repository in the year 2001 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water*)

	Abluft		Abwasser
	Oberer Wert (μSv)		Oberer Wert (μSv)
	der effektiven Dosis	der Lungendosis	der effektiven Dosis
Erwachsene	0,4	0,7	< 0,1
Kleinkinder	0,7	1,3	< 0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Teil II 1.1, Tabelle 1.1-4) führte 2001 bei Berechnung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der neuen Strahlenschutzverordnung für die betroffene Bevölkerung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 10 μSv . Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 30 μSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde Jod-131 im Jahr 2001 in Milch nicht nachgewiesen.

Bewertung

Die für 2001 aus den Jahresableitungen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2001 deutlich unter 10 μSv pro Jahr.

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

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

Nach Wiederherstellung der deutschen Einheit und Stilllegung der bis 1990 noch aktiven Uranerzbergbau- und Aufbereitungsbetriebe der SDAG Wismut wurden die zur SDAG Wismut gehörenden Betriebe in der Wismut GmbH in drei Sanierungsbetrieben zusammengeführt, deren Aufgabe in der Beseitigung der Hinterlassenschaften und der Sanierung der Betriebsflächen besteht. So befindet sich der Sanierungsbetrieb (SB) Aue mit den Betriebsteilen Schlema-Alberoda und Pöhla sowie der SB Königstein mit den Standorten Königstein und Gittersee im Freistaat Sachsen; der SB Ronneburg, zu dem die Betriebsteile Ronneburg, Seelingstädt und Crossen gehören, liegt im Freistaat Thüringen.

In der übertägigen Sanierungstätigkeit konzentrierte sich die Wismut GmbH auch im Jahre 2001 auf die Haldensanierung (z. B. Weiterführung der Arbeiten an der Halde Beerwalde und an der Halde 38neu/208 in Schlema), auf die Fortführung der Verfüllung des Tagebaurestloches bei Ronneburg, auf den Abbruch von Gebäuden und die Demontage von Anlagen, auf die Sanierung von kontaminierten Betriebsflächen und Absetzanlagen der Erzaufbereitung. Bei der Sanierung dieser Absetzanlagen wurden ca. 436 Hektar freigefallene Spülstrände mit einer Zwischenabdeckung versehen. Im Vorfeld dieser Arbeiten wurden im Jahr 2001 4,24 Mio. m³ Freiwasser entfernt, gereinigt und in die jeweiligen Vorfluter abgegeben.

Nachdem die untertägigen Sanierungsarbeiten in Thüringen bereits im Jahre 2000 weitestgehend beendet waren, wurde 2001 die Flutung der Grubenfelder fortgesetzt. Im westsächsischen Bergbaugebiet Aue/Schlema, in dem die Flutung bereits 1991 eingeleitet wurde, waren Ende 2001 rund 33 Mio. m³ Grubenhohlraum geflutet. Im ostsächsischen Bergbaugebiet bei Königstein wurde 2001 nach knapp zehnjährigen unter- und übertägigen Sanierungsarbeiten, die u. a. auch zum Schutz eines über der Lagerstätte befindlichen Grundwasserleiters erforderlich waren, mit der Flutung der Grube begonnen.

Bezogen auf den Gesamtumfang der Sanierungsarbeiten sind mit den im Jahr 2001 erreichten Fortschritten nunmehr:

- 97% der Grubenbaue abgeworfen,
- 96% der Schächte und Tagesöffnungen verfüllt,
- 86% der tagesnahen Grubenbaue verwahrt,
- 85% der Anlagen/Gebäude abgebrochen,
- 59% der Halden abgelagert/umgelagert,
- 42% der Halden abgedeckt,
- 60% des Tagebaus Lichtenberg verfüllt,
- 63% der Absetzanlagen zwischenabgedeckt,
- 35% der Flächen saniert.

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

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft und Abwasser sowie die Überwachung der Konzentration dieser radioaktiven Stoffe in den Umweltmedien Luft, Boden, Lebens- und Futtermittel, Wasser und Sedimente erfolgt seit 1997 nach den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Die Kontrolle der Emissions- und

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

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

2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen)

(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)

Bei den Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und der Abluft wurden die Genehmigungswerte auch 2001 nicht überschritten. In Tabelle 2.2-1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 2001 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Vergleich mit den Vorjahren haben sich die Ableitungen mit Abwetter- bzw. Abluft weiter verringert. Im Jahr 2001 stellte der Betriebsteil Ronneburg - wie im Vorjahr schon der Betriebsteil Seelingstädt - die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft ein.

Tabelle 2.2-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft in die Atmosphäre 2001
(Messwerte der Wismut GmbH, behördlich festgelegte Werte in Klammern)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air 2001 -
Values measured by the Wismut GmbH; the official values are indicated in brackets)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen (10 ⁹ m ³ /a)	Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Rn-222 (TBq/a)		Langlebige α-Strahler (MBq/a)	
Schlema/Alberoda	1	1,4 (-)	96	(240)	2,6	(10)
Pöhl	2	0,466 (-)	0,31	(0,8)	0,7	(1,0)
Dresden-Gittersee	1	0,1 (-)	0,12	(1,6)	a)	(1,6)
Königstein	8	12,2 (-)	220	(315)	2	(88,5)
Ronneburg b)	-	- (-)	-	(-)	-	(-)
Seelingstädt c)	-	- (-)	-	(-)	-	(-)

a) Nach Auskunft der zuständigen Landesbehörde wurden diese Emissionen wegen Werten unter der Nachweisgrenze nicht bilanziert.

b) Ableitung mit Abwettern/Abluft im Jahr 2000 eingestellt

c) Ableitung mit Abwettern/Abluft im Jahr 2001 eingestellt

Die im Jahr 2001 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2.2-1 zusammengestellt. Die Jahrgenehmigungswerte wurden ausnahmslos eingehalten.

Tabelle 2.2-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2001
(Messwerte der Wismut GmbH, behördlich festgelegte Werte in Klammern)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the year 2001 - Values measured by the Wismut GmbH; the official values are indicated in brackets)

Betriebs- teile der Sanierungs- betriebe	Abwassermenge (10 ⁶ m ³ /a)		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran (t/a)		Ra-226 (GBq/a)	
Einleitung in Zwickauer Mulde,	7,839	(-)	2,1623	(7,385)	0,212	(4,054)
davon: Schlema/Alberoda	6,072	(-)	2,032	(7,21)	0,168	(3,791)
Crossen	1,594	(-)	0,126	(-)	0,028	(-)
Pöhla	0,173	(-)	0,0043	(0,175)	0,016	(0,263)
Einleitung in Elbe,	3,581	(5,957)	0,342	(3,2)	0,494	(11,0)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	3,581	(5,957)	0,342	(3,2)	0,494	(11,0)
Einleitung in Pleiße	0,212	(0,45)	0,0263	(0,195)	0,0061	(0,076)
Ronneburg	0,212	(0,45)	0,0263	(0,195)	0,0061	(0,076)
Einleitung in Weiße Elster,	2,65	(5,07)	0,2402	(2,299)	0,0073	(1,533)
Davon: Ronneburg	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Seelingstädt	2,65	(5,07)	0,2402	(2,299)	0,0073	(1,533)

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

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

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

2.3.1 Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft (Radon-222 concentrations in air close to ground level)

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

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

Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrates (1 Bq Rn-222/m² · sec pro Bq Ra-226/g Material) ergibt sich eine theoretisch mögliche Radonfreisetzung von ca. 2 · 10¹⁵ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde; sie hat sich infolge der bereits abgeschlossenen Maßnahmen verringert.

Die Langzeitmessungen zur Überwachung der Radonkonzentration (Rn-222) in der bodennahen Atmosphäre wurden in den Bergbaugebieten auch im Jahr 2001 fortgeführt. In Tabelle 2.3.1-1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die hier aufgeführten teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich einige Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen befinden.

Tabelle 2.3.1-1 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2000/01 und Sommer 2001; Messwerte der Wismut GmbH)

(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level in Bq/m³ at sampling locations influenced by mining activities - Winter 2000/01 and summer 2001; 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 2000/2001					
Schlema/Alberoda	64	14	37	13	490
Pöhla	15	9	6	0	66
Seelingstädt	25	10	15	0	60
Crossen	36	5	31	0	78
Königstein	14	10	4	0	50
Gittersee	19	17	2	0	42
Ronneburg	43	21	22	0	42
Sommer 2001					
Schlema/Alberoda	65	22	35	8	1500
Pöhla	17	14	2	1	190
Seelingstädt	25	11	14	0	66
Crossen	35	10	24	1	110
Königstein	16	11	4	1	190
Gittersee	20	13	7	0	47
Ronneburg	42	27	15	0	49

In Tabelle 2.3.1-2 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung der bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte zur Beurteilung des Sanierungserfolges herangezogen werden.

Tabelle 2.3.1-2 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2001 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)

(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level in Bq/m³ at sampling locations not influenced by mining activities (mean values 1991 - 2001 and range of variation of the mean values for the individual years; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Rn-222 (Bq/m ³)					
	Winter			Sommer		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2001	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2001
Schlema/Alberoda	23	40	30	27	47	34
Pöhla	14	35	21	19	28	24
Seelingstädt	18	39	25	19	37	26
Crossen	19	35	26	17	34	24
Königstein	14	31	21	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	32
Ronneburg	14	40	27	20	37	28

Für die Untersuchung der Strahlenexposition durch Radon-222 werden seit 1991 auch vom Bundesamt für Strahlenschutz Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Freiluft durchgeführt. Mit den Messungen sollen Aussagen darüber gewonnen werden, inwieweit die bergbaulichen Objekte durch Radon-222-Freisetzung das natürliche Konzentrationsniveau des Gebietes beeinflussen und zur Strahlenexposition der in der Umgebung lebenden Bevölkerung beitragen. In der Tabelle 2.3.1-3 sind die Ergebnisse der vom BfS durchgeführten Untersuchungen dargestellt. Berücksichtigt wurden hier nur die Messpunkte, die sich in ständig bewohnten Gebieten befinden. In diesen Gebieten sind auf Grund der geologischen Bedingungen (oberflächennah anstehende geologische Formationen mit einer höheren spezifischen Aktivität der Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe) und wegen der orographischen Gliederung des Geländes (Tallagen) natürlicherweise auch über dem Landesdurchschnitt liegende Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft zu erwarten. Die in den Gebieten Aue/Schlema, Freital, Johanngeorgenstadt und Lengenfeld gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 2.3.1-3 Halbjahreswerte der Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten in Bq/m³ (Winter 2000/2001 und Sommer 2001)
(*Half-yearly values for radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level in residential areas in Bq/m³ in the winter of 2000/2001 and summer of 2001*)

Gebiet	Anzahl der Messungen	Rn-222 (Bq/m ³)		
		Minimum	Maximum	Medianwert
Annaberg-Buchholz	57	10	44	18
Aue/Schlema	56	10	79	23
Crossen	66	9	45	17
Dittrichshütte	18	7	36	16
Freiberg	50	8	26	15
Freital	43	10	120	22
Gottesberg	12	16	58	28
Johanngeorgenstadt	103	7	710	26
Königstein	28	8	30	15
Lengenfeld	47	9	84	22
Marienberg	57	7	45	14
Mechelgrün-Zobes	12	10	34	15
Ronneburg	76	11	32	18
Seelingstädt	44	11	53	20
Zwickau	3	19	25	20

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

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Aktivitätswerten von 10 bis 15 Bq/m³ liegen, die aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an Absetzanlagen der Erzaufbereitung auf. Durch Messungen wurde bestätigt, dass die Radonkonzentration in der bodennahen Luft mit zunehmender Entfernung von bergbaulichen Anlagen, aus denen Radon freigesetzt wird, rasch abnimmt. Über dem regionalen natürli-

chen Niveau liegende Radonkonzentrationen treten nur in einem eng begrenzten Gebiet um die bergbaulichen Anlagen auf.

Aus den in der Umgebung gemessenen Radonkonzentrationen ergibt sich eine Strahlenexposition, bei der nicht zwischen Beiträgen von bergbaulichen Anlagen und von natürlicherweise aus Böden und Gesteinen freigesetztem Radon unterschieden werden kann. Da die natürlicherweise auftretenden Konzentrationen vor Inbetriebnahme der Bergbaubetriebe nicht gemessen worden sind, kann der Nachweis, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Strahlenexposition eingehalten worden sind, nur durch Berechnung aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe erbracht werden. Diese Berechnungen ergaben, dass durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern nur Strahlenexpositionen unterhalb der zulässigen Grenzwerte resultieren, die sich aus den Übergangsbestimmungen der neuen StrlSchV § 118 zur Fortgeltung der VOAS bei Sanierungstätigkeiten ergeben.

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

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

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

Tabelle 2.3.2-1 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2001 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Saxony and Thuringia in the year 2001; Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Uran mg/l	Radium-226 mBq/l
Sächsische Bergbauggebiete			
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	0,024	17
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	0,177	17
	Elbe Rathen	0,002	10
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,021	23
	Kaitzbach nach Einleitung	0,026	14
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	0,002	15
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	0,010	17
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	0,001	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,030	38
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	0,010	13
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	0,014	14
	Helmsdorfer Bach	0,18	20
	Zinnborn	0,79	107
Thüringer Bergbauggebiete			
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	0,003	10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	0,007	10
	Lerchenbach	0,121	10
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,046	10
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,007	10
Ronneburg	Gessenbach	0,025	10
	Sprotte	0,009	10
	Wipse	0,019	12
	Weißer Elster	0,008	10

Mit Werten der Urankonzentration zwischen 1 und 3 µg/l und Aktivitätskonzentrationen zwischen 10 und 15 mBq/l für Radium-226 liegen die im Oberlauf von Wismut-Einleitungen gemessenen Werte im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus, das in Oberflächengewässern der Bundesrepublik Deutschland ermittelt wurde. Im Unterlauf von Wismut-Einleitungen wurden in den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber diesem allgemeinen geogenen Niveau um bis zu einer Größenordnung erhöht sind (2 - 14 µg/l). Die Werte der Radium-226-Aktivitätskonzentration liegen mit Werten zwischen 10 und 17 mBq/l im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus. In Unterlauf kleinerer Bäche, die eine wesentlich geringere Wasserführung aufweisen, wird das allgemeine geogene Niveau dagegen um bis zu einer Größenordnung (Radium-226; Werte zwischen 10 und 107 mBq/l) oder zwei Größenordnungen (Uran; Werte zwischen 9 und 790 µg/l) überschritten. Daraus resultiert jedoch keine Gefährdung, da weder das Wasser der Bäche noch der genannten Vorfluter für Trinkwasserzwecke genutzt wird.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION ***(Occupational radiation exposures)***

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim und vom Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

1. Personendosismessungen (*Personal dose measurements*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

1.1 Vorbemerkungen (*Preliminary remarks*)

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

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Personendosisüberwachung und gibt die effektive Dosis aus den in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmenden Photonenstrahlen an. In einigen Fällen sind zusätzliche Dosismessungen hinsichtlich weiterer Strahlenarten (z. B. Neutronen-, β -Strahlen) oder an besonders exponierten Körperstellen (z. B. den Fingern) erforderlich.

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

Die Zahlenangaben in den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-4 beruhen auf den Auswertungen des Strahlenschutzregisters im Bundesamt für Strahlenschutz. Im Strahlenschutzregister werden u.a. die monatlichen Dosisfeststellungen der behördlich bestimmten Messstellen in einer zentralen Datenbank personenbezogen zusammengeführt. Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, kann aus Tabelle 1.2-1 entnommen werden. Da 76% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches Medizin gesondert ausgewiesen.

Bis einschließlich dem Jahr 2000 basierten die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Dabei entsprach der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da es bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz zu Mehrfachzählungen kam. Ab dem Jahr 2001 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 55 und 56 StrlSchV und § 31a und 31b RöV bei den überwachten Personen zu kontrollieren. Für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen ist der Grenzwert der effektiven Dosis mit der Novellierung der StrlSchV auf 20 mSv im Jahr festgelegt (bisher 50 mSv im Jahr). Die Gesamtzahl der Personendosisfeststellungen (Tabelle 1.2-2) oberhalb dieser Werte liegt - bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten - bei 0,13 bzw. 0,013 Promille.

Da mit den Personendosimetern die Körperdosis nicht unmittelbar gemessen werden kann, bedeutet die Feststellung einer Personendosis, die größer ist als ein Grenzwert der Körperdosis, nicht zwangsläufig bereits eine Überschreitung dieses Grenzwertes, z. B. wenn das Dosimeter während der Exposition nicht am Körper getragen wurde. Dennoch soll ein solches Ereignis den Strahlenschutzverantwortlichen oder -beauftragten im Betrieb veranlassen, unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Ursache des Expositionsfalles zu klären und eine Wiederholung zu verhindern. Soweit die Ergebnisse nachfolgender Ermittlungen bekannt geworden sind, wurden sie in der Tabelle 1.2-2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung der Fälle mit erhöhter Personendosis (Tabelle 1.2-2) gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahresperso-

nendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im Kalenderjahr. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 1.2-3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres keine Personendosis bzw. Jahrespersonendosen zwischen 0,1 und 0,2 mSv, zwischen 0,2 und 0,4 mSv usw. registriert wurden. Wurde während des ganzen Jahres die untere Erkennungsgrenze der verwendeten Ganzkörperdosimeter von 0,05 mSv unterschritten, dann wird für die überwachte Person eine Jahrespersonendosis von 0 mSv festgelegt. Demnach wurde für den größten Teil der überwachten Personen keine Personendosis festgestellt. Die gesamte erfasste berufliche Strahlenexposition verteilte sich auf nur rund 14% aller mit Personendosimetern überwachten Personen.

Tabelle 1.2-4 enthält Angaben aus den letzten beiden Jahren über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis im Jahr 2001 betrug 0,15 mSv. (Für die Überwachten mit einer Jahresdosis mit 0,1 Millisievert oder darüber ergibt sich eine mittlere Personendosis von 1,0 Millisievert). Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil an Personen zurückzuführen, die zwar einer regelmäßigen Überwachung unterliegen, jedoch praktisch keine Strahlenexposition erhalten. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten, gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2001 betrug sie 46 Personen-Sv.

Tabelle 1.2-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2001

Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich
(*Monitoring with official personal doseimeters in the year 2001*
Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	47500	30842	3558	2880
Bayern	56815	42820	4470	3820
Berlin	16553	12699	984	781
Brandenburg	5688	4592	447	336
Bremen	3068	2505	271	213
Hamburg	10679	6137	668	528
Hessen	25894	18302	1846	1472
Mecklenburg-Vorpommern	5345	3713	345	264
Niedersachsen	28284	21584	2480	2043
Nordrhein-Westfalen	67548	54910	5877	5023
Rheinland-Pfalz	14863	12330	1079	925
Saarland	4691	4213	452	391
Sachsen	11516	9138	870	620
Sachsen-Anhalt	7168	6042	494	363
Schleswig-Holstein	10533	8316	926	786
Thüringen	5543	5195	369	313
Sonstige Überwachungen***	1112	923	56	43
Gesamtzahl 2001*	315362	240993	25151	20777
Anteil Medizin		76,4%		82,6%
Gesamtzahl 2000**	313491	239582	25442	21035
Anteil Medizin		76,4%		82,7%
Änderung gegenüber 2000	0,6%	0,6%	-1,1%	-1,2%

* Die Summe aus den einzelnen Bundesländern ist größer als die Gesamtzahl der überwachten Personen bzw. Betriebe, da eine Person in mehreren Bundesländern arbeiten kann

** Gegenüber den Angaben im BMU Jahresbericht 2000 ist die Anzahl geringer, weil mit der personenbezogenen Auswertung Mehrfachzählungen vermieden werden

*** z. B. Bundeswehr

Tabelle 1.2-2 Jahrespersonendosen oberhalb von 20 bzw. 50 mSv im Jahr 2001
(Number of annual personal doses above 20 resp. 50 mSv in the year 2001)

Bundesland	Anzahl der Personendosisfeststellungen >20 mSv/Jahr			Anzahl der Personendosisfeststellungen >50 mSv/Jahr		
	Arbeitsbereich			Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nicht-medizin	Gesamt	Medizin	Nicht-medizin
Baden-Württemberg	9	5	4	3	3	
Bayern	10	3	7			
Berlin	2	1	1			
Brandenburg	1	1				
Bremen						
Hamburg						
Hessen	2	1	1			
Mecklenburg-Vorpommern						
Niedersachsen	3	1	2			
Nordrhein-Westfalen	6	2	4	1	1	
Rheinland-Pfalz						
Saarland						
Sachsen	4	1	3			
Sachsen-Anhalt	3	1	2			
Schleswig-Holstein						
Thüringen						
Gesamtzahl 2001	40	16	24	4	4	0
Bezogen auf Überwachtenzahl 2001 (in Promille)	0,127	0,066	0,319	0,013	0,017	0
Gesamtzahl 2000	33	10	23	1	1	0
Bezogen auf Überwachtenzahl 2000 (in Promille)	0,105	0,042	0,306	0,003	0,004	0

Tabelle 1.2-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2001
(Distribution of the annual personal doses in the year 2001)

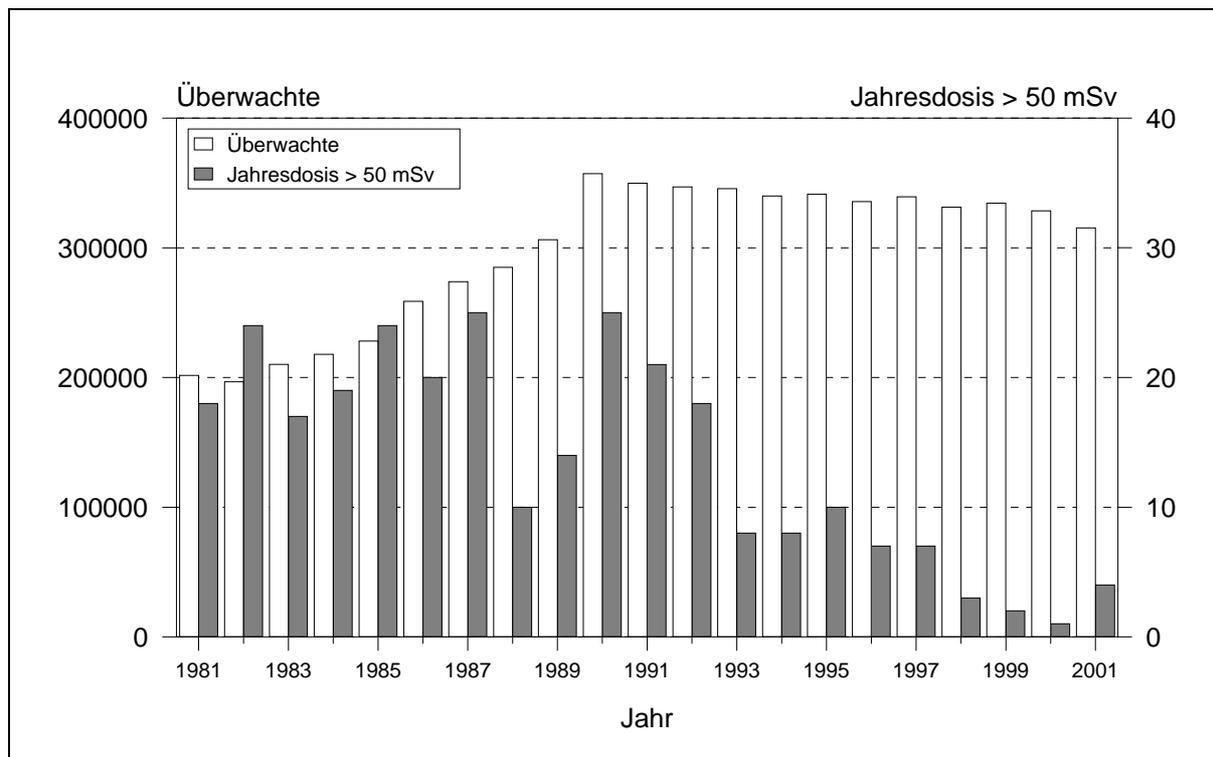
Dosis (mSv)	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	270928	85,91	213269	88,50	58304	77,55
0<H≤0,2	19695	92,16	14632	94,57	5133	84,40
0,2<H≤0,4	6726	94,30	4575	96,47	2182	87,30
0,4<H≤0,6	3683	95,46	2284	97,42	1408	89,17
0,6<H≤0,8	2606	96,29	1600	98,08	1015	90,52
0,8<H≤1,0	1905	96,89	1068	98,53	841	91,64
1<H≤2	4415	98,29	2127	99,41	2307	94,71
2<H≤4	2863	99,20	976	99,81	1900	97,24
4<H≤6	1142	99,56	255	99,92	892	98,42
6<H≤8	538	99,74	97	99,96	445	99,02
8<H≤10	291	99,82	40	99,98	252	99,34
10<H≤15	382	99,95	32	99,99	350	99,81
15<H≤20	130	99,99	11	99,99	121	99,97
H>20	40	100,00	16	100,00	24	100,00
ohne Angaben	18		7		11	
Gesamt	315362		240993		75181	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann.

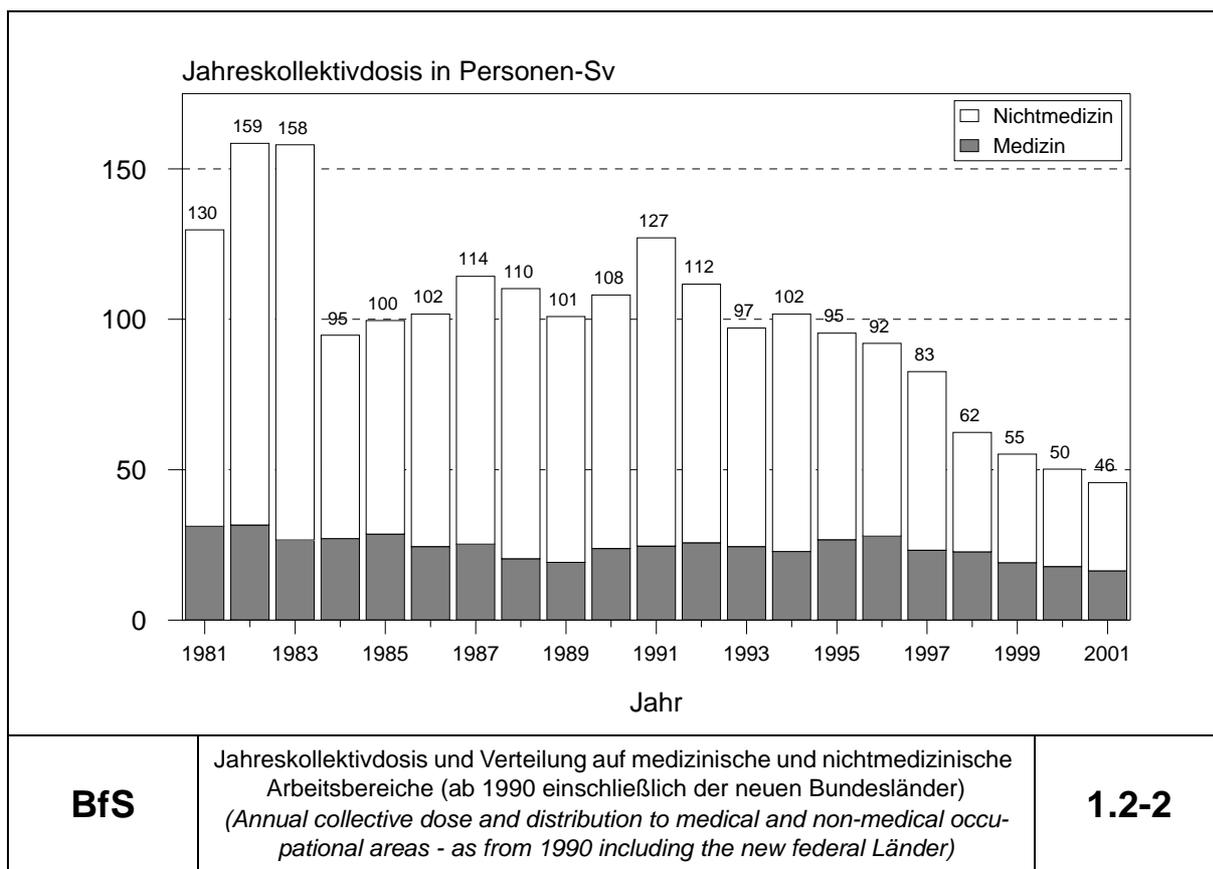
Tabelle 1.2-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual individual dose and annual collective dose of the persons monitored by personal dosimeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv
1992	0,32	112	0,11	26	0,77	86
1993	0,28	97	0,10	24	0,66	73
1994	0,30	102	0,10	23	0,75	79
1995	0,28	95	0,11	27	0,69	69
1996	0,27	92	0,12	28	0,66	64
1997	0,24	83	0,10	23	0,61	59
1998	0,19	62	0,09	23	0,45	40
1999	0,17	56	0,08	19	0,43	36
2000	0,15	50	0,07	18	0,40	32
2001	0,15	46	0,07	17	0,39	29

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1981 ist in Abbildung 1.2-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Zahlen der festgestellten Personendosen oberhalb von 50 mSv pro Jahr eingetragen. Abbildung 1.2-2 zeigt die Beiträge aus den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin zur Kollektivdosis über den Zeitraum von 1981 - 2001.



Bfs	Anzahl der überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 50 mSv (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer, ab 2001 ohne Mehrfachzählungen – siehe Text) <i>(Number of monitored persons and the persons exceeding the annual dose of 50 mSv - as from 1990 including the new federal Länder)</i>	1.2-1
------------	---	--------------



1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen
(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)

Dieser Übersicht liegen Ergebnisse der regelmäßigen Erhebung über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch das BMU und die zuständigen obersten Länderbehörden zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Versuchs- und Prototypreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.3-1 bis 1.3-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis.

Tabelle 1.3-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1992	20	34285	28475	43,8	37,0
1993	20	37980	30544	39,0	32,7
1994	20	35068	29002	47,6	42,0
1995	20	31525	25489	38,0	32,0
1996	19	31937	25785	32,3	27,5
1997	19	29780	23771	28,6	25,0
1998	19	30207	24306	28,2	24,2
1999	19	28790	22066	24,8	21,1
2000	19	29263	22463	23,2	19,8
2001	19	27063	21144	21,5	18,4

Tabelle 1.3-2 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb und Stilllegung von Versuchs- und Prototypreaktoren
(*Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of pilot and prototype reactors*)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1992	8	2840	1259	0,6	0,2
1993	8	1381	888	0,6	0,2
1994	9	1399	760	0,7	0,3
1995	8	2192	1175	0,6	0,3
1996	9	2188	1252	0,5	0,2
1997	10	2247	1284	0,7	0,4
1998	8	2082	1159	1,2	0,6
1999	10	2366	1347	1,1	0,6
2000	10	2104	1150	1,2	0,6
2001	10	2234	1270	0,9	0,5

Tabelle 1.3-3 Berufliche Strahlenexposition bei der Brennelementherstellung und Wiederaufarbeitung einschließlich Rückbau der Anlagen
(*Occupational radiation exposure during the production of fuel elements and reprocessing including decommissioning of the plants*)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1992	6	4677	3250	2,0	0,9
1993	7	6241	3923	1,7	1,0
1994	7	3965	2011	1,0	0,4
1995	8	2783	1508	0,5	0,2
1996	6	1873	853	0,4	0,1
1997	6	1989	1066	0,5	0,2
1998	6	1991	1173	0,8	0,5
1999	6	1338	773	0,3	0,1
2000	6	2524	1582	1,0	0,5
2001	6	2259	1356	1,2	0,7

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern (*Occupational radiation exposures from radon daughter products in the new federal Länder*)

Bearbeitet vom Fachbereich Angewandter Strahlenschutz des Bundesamtes für Strahlenschutz

In den neuen Bundesländern wurde im Jahr 2001 gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR entsprechend der "Verordnung über die Gewährleistung von Atom-sicherheit und Strahlenschutz" vom 11. Oktober 1984 (VOAS) auch die Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und kurzlebigen Radonzerfallsprodukten im Bergbau und bei anderen Arbeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht.

Die Strahlenbelastung durch das Edelgas Radon ist dabei im Allgemeinen zu vernachlässigen. Den Haupt-anteil der Strahlenbelastung liefern die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222, die Alphastrahler Polonium-218 und Polonium-214. Falls die Arbeitsplatzkonzentrationen der potentiellen Alphaenergie der Radonzerfallsprodukte den Wert von $4 \cdot 10^6$ MeV/m³ (entsprechend 10% des DAC-Wertes) überschreiten, unterlagen die jeweiligen Arbeitsbereiche und das Personal der Überwachung, die entsprechend der Festlegung der zuständigen Landesbehörde vom Betreiber der betroffenen Einrichtung durchzuführen war.

Durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung ändert sich die Art der Überwachung nur unwesentlich.

Im Jahr 2001 wurde diese Überwachung bei ca. 2 100 Personen vorgenommen, von denen 80% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Für zwei Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurden die Messungen zur Ermittlung der Strahlenexposition im Jahr 2001 mit personengebundenen Geräten durchgeführt. Diese am Körper getragenen speziellen Messgeräte mit akkumulatorgetriebener Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren erfassen integrierend die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Strahlung. Für alle anderen überwachten Personen wurden die Strahlenexpositionen entweder von den individuell ermittelten Expositionen für Personen mit vergleichbaren Arbeiten abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Konzentrationsmessungen an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten an diesen Arbeitsplätzen bestimmt.

Die Entwicklung der Anzahl der überwachten beruflich durch Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen seit 1975 ist in Abbildung 1.4-1 dargestellt. Die unter Berücksichtigung der Dosiskonversionskonvention nach ICRP 65 für Strahlenexpositionen durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten ermittelte Kollektivdosis betrug im Jahr 2001 einschließlich der Exposition durch langlebige Alphastrahler und äußere Bestrahlung ca. 1,75 Personen-Sv.

Auf die Beschäftigten der Wismut GmbH entfielen 1,05 Personen-Sv (Abbildung 1.4-2). Bei diesen Beschäftigten wurde auch die Exposition durch Inhalation langlebiger Alphastrahler aus der Uran/Radium-Zerfallsreihe und durch Photonenstrahlung messtechnisch erfasst. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte (Abbildung 1.4-3) liefern diese Expositionsarten im Allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der bei den Dosismessungen pauschal mit insgesamt 10% der berechneten Dosis berücksichtigt wurde.

Im Jahr 2001 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchsten individuellen effektiven Dosen wurden mit 9,9 mSv bei einem Mitarbeiter der Wismut GmbH und mit 19,6 mSv bei einem Beschäftigten eines Besucherbergwerks festgestellt.

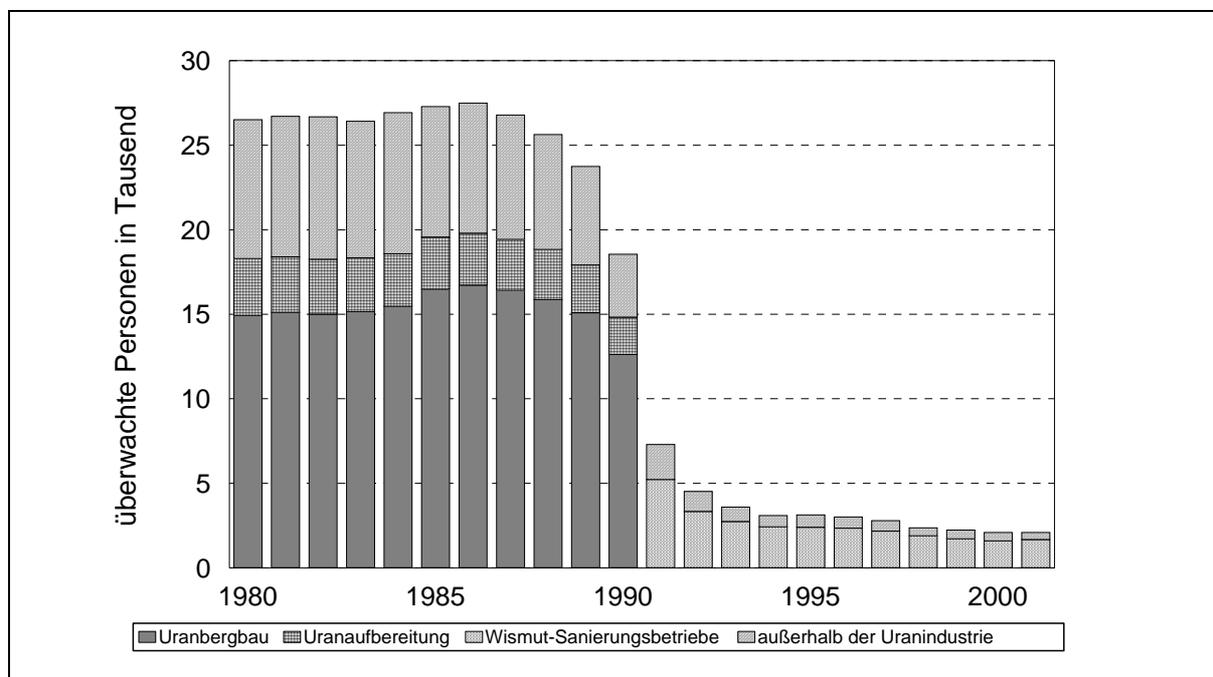
Die mittlere jährliche effektive Dosis aller überwachten Personen, die durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponiert waren, betrug 0,84 mSv und lag damit weit unter dem neuen Grenzwert für die effektive Dosis von 20 mSv pro Jahr. Sie ist für einzelne Arbeitsbereiche ab 1975 in den Abbildungen 1.4-4 und 1.4-5 dargestellt. Die höchste mittlere jährliche effektive Dosis ergab sich für die drei Beschäftigten in einem Radiumbad mit 3,19 mSv, gefolgt von den Beschäftigten in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 1,98 mSv, in Wasserbetrieben mit 1,60 mSv, bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau mit 1,59 mSv, in Bergsicherungsbetrieben mit 1,48 mSv, in der Wismut GmbH mit 0,63 mSv und im Schachtbau mit 0,57 mSv.

Bemühungen der Strahlenschutzverantwortlichen/Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörden um eine ständige Verbesserung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz finden seit Jahren ihren Ausdruck in den sinkenden Tendenzen der Kollektivdosis und der mittleren jährlichen effektiven Dosis, wie sie aus den Abbildungen 1.4-2 - 1.4-5 zu entnehmen sind. Das im Vergleich zu den mittleren Dosen bei Arbeiten außerhalb der Uranindustrie insgesamt höhere Niveau der Strahlenexpositionen bei Arbeiten in der Uranindustrie war auf die hier vorliegenden spezifischen Expositionsverhältnisse zurückzuführen (siehe Abbildung 1.4-4). Erst nach der Einstellung der Uranförderung (1990) und -aufbereitung (1991) kam es zu einer Angleichung der Höhe der Strahlenexpositionen. Die Verminderung der mittleren Dosis in Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie ist vor allem dem Wirksamwerden der umfangreichen Strahlenschutzmaßnahmen in den Nichturanbergwerken mit ca. 90% der Überwachten außerhalb der Uranindustrie zuzuschreiben, die Mitte der 70er Jahre eingeleitet wurden. Während entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen in Arbeitsbereichen mit relativ inhomogenen Expositionsbedingungen, wie in Bergsicherungsbetrieben, in Schachtbaubetrieben und in sonstigen Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte, 1983 bereits weitgehend abgeschlossen waren, ist in Abbildung 1.4-5 das Wirksamwerden entsprechender Strahlenschutzmaßnahmen in den ab 1980 in die Überwachung einbezogenen Schauhöhlen und Schaubergwerken deutlich zu erkennen. Entsprechende Maßnahmen in einzelnen Wasserbetrieben ab 1984 haben inzwischen zu einer Angleichung der mittleren jährlichen effektiven Dosis der hier beruflich exponierten Personen an das Niveau in den übrigen Arbeitsbereichen geführt.

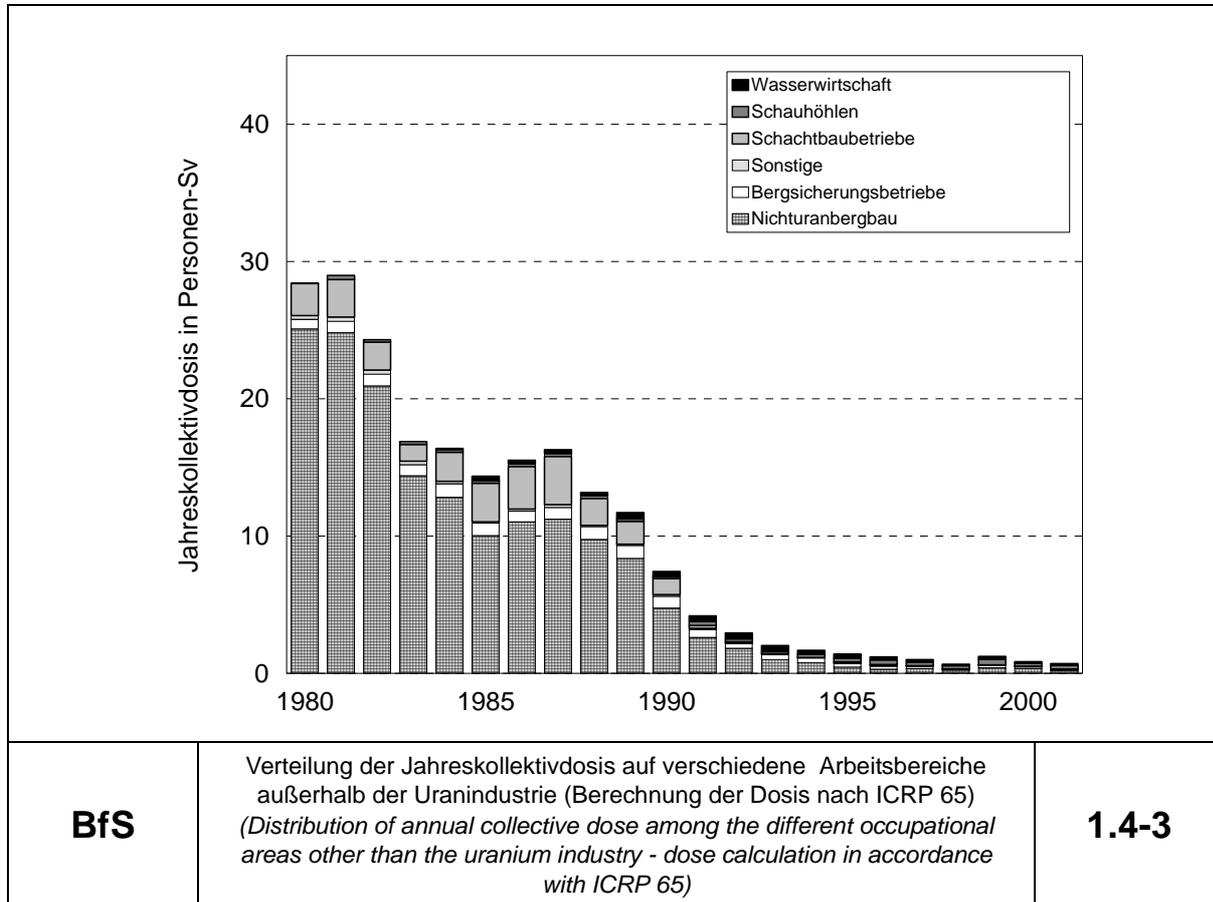
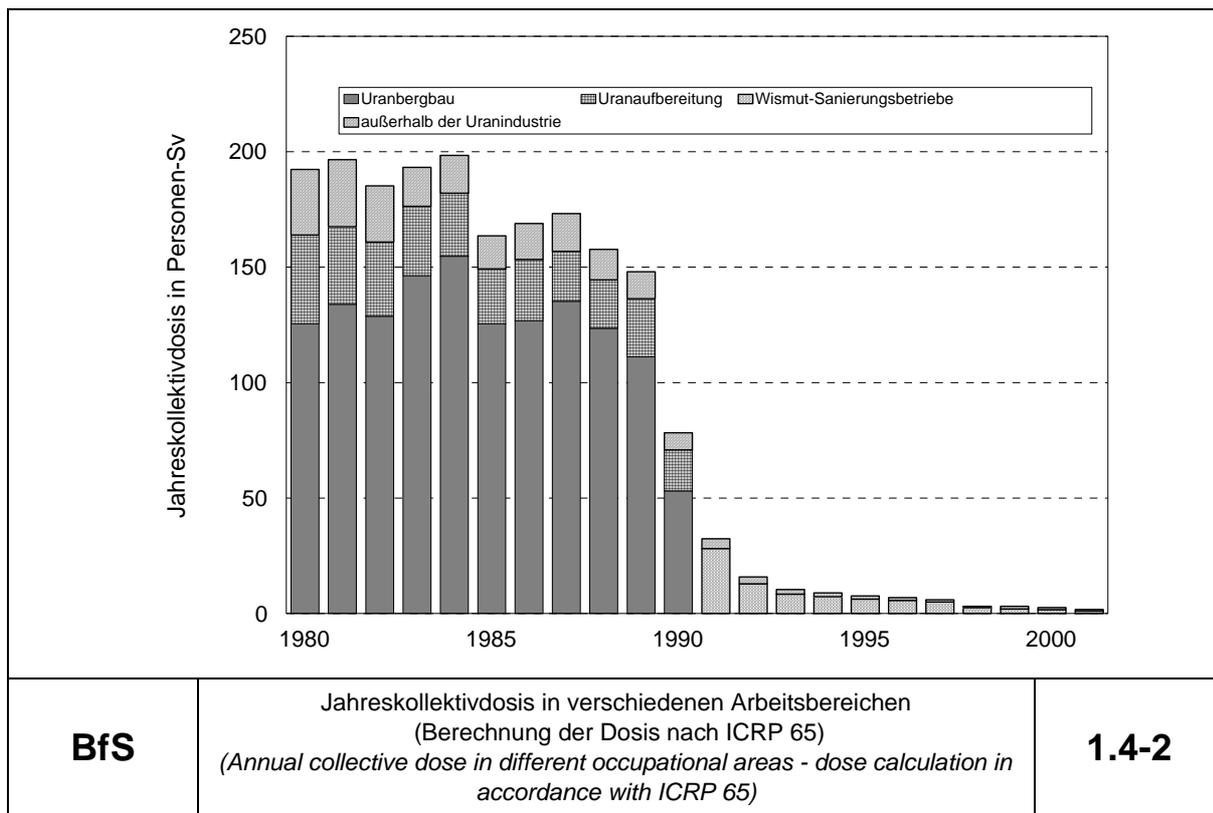
Insbesondere nach 1990 spielte bei der Reduktion der Kollektivdosis allerdings auch die stark fallende Anzahl überwachter Personen mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte sowie die Verlagerung der Sanierungsarbeiten in der Wismut GmbH von unter- nach über Tage eine wesentliche Rolle (s. Abbildungen 1.4-1, 1.4-2 und 1.4-3).

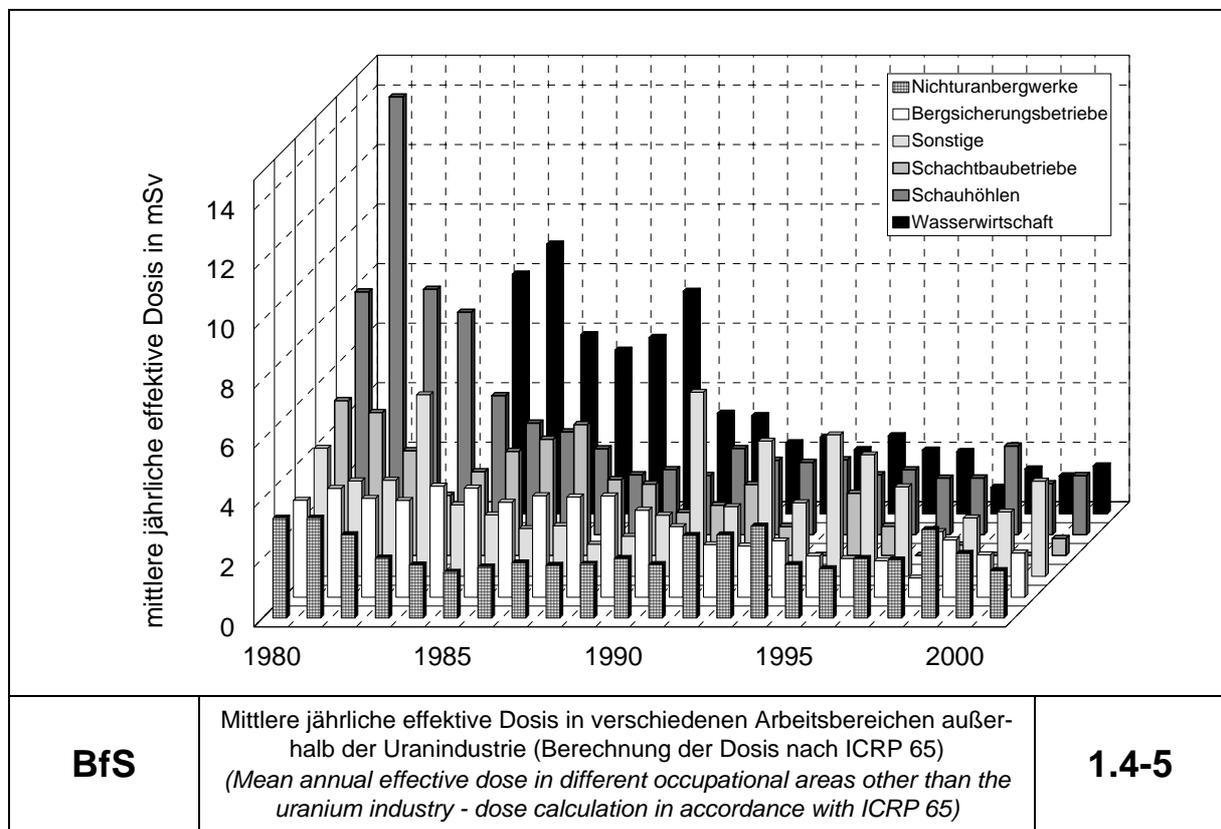
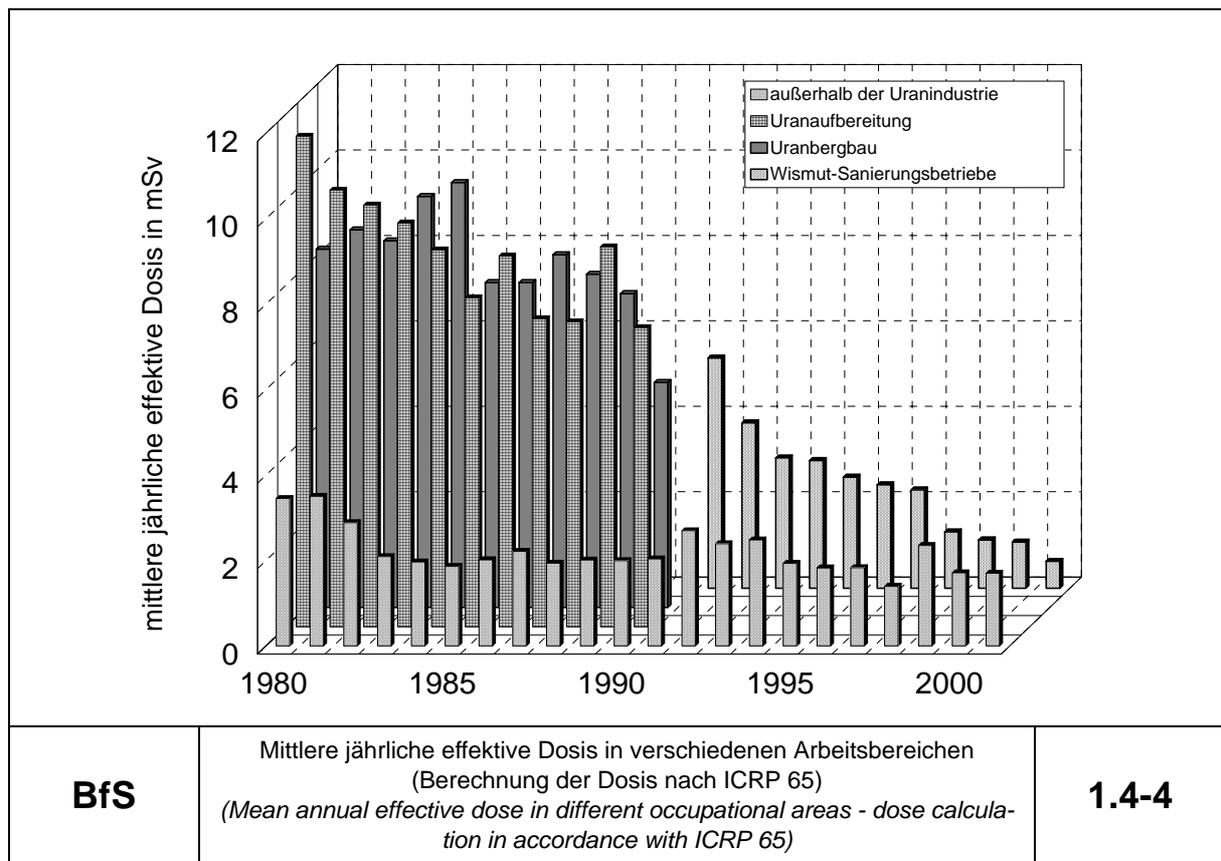
Der Anteil von Strahlenexponierten mit einer individuellen jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv (Eingreifwert für Anzeige und Einbeziehung in die Überwachung der beruflich durch Radon und Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen in Arbeitsfeldern außerhalb der Uranindustrie) betrug im Jahr 2001 in den Wismut-Sanierungsbetrieben 0,6% und außerhalb der Uranindustrie 5,0%. Die insgesamt 31 Beschäftigten (1,5% aller Überwachten) mit einer jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv lieferten einen Beitrag von 23,6% zur Kollektivdosis. Weitere Einzelheiten über die Entwicklung der entsprechenden Anteile in den verschiedenen Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie seit 1975 sind der Abbildung 1.4-6 zu entnehmen.

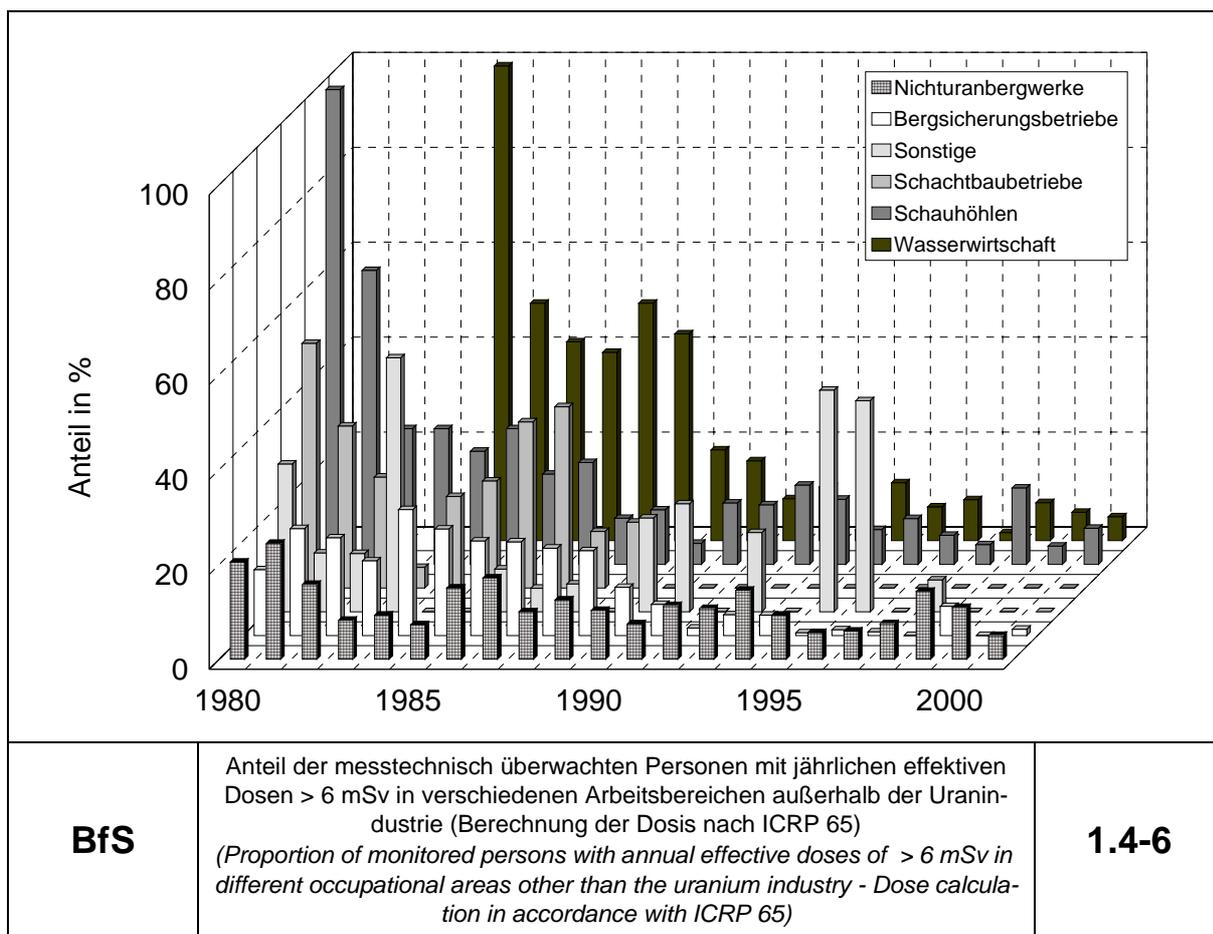
Den Übersichten liegen für die Jahre vor 1990 die entsprechenden Datensammlungen des ehemaligen Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR bzw. der SDAG Wismut zu Grunde.



Bfs	Anzahl überwachter Personen mit Strahlenexpositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte <i>(Number of monitored persons exposed to radiation from short-lived radon daughter products)</i>	1.4-1
------------	---	--------------







BfS

Anteil der messtechnisch überwachten Personen mit jährlichen effektiven Dosen > 6 mSv in verschiedenen Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie (Berechnung der Dosis nach ICRP 65)
(Proportion of monitored persons with annual effective doses of > 6 mSv in different occupational areas other than the uranium industry - Dose calculation in accordance with ICRP 65)

1.4-6

1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung
(Radiation exposures to flight personnel from cosmic radiation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Eine Komponente der natürlichen Strahlenexposition ist die Höhenstrahlung. Höhenstrahlung besteht zum einen aus der primären kosmischen Strahlung und zum anderen aus Sekundärstrahlung infolge der Wechselwirkung mit der Atmosphäre. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur gesamten natürlichen Strahlenexposition von im Mittel 2,1 mSv pro Jahr beträgt in Meereshöhe etwa 0,3 mSv pro Jahr und nimmt mit steigender Höhe zu. Flugpersonal und Passagiere sind daher während eines Fluges einer höheren natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt als Personen am Boden. Die genaue Höhe der Strahlenexposition hängt ab von der Reiseflughöhe und der Flugdauer sowie von der geomagnetischen Breite und der Sonnenaktivität.

Für die durch kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des Flugpersonals ist das komplex zusammengesetzte Strahlungsfeld in Höhen zwischen etwa 10 km und 14 km wichtig. Es besteht zu einem geringen Anteil aus der primären Komponente der kosmischen Strahlung, die aus dem Weltraum auf die Erde trifft. Den größeren Anteil bilden sekundäre Teilchen, die in Wechselwirkungen der primären Teilchen mit den Atomen der Lufthülle erzeugt werden. Während die primäre Komponente im Wesentlichen aus hochenergetischen Wasserstoff- und Heliumkernen besteht, setzt sich die sekundäre Komponente hauptsächlich aus Elektronen, Photonen, Neutronen, Mesonen, Myonen und sekundären Protonen zusammen. Während der Dauer eines Fluges kann das Strahlungsfeld insgesamt, von selten auftretenden solaren Teilchenereignissen abgesehen, als konstant angesehen werden. In Abhängigkeit von der Sonnenaktivität verändert sich die Strahlenexposition je nach Höhe bis zu einem Faktor 2 innerhalb des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus.

Die Abschätzung der Strahlenexposition des fliegenden Personals beruht auf Stichproben mit ortsdosimetrischen Messungen beim Flugbetrieb und Annahmen über die jährlichen Flugzeiten und Flugrouten. Die Umgebungs-Äquivalentdosis wird als Messgröße verwendet. Von 0° bis 50° geomagnetischer Breite nimmt sie bei gleicher Höhe kontinuierlich zu und ist dann in höheren Breiten konstant. Flüge auf der Nordatlantik-Route finden fast ausschließlich in geomagnetischen Breiten nördlich von 50° statt und führen zur höchsten Strahlenexposition. Als obere Abschätzung für die Jahresdosis des fliegenden Personals kann ein Wert von etwa 8 mSv errechnet werden, wenn man annimmt, dass die Flüge ausschließlich auf der Nordatlantik-Route zur Zeit eines Sonnenfleckenminimums stattfinden und die maximal zulässige jährliche Arbeitszeit von 1000 Flugstunden (entspricht 875 Stunden in Reiseflughöhe) voll ausgenutzt wird. Bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind unter sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer. Die Ergebnisse deuten - je nach zu Grunde gelegten Annahmen - auf mittlere jährliche Dosen in der Umgebung von 3 mSv hin. Die genannten Abschätzungen beinhalten nicht die Strahlenexposition durch solare Teilchenereignisse, deren Anteil gemittelt über mehrere Jahre gegenüber der ständigen Exposition durch galaktische kosmische Strahlung jedoch gering ist. Im Prinzip kann diese Strahlenexposition über Messstationen und Satelliten erfasst und berücksichtigt werden.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden 2001 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 müssen die Dosiswerte ermitteln und mindestens halbjährlich über das Luftfahrtbundesamt oder über eine von ihm bestimmte Stelle an das Strahlenschutzregister des BfS übermitteln. Entsprechende Maßnahmen dazu sind bis zum 1. August 2003 umzusetzen.

2. Inkorporationsüberwachung (*Incorporation monitoring*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz,
Oberschleißheim

Bei Personen, die radioaktive Stoffe in offener Form handhaben, kann gemäß §§ 40 und 41 StrlSchV (neu) eine Inkorporationsüberwachung erforderlich sein. Erfordernis und Verfahren dieser Inkorporationsüberwachung werden in der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle geregelt, die z. Zt. an die neue Strahlenschutzverordnung angepasst wird.

Die Inkorporationskontrolle geschieht in der Regel durch direkte Messung der Körperaktivität oder durch Messung der Aktivität der Ausscheidungen. In der Richtlinie wird zwischen regelmäßigen Inkorporationsmessungen und solchen aus besonderem Anlass unterschieden.

Ganzkörpermessungen

Bei der Inkorporationsüberwachung durch Ganzkörpermessung wird nur die zum Zeitpunkt der Messung im Körper vorhandene Aktivität eines radioaktiven Stoffes ermittelt. Die Aktivitätszufuhr ist daraus unter Beachtung des Zufuhrweges und des biologischen Verhaltens der chemischen Verbindung, in der der radioaktive Stoff vorliegt, zum Zeitpunkt der Inkorporation zu berechnen. Solange das Messergebnis der Ganzkörpermessung im Prozentbereich des Jahresaktivitätszufuhr-Wertes für das Radionuklid oder darunter liegt, kann zur Bewertung das Messergebnis der Ganzkörpermessung mit dem Jahresaktivitätszufuhr-Wert verglichen werden.

Ausscheidungsmessungen

Ausscheidungsanalysen werden durchgeführt, wenn die Bestimmung der Körperaktivität durch Ganzkörpermessungen aus physikalischen Gründen nicht möglich ist. Dies ist der Fall bei der Inkorporation β - und α -strahlender Nuklide, die keine oder nur eine geringe begleitende γ -Strahlung aufweisen. Hierzu gehören β -Strahler wie Tritium, Kohlenstoff-14, Phosphor-32, Schwefel-35, Calcium-45, Strontium-90, Promethium-147 sowie α -Strahler wie natürliches Thorium und Uran, Uran-233, Uran-235, Plutonium-238 und Plutonium-239.

Aus dem von der Inkorporationsmessstelle in Ausscheidungen bestimmten Gehalt an radioaktiven Stoffen kann die Körperaktivität zum Zeitpunkt der Messung und in vielen Fällen daraus die zugeführte Aktivität bestimmt werden. Voraussetzung für die Abschätzung der zugeführten Aktivität sind geeignet gewählte Untersuchungsintervalle. Bei der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung sind für die Festlegung der Untersuchungsintervalle die in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr für Inhalation und Ingestion, die physiologische Transportierbarkeit der inkorporierten Nuklidverbindungen und die Nachweisgrenzen der angewandten analytischen Verfahren zu berücksichtigen. Bei der Überwachung aus besonderem Anlass, die nur im Bedarfsfall erfolgt, wird das Untersuchungsprogramm dem Einzelfall so angepasst, dass Höhe und Verlauf der Körperaktivität abgeschätzt werden können.

Das Rechenverfahren zur Bestimmung der aus einer Inkorporation radioaktiver Stoffe resultierenden Strahlendosis ist in der Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition (Berechnungsgrundlage) angegeben.

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung werden bei den Messstellen gemäß § 42 StrlSchV mindestens 30 Jahre aufbewahrt. Gemäß § 112 StrlSchV (neu) sind sie dem Strahlenschutzregister des BfS zu übermitteln. Das Strahlenschutzregister hat zum Ende des Jahres 2001 die Vorgaben für die Übermittlung der Überwachungsdaten verbindlich festgesetzt. Ab dem Jahr 2002 werden die Inkorporationsmessstellen damit beginnen, Überwachungsergebnisse an das Strahlenschutzregister zu übermitteln.

3. **Strahlenexposition bei Radarpersonal** **(Radiation exposures to radar personnel)**

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Heer, Luftwaffe und Marine setzen eine Vielfalt von Radargeräten ein. Wie die Bundeswehr in ihrem Bericht über ihren Umgang mit Gefährdungen und Gefahrstoffen erklärt, sind seit der Gründung der Bundeswehr Zehntausende von Soldaten zur Bedienung, Prüfung, Wartung und Instandsetzung dieser Geräte ausgebildet oder als Lehrpersonal eingesetzt worden [1]. „Eine größere Zahl von ihnen ist schwer erkrankt. Beim Verteidigungsministerium hatten sich bis April 2001 mehr als 400 Betroffene gemeldet“... „Sie leiden an Krebs, Herzrhythmusstörungen und an Immunschwäche; einige sind inzwischen gestorben“ [1, Seite 69]. Als Ursache für diese Erkrankungen wurde von vielen Betroffenen nicht nur die ionisierend wirkende Röntgenstrahlung, sondern auch die hochfrequenten elektromagnetischen Felder, die in den Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung gehören, angeführt.

Bei sehr starken Radarsendern, wie sie als Wetterradar und in der zivilen und militärischen Flugsicherung eingesetzt werden, sind Verstärkerröhren enthalten, die mit hoher Leistung bis zu 2,5 MW und Röhrenspannungen im Bereich von 5 bis 100 kV betrieben werden. Diese Verstärkerröhren erzeugen als Abfallprodukt Röntgenstrahlung der entsprechenden Energie. Sie sind daher Störstrahler im Sinne der Röntgenverordnung (seit 1973) und unterliegen entsprechenden Sicherheitsvorschriften. Die Verstärkerröhren müssen derart abgeschirmt sein, dass weder die Bevölkerung noch das Bedienungspersonal einer über den Grenzwerten liegenden Röntgenstrahlung ausgesetzt sind. Erhöhte Strahlenexpositionen des Radar-Bedienungspersonals und der Servicetechniker können allenfalls dann auftreten, wenn entgegen den Sicherheitsbestimmungen während des laufenden Betriebes ohne entsprechende Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen gearbeitet wird.

Literatur

- [1] Die Bundeswehr und ihr Umgang mit Gefährdungen und Gefahrstoffen. Uranmunition. Radar. Asbest. Bericht des Arbeitsstabes Dr. Sommer, Berlin/Bonn, Juni 2001. Bezugsquelle: Bundesministerium der Verteidigung

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse (Unusual events subject to reporting)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz,
Oberschleißheim

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2001 enthält Tabelle 4-1. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden. Erstmals werden seit diesem Jahr auch besondere Vorkommnisse beim Umgang mit Röntgengeräten erfasst, sofern diese den Landes- und Bundesbehörden zur Kenntnis gegeben wurden.

Wie aus Tabelle 4-1 zu entnehmen, sind Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen auf Grund der strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht selten. Im Jahr 2001 trat jedoch ein Ereignis auf, bei dem es zu erheblichen Belastungen durch Inkorporation kam. Die Entwendung radioaktiv kontaminierter Gegenstände aus der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe führte zu effektiven Folgedosen bei drei Personen in Höhe von 5,5 Sv, 0,38 Sv und 0,18 Sv. Bezüglich meldepflichtiger Ereignisse in kerntechnischen Anlagen wird auf die Berichte des BMU "Meldepflichtige Ereignisse in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen in der Bundesrepublik Deutschland" gemäß AtSMV verwiesen.

Bei den insgesamt 85 registrierten Vorkommnissen handelt es sich in 52% der Fälle um Fund radioaktiver Stoffe und in 12% um Verlust radioaktiver Stoffe. Maßgeblichen Anteil haben hierbei Ionisationsrauchmelder.

Tabelle 4-1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgengeräten
(Unusual events in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and during the transport of radioactive material and in the operating of X-ray gadgets)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
07.12.98 (Nachtrag)	Personenkontamination und Kontamination (Co-57) des Laborbereichs einer Zyklotronanlage sowie Verschleppung der Kontamination in eine Privatwohnung	Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Inkorporation von ca. 30 kBq Co-57 (0,2 mSv)	Ordnungswidrigkeitsverfahren abgeschlossen, Bußgeldbescheide gegen Strahlenschutzbevollmächtigten und Strahlenschutzbeauftragten
17.01.00 (Nachtrag)	Beschädigung des Folienfensters eines Kr-85 Strahlers	Unsachgemäßer Ausbau aus einem zu verschrotenden Staubmessgerät	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung des Strahlers durch Herstellerfirma

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
06.10.00 (Nachtrag)	Aushändigung von 9 kernbrennstoffhaltigen Materialproben (0,2 - 8,2 g) an eine Behörde zur radiologischen Untersuchung	Diebstahl der Proben aus einem Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieb vor dem Jahr 1981	In 4 Proben keine Radioaktivität feststellbar; 4 Proben enthalten Uran (nat.) unter der Freigrenze; 1 Probe enthält 73 mg hochangereichertes Uran (91% U-235)	Staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren wegen ungenehmigtem Umgang mit radioaktiven Stoffen
Januar 01	Verlust von 141 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 29,6 kBq) bei Entkernungsarbeiten im Gebäude einer Sparkasse	Unzulässige Entsorgung	Keine	Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen
02.01.01	Fehlbestrahlung von Patienten in einer Klinik für Strahlenheilkunde über einen längeren Zeitraum	Personalprobleme, fehlende bzw. mangelhafte Dokumentation, fehlende Sachverständigenprüfung	Unbekannt	Schließung der Klinik, staatsanwaltschaftliche Ermittlungen, personelle Konsequenzen
04.01.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 14,8 kBq) bei Umbauarbeiten eines Gebäudes in einem Industriebetrieb	Unzulässige Entsorgung und Transport zur Reststoffsammelstelle	Gefährdungspotential gering	Suche in Reststoffsammelstelle erfolglos; Belehrung der Mitarbeiter
11.01.01	Fund von 12 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85 je 18,5 MBq)	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.02.01	Fund eines Schulquellensatzes (Na-22, Kr-85, Co-60, Cs-137, 13 µSv/h an Behälteroberfläche) bei Abrissarbeiten in einer Schule	Unterlassene Kontrolle	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
08.02.01	Fund von 15 Kartons mit Glühstrümpfen für Gaslampen (Th-232 < 500 Bq/g) in einem Sammelgutcontainer (Export) ohne Kennzeichnung	Unzulässiger Versand; Verstoß gegen <i>Gefahrgutverordnung Straße</i> (Klasse 7)	Keine	Sicherstellung; Weitertransport nach vorschriftsmäßiger Kennzeichnung und Vorlage fehlender Unterlagen
09.02.01	Unzulässiger Vertrieb und Verwendung von nicht bauartzugelegenen Ionisationsrauchmeldern amerikanischer Hersteller	Verstoß gegen StrlSchV		Angeordnete Rücksendung von 136 Ionisationsrauchmeldern bisher nicht erfolgt; behördliche Maßnahmen
20.02.01	Fund mit Ra-226 kontaminierter Blechteile bei einer Schrottverwertungsfirma	Unsachgemäße Entsorgung von Geräten, die radioaktive Strahler enthalten	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Separierung
06.03.01	Monitor-Alarm beim Öffnen einer gasdichten Transportverpackung	Undichter Kr 85-Strahler	Keine	Rückgabe des Strahlers an den Hersteller
08.03.01	Verlust eines Strahlers (Co-60 740 MBq) bei einer Luftfrachtlieferung aus dem Ausland an einen Gerätehersteller zwecks Entsorgung			Nachforschungen im Lieferland
08.03.01	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 0,33 MBq)	Diebstahl	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.03.01	Fund von 2 Ionisationsrauchmeldern in einem Container eines Wertstoffhofes	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.03.01	Bestrahlung eines Prüfers bei Radiographiearbeiten (Ir-192 2,22 TBq) an einem Brückenbauwerk	Unkorrektes Verhalten des Prüfers	Ortsdosisleistung am Aufenthaltsort 13 µSv/h	Medizinische Untersuchung
19.03.01	Verlust einer Sonde mit Strahler (Cd-109 370 MBq) während des Transports	Fehlleitung oder Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Polizeiliche Ermittlungen ergebnislos abgeschlossen
19.03.01	Fund eines mit Co-60 aktivierten Stahlteiles (375 µSv/h an Oberfläche) in einer Schrottanlieferung (Ausland) in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
26.03.01 u. 19.06.01	Verlust von insgesamt 3 Prüfstrahlern (2 Sr-90 je 37 MBq, 1 Ra-226 100 kBq) in einer Forschungseinrichtung	Unterlassene Kontrolle	Bei unsachgemäßer Handhabung der Sr-90-Strahler Hautschäden möglich	Aufsichtliche Anordnung
03.04.01	Auslieferung eines Strahlers (Co-60 148 MBq) in einem Abschirmbehälter mit geöffnetem Strahlenaustrittskanal	Fehlerhafte Endprüfung des Abschirmbehälters	Abschätzung der externen Strahlenexposition der Mitarbeiter des Lieferanten wie des Empfängers 0,1 mSv	Weitere Ursachenermittlung; konstruktive Änderungen am Verschlusshebel
04.04.01	Fund radioaktiv kontaminierter Blechteile (Am-241, 0,17 µSv/h) in einem Schrottcontainer		Keine, da Dosisleistung gering	Separierung der Schrottladung, unbekannter Verbleib der vermutlich kontaminierten Restladung
04.04.01	Fund von 2 Strahlern (Kr-85 15 und 25 MBq) in einem Schrottcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine, da geringe Dosisleistung	Rückgabe der Strahler an den Hersteller zur Wiederverwertung
05.04.01	Erhöhte Ortsdosisleistung (126 µSv/h) an einem Pkw bei der Einreise	Radiographiegerät mit Ir-192 Strahler ohne Kennzeichnung als Gefahrguttransport	Keine	Weiterreise nach Deutschland nach Vorlage notwendiger Papiere und Kennzeichnung
19.04.01	Abgabe eines Gas-Chromatografen mit Strahler (Ni-63) von einer Firma zur Verschrottung	Unterlassene Kontrolle	Gefährdungspotential gering	Suchaktion beim Schrotterwerter ergebnislos
24.04.01	Fund radioaktiv markierter Messinstrumente und Schaltknöpfe (Ra-226) auf ehemaligem militärischen Gelände	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.04.01	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 156 kBq) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung
27.04.01	Verschlussstörung bei einer endovasalen koronaren Behandlung mit einem Betabestrahlungsgerät	Schwache Batterie am manuellen Verschluss	Keine, Behandlung konnte ordnungsgemäß durchgeführt werden	Gerät wurde bis zur Reparatur stillgelegt

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
30.04.01	Einbruch in ein Museumsflugzeug und Zerstörung von Anzeigeelementen mit radioaktiven Strahlern	Vandalismus	Prüfung noch nicht abgeschlossen	Überprüfung auf Kontamination, Renovierung des Flugzeugs
02.05.01	Fehlbestrahlung einer Patientin bei 20 Behandlungen mit doppelter Bestrahlungsdosis	Berechnungsfehler bei Bestrahlungsplanung	Exposition betrug 72 Gy (statt 36 Gy)	Behördliche Ermittlungen
04.05.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 0,7 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung mit dem Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
08.05.01	Fund von 18 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85) bei Arbeiten in einer stillgelegten Industrieanlage	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.05.01	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 2,5 MBq) in einer Schrottlieferung aus dem Ausland	Unzulässige Entsorgung, unzulässiger Transport	Keine, Ortsdosisleistung in 10 cm Abstand $\leq 1,5 \mu\text{Sv/h}$	Separierung der Schrottteile, ordnungsgemäße Entsorgung
09.05.01	Fund eines Kompasses im Schrottpressling (Ra-226 0,2 MBq, 10 µSv/h an Presslingoberfläche)	Unzulässige Entsorgung	Keine; Kompass war unbeschädigt	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.05.01	Fund eines Strahlers (In-111, 3,1 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem Presscontainer bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände des Lieferanten
14.05.01	Verlust von 196 Seeds (I-125 4,14 GBq) bei der Beförderung mit dem Flugzeug (4 freigestellte Versandstücke)	Beförderung zum falschen Zielort	Unbekannt	Weltweit ausgelöste Suchmeldung
14.05.01	Fund eines Radiumemanators in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 1,5 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
19.05.01	Fund eines radioaktiven Gerätegehäuseteils (Ortsdosisleistung 12 µSv/h) bei einem Metallschrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.06.01	Störung am Antrieb eines Patienten-Bestrahlungstisches in einer Klinik	Fehlerhafte Installation	Keine	Überprüfung aller Bestrahlungstische im Klinikum
06.06.01	Fund von zwei Schaltstäben aus Anzeigeelementen (Ra-226 je 350 kBq) bei Routineuntersuchungen ehemaliger militärischer Liegenschaften	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
08.06.01	Fund eines Strahlers Typ LAA (Cs-137 118 MBq) einer ehemaligen radiometrischen Messeinrichtung in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung; Verlust bereits 1988 protokolliert	Keine; unbekannt für den Verlustzeitraum;	Sicherstellung, Recherchen zur Herkunft
13.06.01	Fund eines Strahlers (Co-60 2,96 MBq, 8,5 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem gewerblichen Müllcontainer bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
Juli 01	Überschreitung der zulässigen Personendosis einer Reinigungskraft in einer nuklearmedizinischen Therapiestation	Verstoß gegen Auflagen in der Genehmigung	Exposition der Reinigungskraft im Monat Juli 20 mSv (amtliche Dosimetrie); Rekonstruktion max. 1,3 mSv	Behördliche Recherchen, vermutlich missbräuchliche Exposition des Dosimeters
Juli 01	Feststellung der Entwendung kontaminierter Materialien aus einer Wiederaufbereitungsanlage (Am-241, Pu-238,239,241, Cs-137)	Diebstahl	Kontamination von 2 Wohnungen und 3 Pkw; effektive Folgedosen für 3 Personen: 0,51 Sv; 5,16 Sv; 0,21Sv	Umfangreiche Dekontamination; medizinische Behandlung; Strafverfolgung; Überprüfungsmaßnahmen für alle kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg; spezielle Maßnahmen für betroffene Anlage
06.07.01	Fund von in Blei verpackten Prüfstrahlern (Co-60 max. 1 µSv/h) bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Lagerung auf einem Grundstück	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.07.01	Verschlussstörung an einem Betabestrahlungsgerät bei einer medizinischen Routinebehandlung		Zusätzliche Exposition für den Patienten 3 Gy; keine Exposition des Personals	Rücksprache mit Hersteller und Überprüfung des Gerätes
10.07.01	Fund einer kontaminierten Metallpalette in einer Halle einer kerntechnischen Anlage		Keine	Weitere Behandlung im Kontrollbereich; Untersuchungskommission
12.07.01	Fund radioaktiv kontaminierter Blechteile in einem Container mit Flugzeugschrott während des Transports	Unzulässige Entsorgung von Flugzeugarmaturen	Keine, da geringe Dosisleistung	Separierung der kontaminierten Teile und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.01	Fund eines Strahlers (Sr-90 1 GBq) in einem Stahlschrottcontainer eines Abfallwirtschaftsbetriebes	Unzulässige Entsorgung	Keine, Strahler befand sich im Aufbewahrungsbehälter	Ordnungsgemäße Entsorgung; Polizeiliche Ermittlungen ergebnislos abgeschlossen
23.07.01	Fund eines Flugzeuginstrumentes (Ra-226 200 kBq, 23 µSv/h an Instrumentoberfläche) im Metallschrott bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.07.01	Erwerb von 2 Radiumbechern (Ra-226, 3,0 MBq und 1,7 MBq) in einem Auktionshaus	Unzulässige Verbringung radioaktiver Stoffe	Strahlenexposition für 2 Personen ≤ 30 µSv	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.07.01	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum	Unachtsamkeit des Bedienpersonals	Keine; Strahlenexposition unterhalb der Nachweisgrenze (0,1 mSv)	Zusätzliche Belehrungen; Forderung des Einbaus eines technischen Personenüberwachungssystems
30.07.01	Unberechtigtes Öffnen eines Versandstückes (I-125 222 kBq) durch einen Spediteur	Unzulässiger Umgang mit korrekt deklariertem Versandstück	Keine	Rückgabe an den Hersteller
03.08.01	Selbständige Bewegung eines Patientenlagertisches während des Frühchecks in einer Klinik	Beschädigung der Steuerelektronik durch Wasserschaden	Keine, da noch keine Patientenbestrahlung durchgeführt	Stilllegung bis zur Reparatur

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
06.08.01	Feststellung kontaminierter gepresster Schrotteile (8,5 µSv/h an Oberfläche) bei Schrottanlieferung (Ausland) in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
10.08.01	Schneller Anstieg von Verschleißzeiten an Bestrahlungsanlage (Co-60 299 TBq)	Verschleißerscheinungen des innen liegenden Kugellagers	Keine, da rechtzeitig erkannt	Regelmäßige Messungen der Verschleißzeit (wöchentlich)
13.08.01	Fund eines Strahlers (Ra-226, 0,65 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem Hausmüllcontainer bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.08.01	Fund kontaminierter gepresster Metallspäne (Ra-226 0,21 Bq/g, 27 µSv/h an Oberfläche eines Brockens) in einem Container bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.08.01	Fund eines Strahlers (I 131, 2 µSv/h an der Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
24.08.01	Störung bei der Strahlerrückführung (Se-75 2,78 TBq) an einem Gammarradiographiegerät	Unsachgemäße Handhabung und Fehlfunktion der Strahlerhaltersicherung	Effektive Dosis von 0,1 mSv für Prüfer und Sachverständigen	Sofortige Unterstützung durch Sachverständigen bei Störfallbeseitigung; eingehende Überprüfung des Gerätes durch Sachverständigen; konstruktive Änderungen am Gerät und Konkretisierung der Bedienungsanleitung durch Hersteller
10.09.01	Sicherstellung von 1 kg Thoriumdioxid bei einer Giftmüllsammelstelle (Oberfläche 200 µSv/h)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.09.01	Verbringung von 4 Fässern mit radioaktiven Abfällen (H-3, Pm-147) aus der Uhrenindustrie auf eine Deponie	Unzulässige Entsorgung		Behördliche Ermittlungen
11.09.01	Fund eines Strahlers (Cs-137 55,5 MBq) einer radiometrischen Messeinrichtung im gesammelten Schrott	Unzulässige Entsorgung nach unsachgemäßer Demontage		Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
13.09.01	Fehlerhaftes Einfahren der Strahler bei einer kardiovaskulären Therapie	Knick im Applikationskatheter durch zu enges Auslegen des Katheters	Berechnete Teilkörperdosis in 10 cm < 1 mSv, wenn Strahler außerhalb des Patienten	Prüfung des ausgelegten Katheters vor Einfahren des aktiven Strahlerzuges; Einsatz neuer Gerätegenerationen
14.09.01	Fund eines Strahlers (In-111 0,5 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Presscontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücktransport an Absender, Abklingen
15.09.01	Verlust von 80 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 29,6 kBq) in einer Firma	Brand	Gefährdungspotential gering	Brandschutt ordnungsgemäß entsorgt

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
24.09.01	Hängenbleiben des Strahlers (Se-75) außerhalb der Abschirmung während Reparatur	Fertigungsabweichungen sicherheitsrelevanter Ersatzteile	Exposition des Mitarbeiters 0,3 mSv effektive Dosis	Untersuchung des betroffenen Mitarbeiters durch ermächtigten Arzt; Forderung von Eingangskontrollen, Verbesserung der Qualitätskontrolle bei Fertigung
05.10.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 2 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen auf dem Gelände des Müllverwertungsbetriebes
08.10.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Ra-226 2,2 kBq) bei Abrissarbeiten	Unachtsamkeit, unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Suche erfolglos
10.10.01	Demontage einer radiometrischen Messeinrichtung (Co-60 36 MBq) bei geöffnetem Strahlenkanal von einem Gerüst durch Mitarbeiter einer Fremdfirma	Unterlassene Einweisung, Missachtung des Strahlenwarzeichens	Exposition der Mitarbeiter ca. 16 µSv (Rekonstruktion); da Sonde 5 Tage unbemerkt geöffnet blieb, geringe Exposition weiterer Mitarbeiter möglich	Untersuchung durch Betriebsarzt; Verbot zur Installation von Versuchsaufbauten an Gerüsten
17.10.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 30 kBq) nach Sanierungsarbeiten	Unzulässige Entsorgung mit Bauschutt	Keine	Information betroffener Behörde
17.10.01	Fund eines Strahlers (I-131, 12,3 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.10.01	Fund eines Strahlers (Cs-137 55 MBq) außerhalb der Abschirmung nach Anlieferung aus dem Ausland	Unzureichende Verpackung, Nichteinhalten von Transportvorschriften	Exposition eines Mitarbeiters: 0,1 mSv/h über 2 Minuten	Weitere Ursachenermittlung, Auswertung amtlicher Dosimeter
24.10.01	Fund eines Strahlers (I-131, 6,4 µSv/h an Fahrzeug) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.10.01	Feststellung erhöhter Dosisleistung nach Öffnen der Transportverpackung von 5 Strahlern (Kr-85 1,85 GBq)	Einer der Strahler war undicht	Keine	Sicherstellung; Rückgabe des undichten Strahlers an den Hersteller
25.10.01	Fund radioaktiv kontaminierter medizinischer Abfälle (In-111, 2,2 µSv/h an Containeraußenwand) in einem Müllcontainer einer Klinik	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Stadtreinigung
25.10.01	Fund eines radioaktiv markierten Drehzahlmessers (Ra-226 450 kBq) in einem Schrottcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
07.11.01	Exposition einer Mitarbeiterin durch Herausfallen von 3 Seeds (Sr-90 je 1,48 MBq) aus dem Aufbewahrungsrohr während Dosimetriearbeiten beim Hersteller	Verkleben eines Containers an Andockstelle	Konservative Abschätzung der Hautdosis 300 mSv; Auswertung von Film- und Fingerringdosimeter ergab < 0,1 mSv	Untersuchung durch ermächtigten Arzt; technische Änderungen der Anlage; Konkretisierung der Arbeitsanweisung, zusätzliche Belehrung des Personals
22.11.01	Feststellung einer Abweichung der Dosissymmetrie an einem medizinischen Beschleuniger bei jährlicher Qualitätskontrolle	Ausgleichsfilter außerhalb Sollposition; defektes Interlocksystem	Keine Patientenfehlbestrahlung	Behördliche Aufklärung
22.11.01	Aufenthalt eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum während einer Afterloading - Behandlung (Ir-192 270 GBq)	Unachtsamkeit des Bedienpersonals	Gering; effektive Dosis 0,2 µSv	Zusätzliche Belehrungen
27.11.01	Fund eines Strahlers (I-131, 0,25 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	
08.12.01	Verlust von zwei Sätzen Schulstrahlenquellen (Uranynitrat, Am-241, Co-60, Na-22)	Diebstahl		Behördliche Maßnahmen; öffentliche Informationen
11.12.01	Fund von drei Fläschchen mit Aufschrift „Radioaktiv“ (I-125, Fe-55)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.12.01	Fund eines Strahlers (Ra-226, < 0,8 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Sperrmüllcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; Vereinzelung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.12.01	Fund von Versandstücken mit natürlichen Mineralien (Ra-226, 80 µSv/h an Versandstück) in einem Container	Falsche Auszeichnung der Versandstücke	Keine	Rücktransport zum Absender; Information zuständiger Behörden
18.12.01	Abriss einer Sonde (Cs-137 18,5 MBq) an einer Füllstandsmesseinrichtung	Beschädigung des SONDENSCHUTZROHRES durch Temperatureinfluss	Keine; Quelle unversehrt geborgen	Sicherstellung; Ursachenermittlung
21.12.01	Fund eines Strahlers (TI-201 3,2 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände des Müllverwertungsbetriebes
22.12.01	Fund von 3 Strahlern (Co-60 0,5 kBq; Cs-137 0,3 MBq; Ra-226 2,2 MBq) und einer Leuchtplakette (Ra-226 1,3 MBq) nach einem Wohnungsbrand	Unzulässiger Besitz radioaktiver Stoffe	Unbekannt; keine Kontaminationen bei den 3 Strahlern festgestellt	Sicherstellung; Dichtheitsprüfungen und ordnungsgemäße Entsorgung

* Ergebnisse des Abschlussberichts vom Mai 2002 zu diesem Vorkommnis

TEIL IV

STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN *(Radiation exposures from medical applications)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

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

1.1 Röntgendiagnostik (*X-ray diagnostics*)

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Sowohl an die Indikationsstellung als auch Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der Röntgenverordnung 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 der gewünschte medizinische Effekt nicht ebenso erzielt werden kann. Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patientinnen und Patienten hat es die Europäische Union in der Patientenschutzrichtlinie (PatSRL) 97/43/EURATOM [4 in Abschnitt 1.2] den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wird, sieht vor, diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zu übertragen. Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.

Das BfS strebt für die dazu notwendige Datenerhebung ein standardisiertes Verfahren an mit der Zielsetzung, eine regelmäßige Durchführung - am besten jährlich - zu gewährleisten.

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

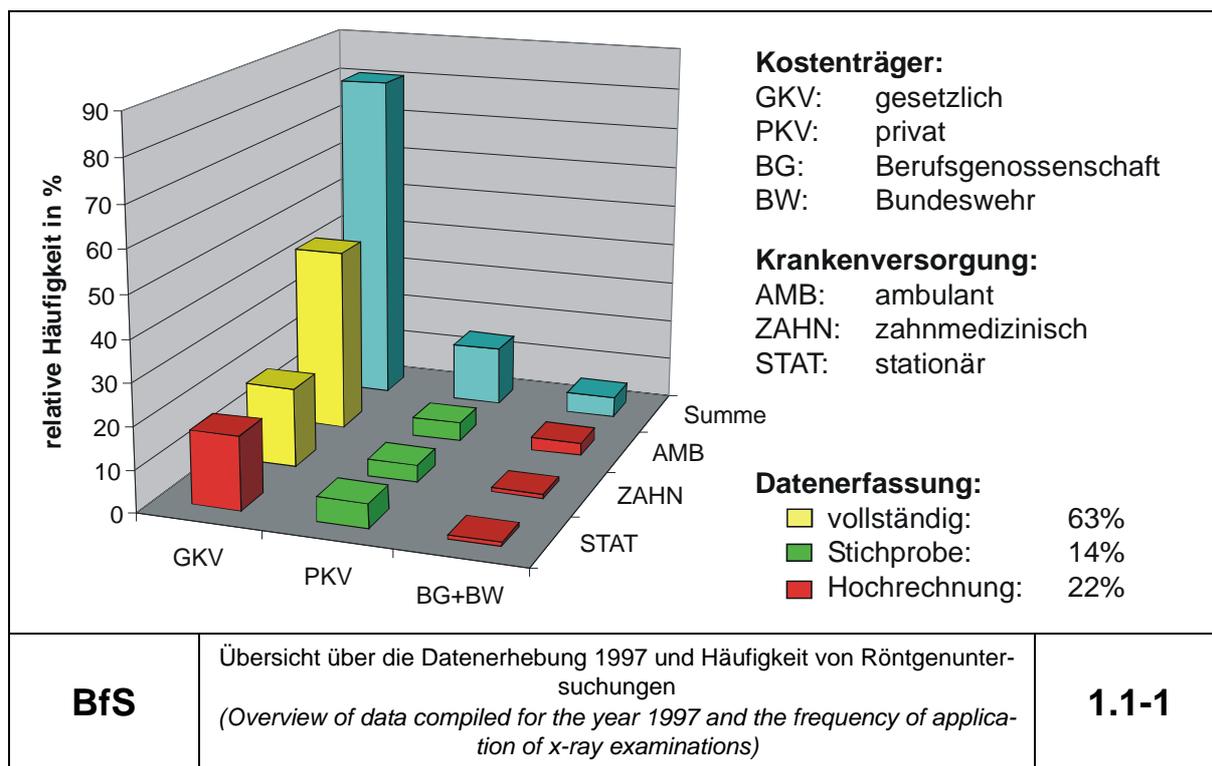
Das Institut für Strahlenhygiene des BfS führt seit 1991 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durch. Die aktuellsten zu erhaltenden Daten stammen aus dem Jahr 1997. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sogenannten Leistungspositionen abgerechnet werden, in denen die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschrieben werden.

Für die Datenerhebung ergeben sich dabei zwei Probleme:

- Die GKV rechnet nur die ambulanten human- und zahnmedizinischen Leistungen über Leistungspositionen ab, so dass die stationären Röntgen-Leistungen abgeschätzt werden müssen - unter der Annahme, dass das Verhältnis von ambulanten und stationären Untersuchungen bei Kassenpatienten und Privatpatienten gleich ist.
- Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen. Um eine verbesserte statistische Aussagekraft zu erreichen, wird deshalb für die PKV-Daten eines Jahres jeweils der gleitende Mittelwert über drei Jahre gebildet - d. h. für 1997 wurden die Daten von 1996 bis 1998 ausgewertet.

Zusammengefasst kann über die Gesamtanzahl der 1997 in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen festgestellt werden (Abb. 1.1-1), dass ca. 63% durch eine vollständige Erhebung erfasst sind, ca. 14% durch eine Stichprobe und ca. 22% durch eine Hochrechnung.

Ein weiteres Problem ist die teilweise fehlende Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung der Leistungspositionen zu den in der Röntgendiagnostik üblicherweise verwendeten Verfahren bzw. den untersuchten Körperregionen oder Organsystemen. Um diesbezüglich eine Standardisierung zu erzielen, wurden die Verfahren der Röntgendiagnostik nach Untersuchungsart und -region geordnet und in insgesamt 17 Kategorien – wie z. B. Untersuchung des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule, etc. – zusammengefasst. Mit diesem Schema ist es möglich, sowohl die Untersuchungshäufigkeit insgesamt zu berechnen als auch den Anteil einer bestimmten Untersuchungsart und/oder -region.



Bfs

Übersicht über die Datenerhebung 1997 und Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen
 (Overview of data compiled for the year 1997 and the frequency of application of x-ray examinations)

1.1-1

Untersuchungshäufigkeit

Für Deutschland ergibt sich eine Gesamtzahl von ca. 136 Millionen Röntgenuntersuchungen für das Jahr 1997. Weltweit nimmt Deutschland mit ca. 1.654 Röntgenuntersuchungen pro 1.000 Einwohner im Jahr zusammen mit Norwegen und Luxemburg eine Spitzenstellung ein, die nur von Japan übertroffen wird.

Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. ± 10% bei den Angaben zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen. Hauptfehlerquelle ist die unsichere Datenlage bei der Erfassung der stationären Leistungen im Rahmen des allgemeinen Pflegesatzes. Das betrifft die stationären Patientinnen und Patienten, die nicht als Privatpatienten mit dem Chefarzt abrechnen. Im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom Bundesumweltministerium gefördert werden, sowie durch die Mithilfe der Spitzenverbände der Ärzteschaft soll diesbezüglich die Datenlage verbessert werden. Allerdings ist mit ersten Daten erst mittelfristig, d. h. in etwa drei bis vier Jahren, zu rechnen.

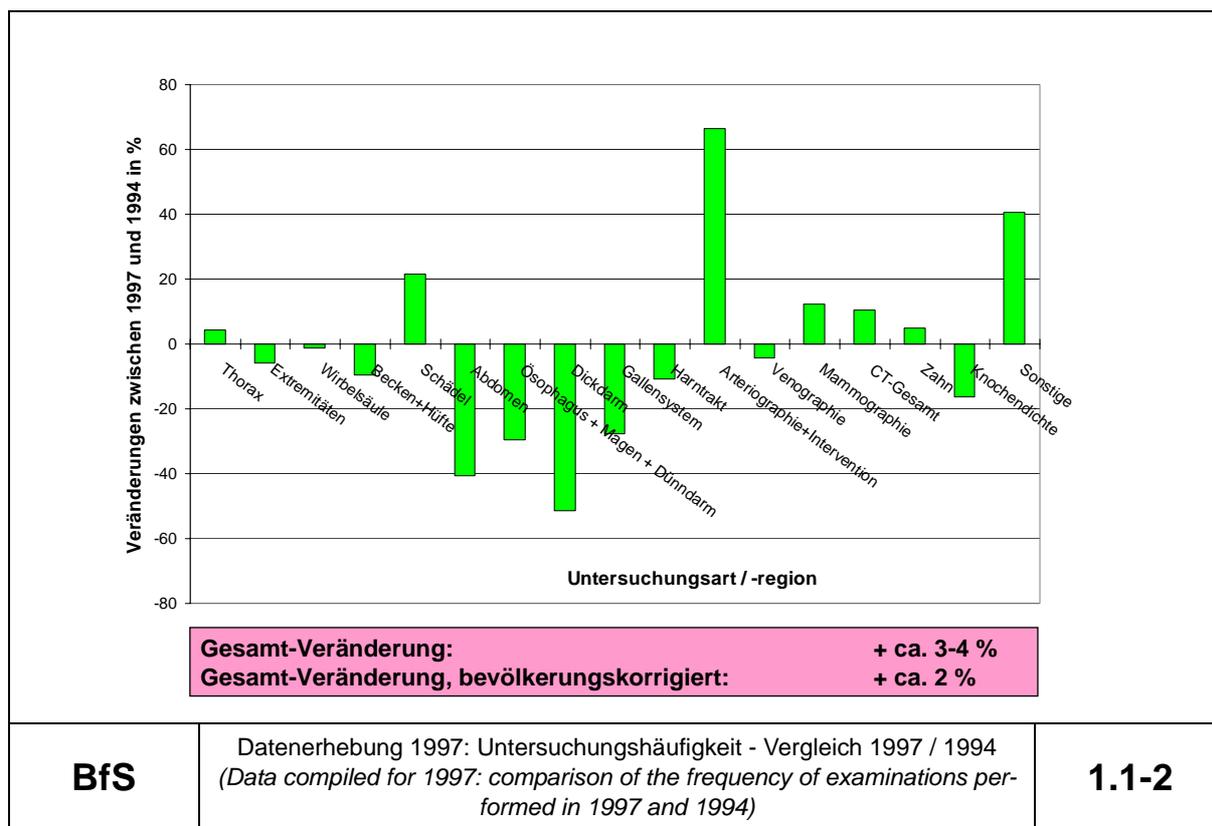
Die Daten, aufgedgliedert nach ambulanter und stationärer Krankenversorgung und nach Untersuchungsarten bzw. -regionen, sind in Tabelle 1.1-1 als jährliche Häufigkeit in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1000 Einwohner dargestellt. 72% aller Röntgenuntersuchungen einschließlich der zahnmedizinischen Untersuchungen werden danach ambulant durchgeführt, ohne Zahnmedizin sind es 66%. Am häufigsten sind Röntgenuntersuchungen des Thorax (Brustkorb), der Zähne und der Extremitäten. Welchen Anteil die einzelnen Untersuchungen innerhalb der Tätigkeit der niedergelassenen Ärzte und der Krankenhäuser haben, ist ebenfalls aus Tabelle 1.1-1 zu ersehen. Fast die Hälfte aller Röntgenuntersuchungen in Krankenhäusern betreffen den Thorax (49%), während in den Arztpraxen das Skelett mit 64% das bei weitem am häufigsten untersuchte Organsystem ist.

Tabelle 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland
(Frequency of application of x-ray examinations in Germany in the year 1997)

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär ^{d)}		Gesamt in Tausend	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in% a)	in Tausend	Anteil in% a)		
Brustkorb	9508	13	15460	49	24968	304
Gliedmaßen	18877	26	3430	11	22307	272
Wirbelsäule	10067	14	1430	4	11497	140
Becken und Hüfte	5725	8	1240	4	6965	85
Schädel	12007	16	1600	5	13607	166
Bauchraum (leer)	965	1	640	2	1605	20
Speiseröhre/Magen/ Dünndarm	741	1	180	1	921	11
Dickdarm	634	1	270	1	904	11
Galle	68	0	90	0	158	2
Harntrakt	1397	2	640	2	2037	25
Arteriendarstellung und Intervention	439	1	1950	6	2389	29
Venendarstellung	356	0	300	1	656	8
Mammographie	5840	8	380	1	6220	76 ^{b)}
Computertomographie	3198	4	2580	8	5778	70
Knochendichtemessung	902	1	?	-	902	11
nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen	3031	4	1560	5	4591	56
sonstige Untersuchungsstellen ^{c)}					6598	80
Zwischensumme	73755	100	31750	100	112103	1366
Zahnuntersuchungen	23624		20		23644	288
Gesamt	97379		31770		135747	1654

- a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen.
b) Dies entspricht 199 je 1000 Frauen im Alter ab 25 Jahren (Bevölkerungsanteil: 31,29 Mio.).
c) Z.B. Gesundheitsämter, Justizvollzugsanstalten u.a. Diese Untersuchungsstellen sind weder ambulant noch stationär zugeordnet.
d) Die Unsicherheit der Abschätzung wirkt sich besonders bei den sehr häufigen Untersuchungen des Brustkorbs (Thorax) auf die angegebene Häufigkeit aus.

Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen, wobei die Zuordnungen einzelner Leistungspositionen zu organbezogenen Untersuchungen nicht mehr in derselben Weise möglich ist. Weiterhin wurden bei der Auswertung für das Jahr 1997 einige Leistungspositionen zusätzlich berücksichtigt, die 1994 noch nicht erfasst werden konnten. Mit diesen Einschränkungen ergibt sich eine Steigerung der Gesamt-Untersuchungshäufigkeit zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%, also grob geschätzt von 1% pro Jahr. Bevölkerungskorrigiert liegt der Anstieg bei ca. 2% (Abb. 1.1-2).



Die Auswertung für die einzelnen Untersuchungsarten lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der relativen Häufigkeit im Vergleich zu 1994 erkennen (Abb. 1.1-2). Einerseits zeigte sich eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts um 10 – 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlung wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie (MRT) weiter anhält. Andererseits zeigte sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%, wobei erstere im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt ist, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Brustkrebsdiagnostik unterstreicht. Weitere Zunahmen fanden sich bei dosisintensiven Techniken wie der Computertomographie (CT) um ca. 11% und der Arteriographie einschließlich interventioneller Eingriffe um ca. 67%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, stellen aber gerade die letztgenannten Techniken einen großen diagnostischen und therapeutischen Gewinn für die Patientinnen und Patienten dar.

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 in ein Schattenbild umgewandelt.

Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die weiter unten besprochenen komplexeren Verfahren sind in Tabelle 1.1-2 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. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen errechnet wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten "Normalpatienten".

Tabelle 1.1-2 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik an Standardpatienten und Standardpatientinnen
(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 / -region	effektive Dosis [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,09 - 0,15
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,05
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,4 - 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 - 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 - 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 - 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 - 18
Galle	1 - 5
Harntrakt (Urogramm)	2,5 - 7
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 - 2
Arteriographie und Interventionen	10 - 20
CT-Untersuchungen*	
Kopf	2 - 4
Wirbelsäule / Skelett	3 - 10
Brustkorb (Thorax)	6 - 10
Bauchraum (Abdomen) und kleines Becken	10 - 25

* typische CT-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittel-Gabe

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache, kontinuierliche oder gepulste Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört auch die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres 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 und Patientinnen - vermieden werden können.

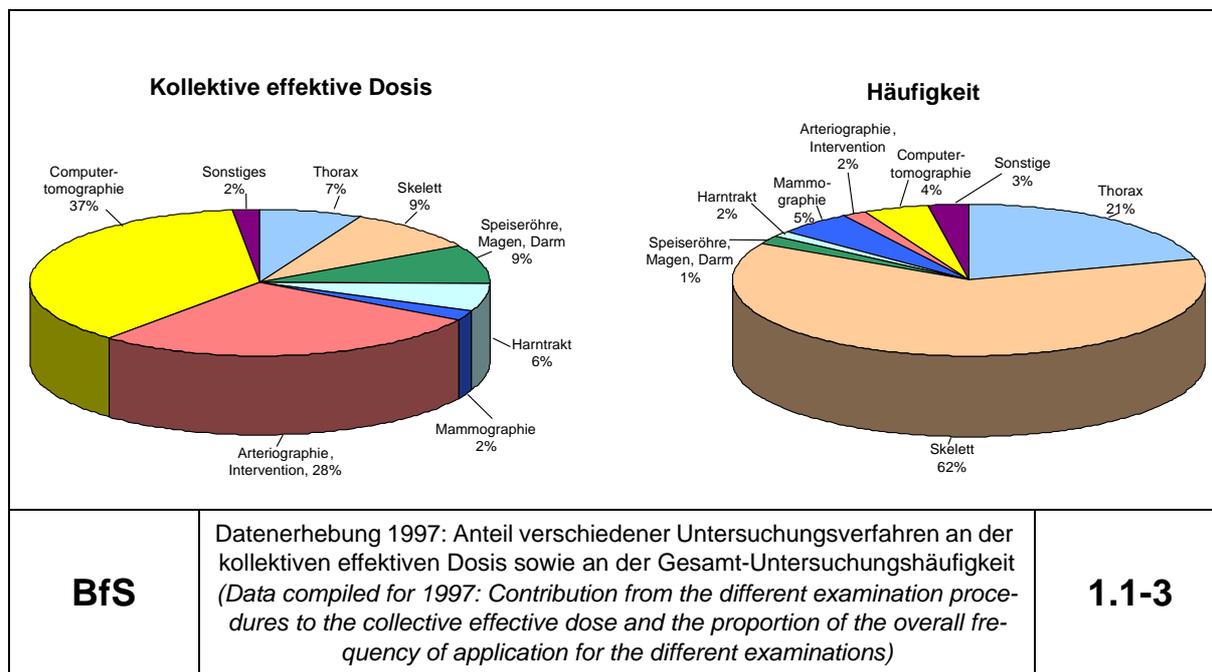
Die CT, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten bzw. der Patientin fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für den Patienten bzw. die Patientin weniger belastend und erlaubt es zusätzlich, nicht nur morphologische, sondern auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die außer mit der Magnetresonanztomographie mit keinem anderen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen einer gezielt durchgeführten Untersuchung für den Patienten bzw. die Patientin in den Hintergrund tritt.

Kollektive effektive Dosis

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für jede Untersuchungsart berechnet und in das oben beschriebene Schema eingetragen. Dadurch ist es möglich, sowohl die kollektive effektive Dosis insgesamt als auch den auf eine bestimmte Untersuchungsart bzw. -region entfallenden Anteil daran abzuschätzen.

Die rein rechnerisch ermittelte effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland im Jahr 1997 lag bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Unsicherheit von ca. ± 25%. Eine wichtige Fehlerquelle liegt in der Schwankungsbreite der Dosen für die einzelnen Untersuchungen. Hier sind die individuellen Verhältnisse bei den Patienten und Patientinnen - insbesondere die Körpermaße der Patienten und Patientinnen, die Durchleuchtungszeit und die Schwierigkeit der Diagnosestellung - ebenso maßgeblich wie die Schwierigkeit, aus einer abgerechneten Leistungsposition auf die genaue Art der Durchführung einer Untersuchung zu schließen.

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis zeigt Abbildung 1.1-3. Im Vergleich zu den für das Jahr 1994 vom Bundesamt für Strahlenschutz angegebenen Daten fällt insbesondere der Anstieg bei der Arteriographie und interventionellen Radiologie von etwa 18% auf jetzt 28% auf. Demgegenüber bleibt der Anteil der CT mit 37% weitgehend unverändert. Hier kann vermutet werden, dass die Zunahme der Untersuchungshäufigkeit durch eine Dosiseinsparung je CT-Untersuchung auf Grund neuer Gerätetechniken ausgeglichen worden ist. Der prozentuale Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Häufigkeit ist ebenfalls in Abbildung 1.1-3 dargestellt. Obwohl CT und Arteriographie mit Intervention zusammen nur ca. 6% der Röntgenuntersuchungen ausmachen, liegt ihr gemeinsamer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis bei ca. 65%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bieten aber gerade diese Techniken – wie oben bereits dargelegt - einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patientinnen und Patienten.



BfS	Datenerhebung 1997: Anteil verschiedener Untersuchungsverfahren an der kollektiven effektiven Dosis sowie an der Gesamt-Untersuchungshäufigkeit <i>(Data compiled for 1997: Contribution from the different examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations)</i>	1.1-3
------------	---	--------------

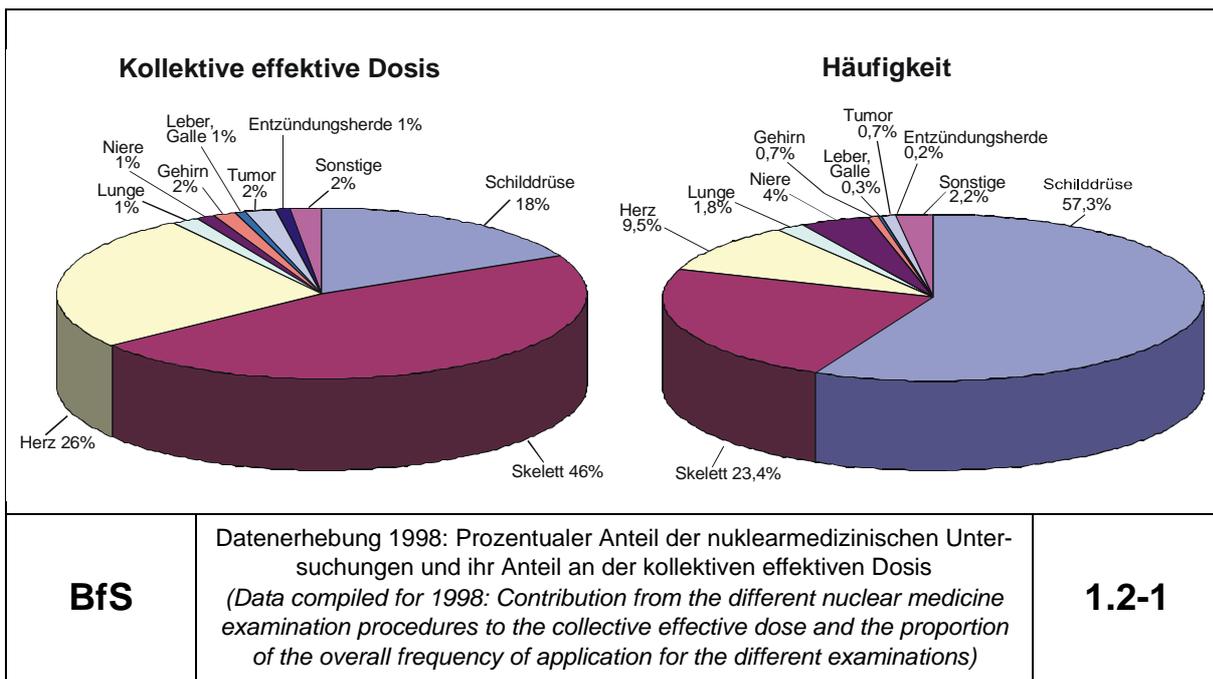
**1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik
(Nuclear medicine diagnostics)**

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten und Patientinnen offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z. B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten und in der Patientin nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Un-

tersuchung 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, sonstigen bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Insbesondere mit Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z. B. der [Fluor-18]-Fluordesoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen [1, 2, 3]. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland 1998 ca. 3,6 Millionen Radionuklidapplikationen bei ambulanten und stationären Patienten und Patientinnen durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 44 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden bei den ambulanten Patientinnen und Patienten Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung 1.2-1). Insgesamt wurde für die im Jahr 1998 durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen eine kollektive effektive Dosis von ca. 9 140 Personen-Sv und eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,11 mSv ermittelt. Die Skelettszintigraphie liefert mit 46% den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 26% und Schilddrüsenszintigraphie mit 18% (Abbildung 1.2-1).



Die mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei der PET mit FDG mit 8,6 mSv am höchsten, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 7,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 5,1 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine vergleichsweise niedrige effektive Dosis von 0,8 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,8 mSv).

Im Vergleich zu 1997 ist 1998 eine geringfügige Reduktion der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen zu verzeichnen, wobei allerdings die Häufigkeit der Schilddrüsenszintigraphie zugenommen hat. Andererseits werden neue Radiopharmaka eingesetzt, die zu einer Verringerung der Strahlenexposition bei einzelnen Untersuchungsarten führten. So konnte z. B. durch den Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI der Beitrag der Myokardszintigraphie zur Strahlenexposition deutlich reduziert werden.

Basierend auf Vorgaben internationaler Gremien für Referenzwerte strahlendiagnostischer Verfahren sind von Experten des Ausschusses "Strahlenschutz in der Medizin" der Strahlenschutzkommission Vorschläge für Referenzaktivitätswerte in der nuklearmedizinischen Diagnostik zusammengestellt worden.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung *(Evaluation in terms of radiation hygiene)*

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik beträgt etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr, wobei die Untersuchungshäufigkeit eine Zunahme von ca. 1% pro Jahr erkennen lässt. Der Beitrag der Nuklearmedizin ist mit 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr sehr gering. Die kollektive effektive Dosis durch medizinische Strahlenexposition liegt nominell in der Größenordnung von ca. 160.000 Personen-Sievert pro Jahr.

Eine strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenanwendungen muss vor allem berücksichtigen, dass diese Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Sie ist vielmehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patientinnen und Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ältere Personen wesentlich häufiger betroffen sind, aber auch eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere. Die Ermittlung der medizinischen Strahlenexpositionen beruht in der radiologischen Diagnostik auf dem Konzept der effektiven Dosis. Dieses Konzept ist nur anwendbar auf Strahlenexpositionen, bei denen deterministische Strahleneffekte weitgehend ausgeschlossen sind. Für die radiologische Diagnostik trifft dies auf Grund der hier typischerweise applizierten niedrigen Dosen zu. Völlig anders ist die Situation in der Strahlentherapie bzw. der nuklearmedizinischen Therapie. Hier werden die Patientinnen und Patienten mit hohen Strahlendosen exponiert und das Konzept der effektiven Dosis ist nicht mehr anwendbar. Wie in Kapitel 2.1 dargelegt, betrifft die therapeutische Anwendung im Vergleich zur radiologischen Diagnostik nur einen relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung.

Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patientinnen und Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Röntgenleistungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Erste Erkenntnisse brachte eine durch das BfS erhobene repräsentative Stichprobe aus Akutkrankenhäusern über die Altersverteilung stationärer Patientinnen und Patienten bei sieben Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik, die zusammen etwa 86% der kollektiven effektiven Dosis der stationären Röntgendiagnostik ausmachen. Unter Berücksichtigung der Altersverteilung sowie der damit verbundenen Strahlenempfindlichkeit ergibt sich bei vorsichtiger Risikoabschätzung für das untersuchte Patientenkollektiv ein Reduktionsfaktor von mindestens 0,6 bis 0,7 im Vergleich zu einer Abschätzung, die diese beiden Einflussgrößen nicht berücksichtigt. In Gesprächen mit den Spitzenverbänden der Kostenträger und der Ärzteschaft wurde dem BfS Mithilfe bei der weiteren Bearbeitung dieser Fragestellungen zugesichert. Das BfS hat sich bereit erklärt, die aus diesen Daten gewonnenen Ergebnisse insbesondere den Spitzenverbänden der Ärzteschaft zur Verfügung zu stellen, um dem überweisenden Arzt für eine veranlasste Röntgenleistung die Strahlenexposition der Patientin und des Patienten und das damit verbundene nominelle Risiko transparent werden zu lassen. Damit soll ein erster Schritt zur Umsetzung von Art. 6 Abs. 2 PatSRL 97/43/Euratom getan werden. Mit Ergebnissen ist allerdings nicht vor dem Jahr 2004 zu rechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf Röntgenuntersuchungen nicht verzichtet werden kann, und bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für den einzelnen Patienten und die einzelne Patientin gegenüber dem Nutzen für seine Gesundheit in den Hintergrund tritt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

Bei den alternativen Untersuchungen steht neben der Endoskopie die Sonographie im Vordergrund - eine Untersuchungsmethode, die auf der Anwendung von Ultraschall beruht (s. Tabelle 1.4-1). Demgegenüber spielt die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) zumindest in der letzten vorliegenden Erhebung aus dem

Jahr 1994 zahlenmäßig noch eine untergeordnete Rolle, wobei die jährliche Steigerungsrate mit +180% zwischen 1990 und 1994 jedoch erheblich ist. In der nächsten Erhebung, die für das kommende Jahr vorgesehen ist, ist deswegen mit einem deutlich veränderten Bild zu rechnen.

Tabelle 1.4-1 Häufigkeit von alternativen Untersuchungsverfahren im Jahr 1994
(*Frequency of application of alternative examination procedures in the year 1994*)

Untersuchungsart	Untersuchungen in Tausend			je 1000 Einwohner
	Ambulant	Stationär	Gesamt	
Sonographie	64700	13730	78430	963
Oberbauch	20230	7060	27290	335
Unterbauch	25620	940	26560	326
Mamma	2570	70	2640	32
Herz/Echokardiographie	2490	3030	5520	68
Gefäße/Dopplersonogr.	5390	1420	6810	84
Sonstige	8400	1210	9610	118
Endoskopie	13670	3500	17170	212
Bronchoskopie	60	180	240	3
Ösophago-/Gastroskopie	1960	1390	3350	41
Koloskopie	2650	660	3310	41
Zystoskopie	1080	280	1360	17
Arthroskopie	200	420	620	8
Sonstige	7720	570	8290	102
MR-Tomographie	1020	190	1210	15
ZNS	630	70	700	9
Sonstige	390	120	510	6

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder bis zu einigen Tesla. Durch die Einstrahlung von Radio-Pulsen in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Ein weiterer Vorteil gegenüber der CT ist, dass die Krankheitsherde in frei wählbaren Projektionsebenen dargestellt werden können. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahre 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, Mikrozirkulation und Stoffwechsel. 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 ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit Mehrschicht-CT.

1.5 Qualitätssicherung (*Quality assurance*)

Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1988 bewirkte eine Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik. Die Pflicht zur Befragung der Patientinnen und Patienten nach früheren Röntgenuntersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze hilft, und die Pflicht zur leihweisen Weitergabe von Röntgenbildern an nachbehandelnde Ärzte andererseits, führen zu einer Vermeidung von Doppel- und Wiederholungsuntersuchungen. Auch die konsequente Praktizierung und Verbesserung der Qualitätskontrolle und -sicherung in der Radiologie tragen dazu bei, dass die Strahlenexposition des Einzelnen im Rahmen der medizinischen Diagnostik optimal niedrig gehalten wird.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, der Belichtungsautomatik und die gepulste Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. Die dosisintensiveren radiologischen Verfahren CT und interventionelle Radiologie erhöhen über den Weg einer wesentlich genaueren und umfangreicheren Diagnosestellung bzw. den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen zwar die Strahlenexposition des einzelnen Patienten und der einzelnen Patientin, führen aber zu einer wesentlichen Verbesserung des Verhältnisses von Nutzen und Risiko. 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 Leitlinien für die Röntgendiagnostik wurden 1995 aktualisiert, die für die CT sind in Überarbeitung. Die ärztlichen Stellen nach § 16 Abs. 3 RÖV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass leichte und vor allem schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Eine weitere Maßnahme der Qualitätskontrolle ist die Einführung von diagnostischen Referenzwerten auf Grund der Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom. Es handelt sich hierbei nicht um Grenzwerte, sondern um Werte, die dazu dienen sollen, systematische Fehler bei denjenigen Ärzten herauszufinden, deren Patientendosiswerte beständig über dem Referenzwert liegen. Die Einführung wird mit Inkrafttreten der novellierten RÖV erfolgen. Einzelheiten sollen in der Richtlinie zur Qualitätssicherung nach § 16 RÖV geregelt werden. Das BfS, das nach dem Entwurf zur Novellierung der RÖV diagnostische Referenzwerte erstellen und veröffentlichen soll, hat bereits mehrere Expertengespräche durchgeführt, um die Einführung der diagnostischen Referenzwerte vorzubereiten.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch Vermeidung von Fehlbelichtungen bei Aufnahmetechniken als auch der strahlungsfreien Situationskontrolle bei Durchleuchtungen durch "Last Image Hold (LIH)". Eine Einsparung ist aber auch möglich, wenn bei geringerer Anforderung an die Bildqualität mit gezielt niedriger Dosis gearbeitet werden kann. Auch bei der CT zeichnet sich ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Mehrere Forschungsvorhaben wurden oder werden durchgeführt oder sind geplant, um festzustellen, wie weit bei CT-Untersuchungen die Exposition vermindert werden kann, um eine an die diagnostische Fragestellung angepasste Bildqualität zu erhalten. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken neue Anwendungsarten mit z. T. höheren Dosen, jedoch mit diagnostischen Aussagen, die bisher nicht zu erhalten waren.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder durch eine Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Dies darf aber keineswegs dazu führen, dass nicht fachkundige Ärzte oder medizinisch-technisches Personal Röntgenuntersuchungen ohne fachkundigen Arzt durchführen und dieser ausschließlich auf dem Weg der Datenleitung zur Befundung weit entfernt vom Patienten und von der Patientin tätig wird. Auch sind die Probleme der Qualität und Sicherheit der Datenübertragung noch nicht vollständig gelöst. Auch in der Teleradiologie muss weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl die Indikationsstellung als auch die 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 und Patientinnen herabzusetzen.

Weiterhin sind zwei neuere Röntgenverfahren von strahlenhygienischem Interesse, die digitale Volumentomographie zur Darstellung der Ober- und/oder Unterkieferregion in der Zahnmedizin sowie die 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Ähnlich der Computertomographie besitzen beide Techniken die Möglichkeit, Schichtaufnahmen zu erstellen und durch entsprechende Rekonstruktionsverfahren weiterzuverarbeiten. Die digitale Volumentomographie liegt mit einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv zwischen der konventionellen Panoramaschichtaufnahme und der Dental-CT. Die applizierte Dosis bei dem ISO-C-3D-Verfahren ist sehr stark abhängig von der OP-Situation, aber auch von der radiologischen Erfahrung des Chirurgen. Aus strahlenhygienischer Sicht ist dieser Punkt sicherlich problematisch, da dem Chirurgen hier ein Gerät an die Hand gegeben wird, für das er einerseits radiologisches

Wissen wie bei der CT besitzen sollte, um die benötigte Bildqualität mit einer möglichst geringen Dosis zu erzielen, für das aber andererseits die Zuordnung zur CT nicht eindeutig gegeben ist. Ähnlich ist die strahlenhygienische Bewertung bei der digitalen Volumentomographie im Bereich der Zahnmedizin zu sehen. Um bezüglich dieser beiden Verfahren die rechtliche Grundlagen für eine Qualitätssicherung zu schaffen, ist es notwendig, sie in die bestehenden Richt- und Leitlinien für die Röntgendiagnostik einzubeziehen sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.

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

2.1 Strahlentherapie *(Radiotherapy)*

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik findet die Strahlentherapie nur bei einem relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung Anwendung. Sie ist durch eine sehr hohe Strahlenexposition in einem kleinen Zielvolumen des Körpers charakterisiert. Zielsetzung ist es, die zur Vernichtung 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 der Diagnostik, Medizinischen Strahlenphysik, Strahlenbiologie und Informatik. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z. B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, stellt neue Herausforderungen an eine 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.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen, sog. ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megaelektronenvoltbereich erzeugt werden. Derzeit werden in Deutschland jährlich etwa 220.000 Patientinnen und Patienten mit ionisierender Strahlung behandelt. Davon entfallen etwa 200.000 auf die Teletherapie und 20.000 auf die Brachytherapie.

Röntgentherapieanlagen bis zu einer Energie von ca. 500 keV werden vorzugsweise für die Oberflächen-therapie eingesetzt, d. h. zur Behandlung von Hautkrankheiten sowie von entzündlichen oder degenerativen Skeletterkrankungen. Für die Strahlenbehandlung tiefliegender bösartiger Tumore sind sie nicht geeignet. Die dabei erzeugten Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z. B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass eine therapeutisch ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht würde.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Exposition 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 Strahlenschutztherapie (Radioonkologie) im Einzelnen sowie zu den Indikationen für eine Strahlentherapie eingegangen [1].

[1] Kurzgefasste Interdisziplinäre Leitlinien 2000, 3. Auflage: "Prinzipien der modernen Strahlentherapie (Radioonkologie)" (http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/on_radio.htm)

2.2 Nuklearmedizin, Therapie *(Therapeutic nuclear medicine applications)*

Die Radionuklidtherapie nutzt die Möglichkeit, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid I-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 1999 wurden etwa 60.000 Radiojodtherapien bösartiger und gutartiger Schilddrüsenerkrankungen mit I-131 durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung besonders schmerzhafter Gelenke, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um Krebszellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören [1].

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

ten. Im Einzelnen wird dabei jeweils eingegangen auf Zielsetzung, Definition, Indikation und Durchführung der Therapie sowie noch offene Fragen [2].

- [1] III. Münchner Nuklearmedizin-Symposium: Wo Nuklearmediziner, Onkologen und Radioonkologen sich treffen, 17. – 18. Sept. 1999, Veranstalter Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München (Direktor: Prof. Dr. med. K. Hahn), Nuklearmedizinische Klinik und Poliklinik, Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München (Direktor: Prof. Dr. med. M. Schwaiger) in Zusammenarbeit mit der Bayer. Landesärztekammer, Akademie für ärztliche Fortbildung
- [2] O. Schober, G. Lottes (Hrsg.): Empfehlungen zur klinischen Qualitätskontrolle in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie, Nuklearmedizin/Nuclear Medicine, 38. Jg. Heft 6a/99, Schattauer Verlag, Stuttgart, New York

3. Herzschrittmacher (Pacemakers)

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

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

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

Tabelle 3-1 enthält die Anzahl der seit 1971 gemeldeten Implantationen und Explantationen für Herzschrittmacher mit Plutonium-238. Alle Herzschrittmacher mit Promethium-147 sind bereits explantiert. Die bisher bekannten übrigen Daten (Altersgruppe, Tragedauer und Explantationsursache) sind im Jahresbericht 1989 aufgeführt.

Tabelle 3-1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen
(Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources)

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	0	12 a)
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1984	0	15
1985	0	18

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	8
1991	0	3
1992	0	5
1993	0	1
1994	0	3
1995	0	1
1996	0	3
1997	0	1
1998	0	3
1999	0	0
2000	0	2
2001	0	2
Gesamt	282	260

a) 1HSM in Kambodscha verschollen

4. Medizinische Forschung (Medical Research)

Eine systematische Arzneimittel- bzw. Heilmethodenforschung ist aus medizinischen, ethischen sowie gesundheitspolitischen Gründen unerlässlich. Ein neu entwickeltes Arzneimittel, Medizinprodukt oder eine neue Heilmethode muss auf dem Weg zur allgemeinen Anwendung eine präklinische und klinische Prüfung durchlaufen. In der klinischen Prüfung wird untersucht, ob ein Arzneimittel zugelassen wird, ein Medizinprodukt eine Zertifizierung erhält oder eine Diagnose- oder Therapiemethode allgemein anerkannt wird.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung war bis zum 31. Juli des Berichtsjahres in § 41 StrlSchV (alt) geregelt. In der zum 1. August des Berichtsjahres in Kraft getretenen novellierten StrlSchV ist diese Anwendung in den §§ 23 und 24 in Verbindung mit den §§ 87 - 92 neu geregelt.

Die Durchführung von Röntgenuntersuchungen am Menschen in der medizinischen Forschung ist weiterhin in § 24 Abs. 2 der im Berichtsjahr geltenden RöV geregelt. Bei der Genehmigung zur Anwendung von Röntgenstrahlen sind die einschlägigen Vorschriften der StrlSchV sinngemäß anzuwenden; Rechtsgrundlage ist die Möglichkeit, nach § 17 Abs. 1 Satz 2 AtG Genehmigungen mit Auflagen zu verbinden.

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

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

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

Die novellierte StrlSchV bringt für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in den §§ 23 und 24 in Verbindung mit den §§ 87 – 92 folgende wesentliche Änderungen mit sich:

- Für die Genehmigung zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist nicht mehr die nach Landesrecht zuständige Behörde, sondern das BfS zuständig. Damit ist das bisherige Doppelverfahren, nämlich die Begutachtung durch das BfS gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) als eine Voraussetzung für die anschließende Genehmigung durch die zuständige Landesbehörde, nunmehr durch ein einstufiges Verfahren ersetzt. Die Strahlenschutzaufsicht verbleibt im Zuständigkeitsbereich der Länder.
- Der Grenzwert der effektiven Dosis für Probanden liegt nun bei 20 mSv (effektive Dosis bisher 50 mSv). Dieser Wert kann für Probanden, die Patienten und Patientinnen sind, überschritten werden, sofern sich für diese dadurch ein diagnostischer Nutzen ergibt. Für gesunde Probanden ist eine Strahlenexposition über 20 mSv in keinem Fall zulässig.
- Probanden in der Strahlentherapie unterliegen keiner Dosis-Grenzwert-Regelung.
- An geschäftsunfähigen oder beschränkt geschäftsfähigen Probanden ist die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen nunmehr zulässig, jedoch nur, wenn das Forschungsziel auf andere Weise nicht erreicht werden kann, die Anwendung gleichzeitig der Untersuchung oder Behandlung des Probanden dient und die Zustimmung durch den gesetzlichen Vertreter gegeben ist. Dies war bisher nicht möglich.
- Nicht nur wie bisher nach ärztlichem Standesrecht, sondern auch nach Strahlenschutzrecht, ist gemäß § 24 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV die Stellungnahme einer Ethikkommission nach § 92 StrlSchV für die Genehmigung erforderlich.

4.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen 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 Strahlen 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 ist u. a. die Biokinetik bzw. der Metabolismus des Arzneimittels im menschlichen Organismus, d. h. es müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- In welche Körperregionen oder Organe gelangt das Arzneimittel?
- Wo und wie wird es im Organismus abgebaut?
- Welche Umwandlungsprodukte (Metabolite) entstehen?
- 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 der klinischen Prüfung der Biokinetik eines Arzneimittels oft notwendig, dieses Arzneimittel radioaktiv markiert an Probanden zu verabreichen.

Im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln können sich auch Fragestellungen ergeben, die nur unter Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zu beantworten sind, wobei das zu prüfende Arzneimittel selbst nicht radioaktiv bzw. nicht radioaktiv markiert ist. Daneben unterliegen auch radioaktive Arzneimittel einer klinischen Prüfung.

Um Normalwerte bzw. Normalbefunde zu erhalten, kann es notwendig sein, diese beiden zuletzt genannten Arten der Untersuchung ebenfalls an gesunden Probanden vorzunehmen.

4.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung *(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)*

Häufig ist die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zur Klärung pathophysiologischer-/biochemischer Fragestellungen bzw. im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln (Phase I - IV) an Patientinnen und Patienten notwendig, wobei entweder ein radioaktives Arzneimittel geprüft wird oder zur Prüfung eines nicht radioaktiven Arzneimittels radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlen angewandt werden müssen.

4.3 Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 24 Abs. 2 RöV *(Application of x-rays on humans in medical research according to article 24 subsection 2 RöV)*

Seit Inkrafttreten der Röntgenverordnung im Jahr 1988 ist die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen nur in Ausübung der Heilkunde erlaubt, oder wenn ein Gesetz die Anwendung vorsieht oder zulässt. Andere Anwendungen bedürfen der besonderen Genehmigung nach § 24 Abs. 2 RöV. Die Anwendung von Röntgenstrahlung in der medizinischen Forschung fällt unter diese Genehmigungspflicht, soweit das Ziel der Röntgenstrahlenanwendung wissenschaftlicher Gewinn ist. Eine Anwendung in der Forschung ist dann gegeben, wenn ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der üblichen medizinischen Versorgung durchgeführt werden und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungsbedürftig.

Im Jahr 2001 hat sich die Zahl der Gutachten weiter deutlich erhöht, nämlich auf 41. Es wurden wiederum bezüglich der Zahl der Studien hauptsächlich Anträge zur Knochendichtemessung, z. T. mit gleichzeitiger Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule gestellt (s. Tabelle 4.3-1). Die erhebliche Zunahme der Probandenzahl und der kollektiven effektiven Dosis sind durch 2 Studien zum Screening bedingt, und zwar das Pilotprojekt zur Brustkrebsfrüherkennung und ein Programm zur Dünnschicht-CT der Lunge bei der arbeitsmedizinischen Asbestnachsorge. Die kollektive effektive Dosis durch die zwei genannten Studien liegt in der Größenordnung von ca. 77,2 Personen-Sievert für die Laufzeit der Studien. Außerdem wurden vermehrt Anträge zu verschiedenen CT-Untersuchungen gestellt, die systembedingt mit relativ hohen Einzeldosen verbunden sind. Weitergeführt wurden Forschungen mit dem Elektronenstrahl-Computertomographen (EBCT) zur Herzuntersuchung. Für die Jahre 1991 bis 2001 sind in Tabelle 4.3-1 jeweils die Anzahl der Gutachten mit Untersuchungsart, die mittlere effektive Dosis je Proband und die Anzahl der Probanden sowie der Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis aufgeführt. Studienanträge, die negativ begutachtet, nicht genehmigt oder nicht durchgeführt wurden, sind nicht aufgelistet, ebensowenig Ergänzungsgutachten, die wegen einer Verlängerung der Studie, Änderung der Probandenzahl oder Änderung der Teilnehmer bei multizentrischen Studien notwendig waren.

Tabelle 4.3-1 Gutachten des BfS über Anträge auf Genehmigung der Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung
(*BfS expert reports on licensing applications for the use of x-rays in medical research on humans*)

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv, gerundet)
1991	4	Knochendichtemessung	0,02	1180	0,024
	2	Knochendichtemessung	1,1	6500	7,15
	1	Rö. Brust- und Lendenwirbelsäule seitl. Bein-Phlebogramm	1	40	0,04
Summe	7			7720	7,2
1992	4	Knochendichtemessung	0,002	5200	0,01
	2	Thorax	0,06	320	0,019
	1	DL Duodenalsonde	0,25	20	0,005
	1	Lendenwirbelsäule	1	200	0,2
	2	Bein-Phlebogramm	2	850	1,7
Summe	10			6590	1,9
1993	2	Knochendichtemessung	0,002	360	0,001
	1	Schädel-CT	2,5	100	0,25
	1	Rö.-Aufn. Brust- und Lendenwirbelsäule und Knochendichtemessung	1	4500	4,5
Summe	4			4960	4,8
1994	2	Rö.-Aufn. Brust- und Lendenwirbelsäule und Knochendichtemessung	6,3	330	2,1
	1	Oberschenkel - CT	0,001	110	< 0,001
	1	Bein-Arteriographie ^{c)}	10	50	0,5
	3	Becken-Bein-Phlebographie	2	1270	2,54
Summe	7			1760	5,1
1995	2	Knochendichtemessung	0,016	380	0,006
	1	Knochendichtemessung und Rö. -Aufn. der Wirbelsäule	6	500	3
	2	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	1,34	7	0,009
	1	Kieferpanorama	0,01	300	0,003
	1	CT-Thorax	3	100	0,3
Summe	7			1287	3,3

(Fortsetzung Tabelle)

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv, gerundet)	
1996	1	Knochendichtemessung	0,005	180	0,001	
	3	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	3	1680	5,04	
	1	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	0,5	6	0,003	
	1	Digitale Mammographie	1	400	0,4	
	1	Bein-Becken-Phlebographie	1	250	0,25	
	1	Koronarangiographie ^{c)}	15	550	8,25	
	1	CT-Schädel (2 Schichten)	0,2	400	0,08	
Summe	9			3466	14,0	
1997	6	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	1,16	280	0,326	
	3	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	4,23	292	1,234	
	4	Schädel, Kieferpanorama	0,015	1790	0,027	
	1	Rö. bd. Hände	4,1	200	0,82	
	2	Skelettszintigramm (§ 41 StrlSchV)				
	2	Bein-Becken-Phlebographie	0,5	1500	0,75	
	1	Koronarangiographie ^{c)}	5	24	0,12	
Summe	17			4086	3,3	
1998	8	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,026	1215	0,031	
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	0,7	120	0,084	
	4	Mammographie	1	1340	1,34	
	2	Digitale Radiographie (Thorax, Skelett)	1,61	250	0,403	
	2	Bein-Becken-Phlebographie	0,5	800	0,4	
	1	Computertomographie / EBCT	0,86	150	0,129	
	Summe	18		0,62 ^{d)}	3875	2,4
1999	2	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,94	300	0,281	
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	1,2	1200	1,440	
	1	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	4	60	0,240	
	2	Knochendichtemessung und Mammographie	0,5	178	0,089	
	1	Rö.-Aufn. Hand	0,2	100	0,02	
	1	Rö.-Aufn. Stereometrie d. Hüfte	0,45	60	0,027	
	1	Rö.-Aufn. Thorax pa und Skelettstatus ^{c)}	22	100	2,2	
	4	Koronarangiographie ^{c)}	3,11	780	2,426	
	3	Bein-Becken-Phlebographie	0,45	940	0,423	
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,28	400	0,112	
	1	EBCT Herz	1,0	80	0,08	
	1	Rö.-Aufn. Zahn	0,05	100	0,005	
	Summe	19		1,71 ^{d)}	4298	7,3
	2000	14	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,0127	1880	0,024

(Fortsetzung Tabelle)

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv, gerundet)
	2	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	3,5	285	0,998
	1	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	2,5	120	0,30
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufnahmen Hand	0,1	60	0,006
	2	Knochendichtemessung und CT Wirbelsäule	8,925	159	1,419
	1	Rö.-Aufn. NNH	0,1	250	0,025
	2	Rö.-Aufn. Hand, Unterarm, Unterschenkel	0,06	120	0,007
	2	Rö.-Aufn. Hüfte und Knie	0,2	360	0,065
	1	Arm-Schulter-Phlebographie	0,65	140	0,091
	1	MS-CT Herz	1,8	100	0,18
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,2	30	0,006
	2	EBCT Herz	0,84	4300	3,612
Summe	30		0,95 ^{d)}	7084	6,7
2001	9	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,025	792	0,02
	6	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	2,537	1204	3,055
	3	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	8,41	265	2,229
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufnahme Hand	0,85	40	0,034
	1	Rö.-Aufn. Hand	0,002	110	0,0002
	1	Rö.-Aufn. Thorax pa, Extremitäten und Mammographie	0,8	30	0,024
	1	digitale Mammographie	0,1	100	0,01
	3	Mammographie	1,096	280	0,307
	1	Mammographie-Screening	0,2	196000	39,2
	1	Angiographie im Kopfbereich ^{c)}	0,5	30	0,015
	1	Bein-Becken-Phlebographie	1	535	0,535
	1	Niedrigstdosis-CT Thorax (Diagnostik)	0,3	256	0,077
	1	Niedrigstdosis-CT Thorax (Screening)	4,75	8000	38
	6	CT Thorax/Abdomen	4,494	1922	8,638
	3	EBCT Herz	1,98	540	1,069
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,5	28	0,014
	1	Abdomen-Durchleuchtung	0,9	384	0,346
Summe	41		0,44 ^{d)}	210516	93,6

- a) Die unterschiedlichen mittleren Dosiswerte je Proband bei gleichen Untersuchungsarten ergeben sich aus unterschiedlichen Durchführungsarten der Untersuchungen und der Anzahl der Messungen bzw. Aufnahmen je Studie
- b) Die kollektive effektive Dosis in Personen-Sievert entspricht nicht der tatsächlichen Jahresdosis in dem Berichtsjahr, da sich die Studien oft über mehrere Jahre erstrecken. Diese Ungenauigkeit gleicht sich jedoch bei mehrjähriger Betrachtung weitgehend aus
- c) Die Untersuchungen waren größtenteils klinisch indiziert und mit einem diagnostischem Nutzen für die Patientinnen und Patienten verbunden
- d) gewichteter Mittelwert

TEIL V

UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDEN STRAHLEN

(The handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin und dem Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport, Salzgitter

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

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

1.1 Einleitung (*Introduction*)

Nach § 3 Atomgesetz (AtG) bedarf derjenige, der Kernbrennstoffe ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung bzw. die Anwendbarkeit des Anzeigeverfahrens bei der Ein- und Ausfuhr sonstiger radioaktiver Stoffe sind in den §§ 19-22 der StrlSchV festgelegt. Die Vorschriften entsprechen den bisherigen §§ 11-14 StrlSch a.F.. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhr genehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

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

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren (*Legal basis and procedures*)

Kernbrennstoffe

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

Sonstige radioaktive Stoffe, radioaktive Abfälle

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

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

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

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird der zuständigen Zolldienststelle vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben übereinstimmend sind. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA übersandt wird. Mit Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung; daher ist die entsprechende Ein- bzw. Ausfuhranzeige innerhalb einer Woche nach Verbringung direkt dem BAFA zu übersenden.

Genehmigungsverfahren

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

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

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

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht

Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)

EU-Dual-Use-Verordnung

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

Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der Mitgliedsstaaten zu verbessern. Die Verordnung gilt nicht für

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

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 92/3/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese in einen anderen Mitgliedstaat verbracht hat, macht den zuständigen Behörden des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende eine Anzeige. Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss der Empfänger seiner zuständigen Behörde zusätzlich vorher ankündigen, wobei sich diese Erklärung auch auf mehrere Verbringungen erstrecken kann. Die Verbringung darf in jedem Fall erst durchgeführt werden, wenn der Empfänger der radioaktiven Stoffe dem Besitzer die behördlich bestätigte Erklärung zugeleitet hat.

Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35 vom 12. Februar 1992)

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

Eine Richtlinie des Rates ist zunächst nicht direkt in den Mitgliedstaaten geltendes Recht; sie muss erst von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden. Wegen einer fehlenden Ermächtigungsgrundlage konnte die Umsetzung in der Bundesrepublik Deutschland zunächst nicht erfolgen, sie wurde allerdings ersatzweise durch eine entsprechende Verwaltungsvorschrift vorweggenommen.

Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31.07.1998 (BGBl. I, Seite 1918)

Die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung setzt die Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle in nationales Recht um. Die Richtlinie diente der Kompensation des Wegfalls von Kontrollen an den Binnengrenzen der Europäischen Gemeinschaften und vereinheitlicht die Anforderungen für die Einfuhr aus Drittländern und Ausfuhr in Drittländer, die nicht Mitglied der Europäischen Gemeinschaft sind.

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen. Die Verordnung bedurfte dann noch der Zustimmung des Bundesrates, die dieser am 8. Mai 1998 mit geringfügigen Änderungen zu der vom Bundeskabinett am 28. August 1997 beschlossenen Verordnung erteilt hat. Mit Inkrafttreten der AtAV entfällt für die nach dieser Verordnung abzuwickelnden Verbringungen die Anwendung der Strahlenschutzverordnung (§ 19) für radioaktive Abfälle. Dieser Umstand ist nunmehr nach Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 in den §§ 19-22 StrlSchV berücksichtigt worden, indem die radioaktiven Abfälle aus dem Regelungsbereich ausgenommen wurden.

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

Am 01.08.2001 ist die Neufassung der Strahlenschutzverordnung in Kraft getreten. Darin ist das Anzeigeverfahren nach § 12 Abs. 3 entfallen, stattdessen sind mit § 108 der neuen Verordnung Genehmigungspflichtigen eingeführt worden, welche jedoch nicht von einem Meldeverfahren begleitet werden sollen.

Die einschneidendste Änderung liegt jedoch im Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen sonstiger radioaktiver Stoffe. Die vorliegende Statistik enthält daher ab dem 01.08.2001 hierüber keine Daten mehr.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 58 Einfuhr- und 104 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 33 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 11 bzw. 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

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

Im gleichen Jahr gingen 92.570 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 3 und 1 StrlSchV und 23.239 Ausfuhranzeigen nach § 20 Abs. 2 StrlSchV (bezogen auf die Anzahl der gelieferten Einheiten) ein. Das BAFA erhielt keine Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 3 StrlSchV mehr. Die Zahl der bearbeiteten Belege ging aus den eingangs genannten Gründen spürbar zurück.

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1984 bis 2001 geben die Tabellen 1.3-1 und 1.3-2.

Tabelle 1.3-1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland
(*Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany*)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungs- proben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1985	4 740 823	25 700	28 103 121	32 869 644	2 650 716
1986	6 898 702	482 006	75 665 995	83 046 703	2 550 506
1987	2 819 826	9 415	22 601 222	25 430 463	3 164 497
1988	3 847 911	65 858	60 575 600	64 489 369	2 139 796
1989	2 399 272	103 372	90 816 100	93 318 744	1 508 501
1990	2 682 529	319 142	61 850 900	64 852 571	2 206 300
1991	3 040 547	72 469	102 929 300	106 042 316	1 461 661
1992	4 470 768	1 470 922	31 326 500	37 268 190	1 742 521
1993	3 227 143	2 546 470	23 330 800	29 104 413	2 306 737
1994	1 911 797	1 072 513	71 315 900	74 300 210	1 999 972
1995	4 686 926	72 629	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	51 948	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

* inklusive sonstige radioaktive Stoffe

Tabelle 1.3-2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland
(*Export of radioactive materials from the Federal Republic of Germany*)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungs- proben (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamt- ausfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt u. bestrahlt) (kg)
1985	4 586 528	57	4 469 100	9 055 685	1 876 471
1986	2 889 014	0	4 405 200	7 294 214	5 665 746
1987	1 536 731	228 910	3 692 900	5 458 541	2 090 991
1988	3 001 859	11	3 372 000	6 373 870	2 457 445
1989	765 723	97	2 548 600	3 314 420	5 024 837
1990	1 511 312	17 808	2 499 700	4 028 820	2 800 495
1991	651 462	244	12 399 100	13 050 806	8 164 086
1992	2 015 066	27	5 994 200	8 009 293	2 990 557
1993	2 365 740	0	3 063 200	5 428 940	2 983 893
1994	1 447 018	98	2 137 812	3 584 928	2 078 477
1995	1 088 060	22 201	5 702 702	6 812 963	1 657 725
1996	960 351	1 335	3 009 100	3 970 786	2 146 830
1997	392 404	22	2 146 212	2 538 638	3 550 137
1998	550 637	25 044	2 333 673	2 909 354	3 133 196
1999	711 403	81	1 705 422	2 424 966*	3 257 216
2000	828 677	94	3 001 795	3 838 040*	2 719 502
2001	548.627	23	1.122.457	1.671.185*	3.228.135

* inklusive sonstige radioaktive Stoffe

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) ist wegen der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq auf weniger als die Hälfte um dieselbe Größenordnung gefallen.

- Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen ist wieder ein Anstieg um 31,3 % zu verzeichnen, welcher sich im Wesentlichen bei Natururan wieder findet. Bestrahltes Material war mit 14 kg vertreten.
- Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden deutlich weniger eingeführt.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq nahm im Jahr 2001 wieder auf weniger als die Hälfte ab, hauptsächlich wegen der Abnahme bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq auf gut ein Drittel des Vorjahres.

- Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden auch 2001 nicht in signifikanten Mengen ausgeführt.
- Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt) und Ausgangsstoffen ist gegenüber dem Vorjahr wieder ein Anstieg um 12,1 % festzustellen. Bestrahltes Material ist durch die Wiederaufnahme der Beförderungen bestrahlter Brennelemente auch wieder in relevanten Mengen ausgeführt worden; siehe dazu Tabelle 1.5-4)

1.4 Einfuhrstatistik (Import statistics)

Einfuhr Offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.4-1 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq und Bestrahlungsproben sowie sonstige radioaktive Gemische.

Die Gesamteinfuhr hat gegenüber dem Vorjahr bei ähnlicher Verteilung auf die Einzelnuclide um 21,6 % nachgelassen, was auf den Wegfall der Meldungen für innergemeinschaftliche Verbringungen seit 01.08.2001 zurückzuführen sein dürfte. Pd-103, In-111, Gd-153 und Po-210 kamen hinzu, während I-123, Xe-133 und Re-186 deutlich unter 1.000 GBq lagen und somit nicht aufgeführt sind.

Die Radionuklide Co-60, Mo-99, I-131 und Ir-192 machen an der Gesamteinfuhr bereits einen Anteil von fast 86 % aus, wobei Ir-192 den größten Einzelposten darstellt.

Die Einfuhr von Tritium-Gaslichtquellen hat wieder zugenommen von 67.154 GBq (2000) auf 74.251 GBq (2001), wobei der größte Einzelposten wieder das Lieferland Schweiz mit diesmal 70.929 GBq ist.

H-3-Leuchtmasse (ohne Leuchtfarbe auf Zeigern u. Zifferblättern) wurde in 2001 nur wenig eingeführt; nämlich 14,8 GBq ebenfalls aus der Schweiz.

Tabelle 1.4-1 Aktivität der 2001 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year - 2001 without sources at levels of above 1850 GBq)

Versenderland	Aktivitäten in GBq										
	H-3	C-14	P-32	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	Pd-103
Frankreich	124	1	0	226	1	0	67	114	1 439	97 044	0
Belgien	62	164	134	1 979	3	1 111	7	0	65	77 026	0
Niederlande	0	0	19	14	7	0	7	0	1	106 213	51
Dänemark	0	0	0	0	7	2 350	11	0	0	0	0
Italien	11	0	0	1 307	17	0	172	0	0	23 365	0
Spanien	0	0	0	4	12	0	38	0	0	0	0
Österreich	0	0	0	0	0	1 300	0	1	0	0	1
Schweden	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Großbritannien	151	6 404	211	379	1 897	1 505	28 416	1 728	972	51 606	0
Norwegen	0	0	0	0	1	2 667	10	0	0	0	0
Schweiz	71 070	7	0	3	23	4 586	15	105	30	0	0
USA	141	213	1572	2	254	0	812	387	0	0	11
Kanada	0	0	0	221 191	0	0	0	0	0	0	37
Neuseeland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Japan	0	0	0	0	0	0	7	18	0	0	0
Ungarn	0	1	263	0	1	0	4	0	0	0	0
Russland	9	119	19	12 190	2 856	7 500	0	11 675	0	0	3 454
Belarus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tschechien	0	0	0	1	0	1 624	3 483	0	0	654	0
Polen	0	0	0	0	1	755	0	0	0	0	0
Südkorea	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Südafrika	0	0	1 536	0	0	0	0	0	0	0	0
Brasilien	0	0	0	0	0	74	0	0	0	0	0
Slowenien	0	0	0	400	0	0	3	0	0	0	0
Israel	2 846	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige	457	2	0	232	1	721	265	1	0	0	0
Summe 2001	74 876	6 911	3 754	237 928	5 083	24 193	33 317	14 029	2 507	355 908	3 554
Summe 2000	73 028	7 649	1 311	227 867	5 010	32 311	5 402	4.525	5 917	559 878	-

(Fortsetzung Tabelle)

Versender- land	Aktivitäten in GBq											Summe
	In-111	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Gd-153	Ir-192	Tl-201	Po-210	Am-241	Sonst.	
Frankreich	1	860	183	466	0	0	763	1 177	0	99	1 251	103 816
Belgien	7	62	179 778	0	0	0	209 283	2 227	0	0	486	472 394
Niederlande	284	0	10 573	20	0	0	278 178	1 786	0	0	1 958	399 111
Dänemark	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2 368
Italien	0	4	0	17	15	0	228	0	0	110	7	25 253
Spanien	0	0	0	0	4	0	1 022	0	0	3	1	1 084
Österreich	0	0	0	0	0	0	701	0	0	1	11	2 015
Schweden	0	4 593	0	0	0	0	15	0	0	0	0	4 610
Großbritan.	18	239	16	3 312	18	370	0	377	3 240	1 820	1 525	104 204
Norwegen	0	0	0	0	0	0	1 173	0	0	0	0	3 851
Schweiz	0	58	0	77	8.703	0	14 811	0	0	22	4	99 514
USA	0	2 060	0	57	33	660	47 193	0	9	1 689	916	56 009
Kanada	1 579	188	0	0	0	0	437	0	0	0	0	223 432
Neuseeland	0	0	0	3	0	0	1 462	0	0	0	0	1 465
Japan	0	2	0	0	0	0	6 890	0	0	0	1	6 918
Ungarn	0	10	0	0	0	0	2 694	0	0	0	147	3 120
Russland	0	3 552	389	3 736	0	1.723	18 600	0	0	1	90	65 913
Belarus	0	0	0	0	0	0	2 707	0	0	0	0	2 707
Tschechien	0	0	0	1.152	0	3	999	0	0	3 436	1	11 353
Polen	0	0	0	127	0	0	5 751	0	0	1 190	1	7 825
Südkorea	0	0	0	555	0	0	1 742	0	0	0	0	2 302
Südafrika	0	740	5 366	0	0	0	378	0	0	0	95	8 115
Brasilien	0	0	0	0	0	0	868	0	0	0	0	942
Slowenien	0	0	0	0	0	0	1 415	0	0	0	0	1 818
Israel	0	0	0	0	0	0	244	0	0	0	1	3 091
Sonstige	0	189	0	159	60	1	6 234	0	0	140	88	8 550
Summe 2001	1 889	12 557	196 305	9 681	8 833	2 757	603 788	5 567	3 249	8 511	6 583	1 621 780
Summe 2000	19 071	5 647	249 654	17 714	17 735	-	814 849	8 647	-	6 759	7 303	2 070 200

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.4-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137 und Ir-192.

Die Einfuhr hat 2001 im Vergleich zum Vorjahr wieder deutlich abgenommen.

Die Gesamtaktivität betrug in 2000 noch 59.094.344 GBq und 25.840.589 GBq in 2001 bei ebenfalls etwas gesunkener Stückzahl (2000: 898, 2001: 761).

Der größte Einzelposten liegt wieder bei Co-60 mit 91,8% der Gesamtaktivität (2000: 95,1%).

Der Hauptgrund für die Abnahme liegt bei Vergleich mit dem Vorjahr weniger am o. g. Wegfall der Meldungen innergemeinschaftlicher Verbringungen, sondern eher an den deutlichen Rückgängen der Lieferungen aus Russland und Kanada.

**Tabelle 1.4-2 Aktivität der 2001 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2001 with levels of above 1850 GBq)**

Versenderland	Aktivitäten in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Frankreich	92 000	0	66 200	0	158 200
Belgien	6 800	5 960	0	993 997	1 006 757
Niederlande	0	0	0	65 480	65 480
Großbritannien	7 654 200	0	9 700	0	7 663 900
Italien	115 200	0	0	0	115 200
Griechenland	0	0	15 700	0	15 700
Schweiz	304 800	0	0	9 667	314 467
USA	0	0	0	184 985	184 985
Kanada	563 900	0	22 600	0	586 500
Russland	14 932 700	719 300	13 100	2 900	15 668 000
Kuwait	48 100	0	0	0	48 100
Iran	0	0	11 300	0	11 300
Brasilien	2 000	0	0	0	2 000
Summe 2001	23 719 700	725 260	138 600	1 257 029	25 840 589
Stückzahl	84	202	10	465	761
Summe 2000	56 181 931	699 989	877 500	1 334 924	59 094 344

Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.4-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2001 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein Anstieg um 31,3% festzustellen. Mengemäßige Schwerpunkte liegen wie üblich bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235.

An bestrahlten Kernbrennstoffen wurden in 2001 nur 14 kg eingeführt.

**Tabelle 1.4-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 2001
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2001)**

Versenderland	Mit U-235 angereichertes Uran							Summe
	abger. Uran	Natururan	bis 3% U-235	>3-10% U-235	20-85% U-235	Plutonium	Thorium	
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
Frankreich	6 892	514 452	0	81 441	0	0	1 904	604 689
Belgien	60 706	8 114	409	72 511	0	4 494 ¹⁾	0	146 234
Niederlande	0	186	12 148	50 056	0	0	0	62 390
Großbritannien	3 622	900 189	2 736	55 876	12 ²⁾	528 ³⁾	0	962 963
Schweden	0	1 262	0	49 667	0	0	0	50 929
Spanien	0	564	0	17 262	0	0	0	17 826
Schweiz	0	0	0	0	0	0	154	154
Tschechien	9	0	0	0	0	0	0	9
USA	165	775 166	3 745	14 494	0	0	0	793 570
Kanada	0	385 082	0	0	0	0	0	385 082
Russland	0	101 001	0	79 701	0	0	0	180 702
China	0	0	0	7 234	0	0	0	7 234
Summe 2001	71 394	2 686 016	19 038	428 242	12	5 022	2 058	3 211 782
Summe 2000	29 151	1 977 373	15 974	419 133	6	3 023	1 495	2 446 259

1) Unbestrahlte MOX-Elemente

2) Uran-Auminium-Brennelemente für den Forschungsreaktor Jülich

3) Rücknahme von Brennelementen aus der Wiederaufbereitungsanlage Dounreay (GB). Die Brennelemente waren ursprünglich für das KKW Kalkar vorgesehen

1.5 Ausfuhr (Export statistics)

Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr lt. Tabelle 1.5-1 nahm von 828.677 GBq (2000) hauptsächlich wegen des bereits erwähnten Wegfalls der Meldepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen relativ gleichmäßig über alle Nuklide verteilt wieder ab um 33,8% auf 548.627 GBq (2001).

Mit 86,5% bilden die fünf Radionuklide H-3, Se-75, Mo-99, I-131 und Ir-192 bereits den größten Anteil der insgesamt ausgeführten Aktivität, wobei der mächtigste Einzelposten wieder Ir-192 ist. F-18, ein mit nur 110 min Halbwertszeit recht kurzlebige Nuklid, wurde auch 2001 nur in unsere Nachbarländer Österreich und die Schweiz verbracht.

2001 ist nur unwesentlich mehr Tritium in Form von Gaslichtquellen ausgeführt worden, nämlich 65.849 GBq gegenüber 65.680 GBq im Jahr 2000, wobei der größte Anteil mit 48.057 GBq wieder in die USA geliefert worden ist.

An Leuchtmasse war es im Berichtszeitraum 13,6 GBq Tritium sowie 7,4 GBq Pm-147.

Tabelle 1.5-1 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2001
(Export of sealed and unsealed radionuclides without radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2001)

Verbraucherland	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Mo-99	I-123
Frankreich	79	0	0	318	9	0	54	79	0	0
Belgien	12	0	0	5 573	3	1 792	29	1	922	0
Luxemburg	0	0	0	0	0	1 800	12	0	0	0
Niederlande	159	1	0	1	11	0	25	0	5 569	0
Italien	11	0	0	1	88	858	106	1	117	89
Großbritannien	387	17	0	8	4 149	6 306	106	5	4 384	0
Finnland	30	0	0	24	4	0	176	4	0	0
Dänemark	3 383	0	0	0	7	0	12	0	0	0
Schweden	635	0	0	2	16	0	4	0	0	0
Österreich	1	0	269	12	1	1 400	332	0	0	661
Griechenland	0	0	0	2	1	0	18	4	0	0
Spanien	59	0	0	5	28	0	37	0	0	0
Schweiz	5 217	4	6 109	4	67	1 110	1 218	41	0	0
Norwegen	585	0	0	26	2	0	29	0	0	0
USA	48 072	3 990	0	531	598	0	5 668	2 905	0	0
Kanada	212	0	0	23	3	0	7	0	0	0
Australien	348	0	0	0	2	0	206	0	0	0
Türkei	90	0	0	30	2	0	14	4	0	0
Japan	0	15	0	0	0	0	450	6	0	0
Tschechien	0	0	0	0	16	0	383	0	5 391	25
Slowakei	212	0	0	2	1	0	0	2	2 023	4
Polen	0	0	0	8	8	0	6	2	4 204	0
Ungarn	0	0	0	0	10	0	61	0	0	0
Russland	0	0	0	0	2	69 355	188	0	0	0
Kuwait	40	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Südkorea	315	0	0	84	0	0	90	4	0	0
Slowenien	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0
Brasilien	0	1	0	5	0	0	6	0	0	0
Singapur	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Thailand	242	0	0	0	0	0	1 336	0	0	0
Taiwan	0	0	0	212	0	0	0	0	0	0
Indien	0	0	0	1	0	0	526	0	0	0
Südafrika	0	0	0	0	1	0	13	0	0	0
Israel	5 800	0	0	0	3	0	0	5	0	0
Sonstige	30	1	0	194	24	0	1 176	23	0	0
Summe 2001	65 919	4 029	6 378	7 066	5 060	82 621	12 291	3 086	22 610	779
Summe 2000	70 205	4 520	2 443	3 829	1 279	105 333	7 392	1 664	27 035	1 159

(Fortsetzung Tabelle)

Verbraucherland	Aktivität in GBq								Summe
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Gd-153	Ir-192	Am-241	Sonstige	
Frankreich	500	0	536	8	0	9 641	69	9	11 302
Belgien	221	6 261	256	0	27	9 341	10	24	24 472
Luxemburg	0	0	0	0	6	851	0	1	2 670
Niederlande	61	2 570	60	4	3	31 622	15	759	40 860
Italien	29	1 295	3 339	46	3	4 681	19	20	10 703
Großbritannien	0	17 900	64	1 199	26	1 947	201	111	36 810
Finnland	0	190	129	114	12	1 480	54	54	2 271
Dänemark	0	0	0	0	3	1 122	15	5	4 547
Schweden	0	59	38	22	9	1 700	14	3	2 502
Österreich	5	1 136	17	4	15	3 230	41	114	7 238
Griechenland	14	0	118	0	0	11 070	0	1	11 228
Spanien	2	20 616	14	0	19	3 273	5	38	24 096
Schweiz	2	0	7	5	10	11 652	11	50	25 507
Norwegen	0	0	229	12	0	2 182	0	8	3 073
USA	2 467	0	4 780	3 837	652	9 247	36	644	83 427
Kanada	0	0	13	25	0	2 938	26	3	3 250
Australien	0	0	45	0	13	1 921	3	2	2 540
Türkei	0	19	384	25	59	2 540	4	18	3 189
Japan	0	0	0	630	0	23 254	0	4	24 359
Tschechien	6	3 675	11	0	35	6 975	1 105	61	17 683
Slowakei	0	1 008	41	0	0	889	46	11	4 239
Polen	67	2 532	1 384	4	15	9 080	1 295	97	18 702
Ungarn	2	0	4	0	0	13 211	8	1	13 297
Russland	0	0	71	506	0	1 706	24	0	71 852
Kuwait	0	0	0	0	167	26 811	0	0	27 019
Südkorea	4	0	5	0	0	7 788	337	0	8 627
Slowenien	1	0	1 111	0	0	3 487	0	0	4 604
Brasilien	0	0	341	0	0	8 331	15	7	8 706
Singapur	0	0	7	0	0	3 519	0	2	3 529
Thailand	0	0	77	0	0	1 592	130	6	3 383
Taiwan	5	0	981	0	0	2 945	39	1	4 183
Indien	0	0	136	50	0	6 689	611	14	8 027
Südafrika	0	0	370	0	0	2 001	52	0	2 437
Israel	165	0	4	0	0	1 110	19	3	7 109
Sonstige	41	378	2 014	685	82	15 843	590	105	21 186
Summe 2001	3 592	57 639	16 586	7 176	1 156	245 669	4 794	2 176	548 627
Summe 2000	4 490	92 953	17 236	10 142	-	468 903	8 324	1 770	828 677

Umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq (Tabelle 1.5-2) nahm wieder deutlich ab auf nur noch gut ein Drittel von 3.001.795 GBq (2000: 296 Stück) auf 1.122.457 GBq (2001: 210 Stück). Die Verhältnisse von Aktivitäten zu Stückzahlen haben sich somit wieder deutlich verkleinert .

Der Rückgang ist im Wesentlichen durch das weitgehende Ausbleiben der Lieferungen von Co-60-Quellen nach Kanada verursacht; der Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für Verbringungen in andere EU-Staaten seit 01.08.2001 wirkt sich hier noch nicht signifikant aus.

Tabelle 1.5-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2001
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2001)

Verbraucher- land	Aktivitäten in GBq				Summe
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	
Frankreich	28 120	0	0	0	28 120
Großbritannien	0	11 300	0	0	11 300
Belgien	18 660	36 500	0	0	55 160
Dänemark	0	46 000	0	0	46 000
Finnland	0	0	1 900	0	1 900
Spanien	0	0	1 900	0	1 900
Italien	0	2 300	0	0	2 300
Griechenland	0	0	0	2 900	2 900
Österreich	141 000	2 700	0	0	143 700
Norwegen	0	31 400	0	0	31 400
Schweiz	3 700	13 900	0	97 750	115 350
USA	0	0	0	3 000	3 000
Kanada	119 000	0	0	0	119 000
Türkei	0	2 800	0	0	2 800
Japan	0	0	0	4 370	4 370
Tschechien	0	25 700	0	0	25 700
Kroatien	0	0	0	3 400	3 400
Rumänien	0	2 500	0	0	2 500
Polen	0	5 200	0	0	5 200
Bulgarien	0	2 800	0	0	2 800
Ägypten	0	0	0	4 700	4 700
Algerien	0	0	81 400	0	81 400
Ver.Arab. Emirate	0	0	0	4 400	4 400
Kuwait	0	0	0	1 850	1 850
Thailand	0	4 900	0	0	4 900
China	7 400	0	121 850	0	129 250
Taiwan	0	5 200	0	0	5 200
Indonesien	0	14 600	0	147 390	161 990
Nauru	0	6 900	0	0	6 900
Slowenien	0	0	0	16 269	16 269
Bangladesch	0	0	0	7 500	7 500
Malaysia	0	17 200	0	15 500	32 700
Argentinien	0	5 200	0	0	5 200
Brasilien	0	5 400	0	0	5 400
Chile	0	4 400	0	3 800	8 200
Israel	17 300	0	0	0	17 300
Syrien	0	0	0	7 400	7 400
Libyen	0	0	0	13 098	13 098
Summe 2001	335 180	246 900	207 050	333 327	1 122 457
Stückzahl 2001	18	89	5	98	210
Summe 2000	2 258 586	246 000	148 648	348 561	3 001 795

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.5-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es erfolgte wieder eine Zunahme der Ausfuhrmenge von 2.719.455 kg (2000) um 12% auf 3.047.365 kg (2001).

Der mengenmäßig mit Abstand größte Anteil liegt wieder bei abgereichertem Uran, aber auch bei angereichertem Uran mit 3-10%igem Anteil an U-235 ist ein größerer Posten festzustellen. Uran mit höheren Anreicherungsgraden sowie Thorium ist im Berichtszeitraum überhaupt nicht, Plutonium in kleineren Mengen wieder nach Frankreich verbracht worden.

Tabelle 1.5-3 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2001
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2001)

Verbraucherland	abger. Uran	Ausgangsstoffe (kg)	Natururan (kg)	mit U-235 angereichertes Uran		Plutonium (kg)	Summe (kg)
				bis 3% U-235 (kg)	>3-10% U-235 (kg)		
Frankreich	403 393	0	1 509	7	88 195	107 ¹	493 211
Belgien	227	0	0	418	25 896	0	26 541
Niederlande	0	0	11	0	24 833	0	24 844
Großbritannien	6	0	71 228	0	47 765	0	118 999
Spanien	0	26 893	0	0	9 484	0	36 377
Schweden	0	0	0	22	61 904	0	61 926
Finnland	0	0	0	4	22 564	0	22 568
Schweiz	0	0	0	0	14 607	0	14 607
Tschechien	67	0	0	0	0	0	67
USA	0	0	0	49	134 521	0	134 570
Kanada	0	0	173	0	0	0	173
Russland	2 092 770	0	0	0	0	0	2 092 770
Südkorea	0	0	0	0	12 264	0	12 264
Brasilien	0	0	0	682	3 022	0	3 704
China	209	0	0	0	4 534	0	4 743
Sonstige	0	0	0	0	1	0	1
Summe 2001	2 496 672	26 893	72 921	1 182	449 590	107	3 047 365
Summe 2000	2 197 967	27 941	4 265	16 935	472 053	156	2 719 455

1) Im Rahmen des „Leerfahrprogramms“ der Siemens AG, Hanau zur Wiederaufbereitung nach La Hague befördert

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.5-4 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt.

Die insgesamt ausgeführte Menge von 180.770 kg stellt fast ausschließlich den Inhalt bestrahlter Brennelemente aus zivilen Leistungsreaktoren dar. Nach der Aufhebung der Aussetzung von Transporten für bestrahlte Brennelemente der Vorjahre im Frühjahr 2001 konnten die Lieferungen zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien wieder aufgenommen werden. Bei den Kleinmengen (124 kg in der Zeile USA) handelt es sich um ursprünglich höher angereicherten bestrahlten Brennstoff von Forschungsreaktoren (sog. MTR-Brennelemente; MTR = Material Testing Reactor), welcher Eigentum der USA ist und somit nach dem Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer wieder zurückgeführt zu werden hatte.

Tabelle 1.5-4 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2001 in kg
(Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2001)

Empfängerland	abger. Uran (kg)	Mit U-235 angereichertes Uran			Plutonium (kg)	Summe (kg)
		bis 3% U-235 (kg)	>10-<20% U-235 (kg)	20-85% U-235 (kg)		
Frankreich	105 863	40 688	0	0	1 363	147 914
Niederlande	3	0	0	0	0	3
Großbritannien	25 220	7 161	0	0	348	32 729
USA	0	0	115	8	1	124
Summe 2001	131 086	47 849	115	8	1 712	180 770
Summe 2000	-	-	36	11	-	47

2. **Beförderung radioaktiver Stoffe** **(*Transportation of radioactive materials*)**

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport, Salzgitter

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

Im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses im Jahre 2001 standen die Beförderungen von bestrahlten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen (HAW-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente) die einer Beförderungsgenehmigung nach § 4 Atomgesetz durch das BfS bedürfen. Transporte dieser radioaktiven Stoffe wurden im Mai 1998 nach Bekanntwerden von Kontaminationsgrenzwertüberschreitungen durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gestoppt. Basierend auf dem Kriterienkatalog des BMU und auf intensiven Studien der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) Köln und des Öko-Instituts Darmstadt wurde ein Maßnahmenpaket erarbeitet und vom BfS Auflagen zur Einhaltung der Kontaminationsgrenzwerte in die Beförderungsgenehmigungen aufgenommen. Auf dieser Basis konnten im März 2001 die Transporte wieder aufgenommen werden und - in Erfüllung der privatrechtlichen Verträge zur Rücknahme der radioaktiven Abfälle aus Frankreich, die durch Notenwechsel zwischen den beiden Ländern flankiert sind - ein Rücktransport von sechs Behältern mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in das Transportbehälterlager Gorleben erfolgen.

Von April bis zum Jahresende wurden 24 Transporte mit bestrahlten Brennelementen von verschiedenen Kernkraftwerksstandorten zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich (COGEMA) und Großbritannien (BNFL) durchgeführt. Außerdem wurde der restliche Bestand an bestrahlten Brennelementen des KKW Rheinsberg der Energiewerke Nord AG in das Zwischenlager Nord bei Lubmin verbracht. Im Rahmen des Rückbauprojektes Hanau wurden sogenannte Fertigungselemente nach Frankreich versandt und es erfolgte die Rücknahme von 82 unbestrahlten SNR-Brennelementen aus der Wiederaufarbeitungsanlage Dounreay (GB) in die staatliche Verwahrung in Hanau.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe (Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)

Gemäß § 23 AtG ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen (§ 4 AtG) für Kernbrennstoffe und Beförderungsgenehmigungen (§ 8 StrlSchV) für Großquellen. Im Jahr 2001 wurden zusammen 160 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

2001 wurden insgesamt 376 Transporte von Kernbrennstoffen durchgeführt (s. Tabelle 2.1-1).

**Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2001 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of indicated shipments of nuclear fuels in the year 2001 with differentiation between means and type of transport)**

Inlandtransporte	
Schiene /bestrahltes Material	6
Schiene /Reststoffe und Abfall	0
Straße /unbestrahltes Material	73
Straße /bestrahltes Material	2
Straße /Reststoffe und Abfall	0
insgesamt	81
Grenzüberschreitende Transporte a)	
Luft /unbestrahltes Material	5
Luft /bestrahltes Material	0
See /unbestrahltes Material	72
See /bestrahltes Material	8
See /Reststoffe und Abfall	5
Schiene /unbestrahltes Material	0
Schiene /bestrahltes Material	24
Schiene /Reststoffe und Abfall	2
Straße /unbestrahltes Material	171
Straße /bestrahltes Material	7
Straße /Reststoffe und Abfall	1
insgesamt	295

- a) Bei kombinierten Transporten wurden folgende Entsprechungen gewählt:
- Straßen- oder Schienen-/Seetransport: als Seetransport
 - Straßen-/Schienenstransport: als Schienentransport
 - Straßen-/Lufttransport: als Lufttransport
 - Straßen-/Schienen-/Seetransport: als Schienentransport

3. Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen (*The handling of sealed and unsealed radioactive sources*)

Nach § 3 Abs. 1 (34) der novellierten Strahlenschutzverordnung versteht man unter 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. 2) handelt.

Bevor auf spezielle Arten des Umganges mit radioaktiven Stoffen eingegangen wird, sollen einige Tabellen die Situation bei der Verwendung radioaktiver Stoffe zusammenfassend widerspiegeln.

3.1 Allgemeine Angaben (*General data*)

In Tabelle 3.1-1 ist die Entwicklung der Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1996 bis 2001 wiedergegeben. Die Zahl der Verwender ist auf vier Bereiche aufgeschlüsselt :

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

Die Gesamtzahl der Verwender radioaktiver Stoffe hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht verringert. Der höchste Anteil von 56,1% ist auch im Jahr 2001 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 25,8% der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 3.1-2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 2001 den Angaben des Jahres 2000 für die Bundesländer gegenübergestellt. Im hinteren Teil dieser Tabelle beziehen sich die Angaben ausschließlich auf Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 2001 deutlich höher (Faktor 9 bis 15) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 2000 ist die Gesamtzahl in diesem Bereich nahezu gleich geblieben, die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung stieg um 4,7%.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach §§ 15 und 16 der Strahlenschutzverordnung (§11 StrlSchV 2001) im Jahr 2001 gibt Tabelle 3.1-3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender verringerte sich um 6,5%.

Tabelle 3.1-4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 2000 und 2001. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine absteigende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 2001 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 78,4% auf Umgang (§3 StrlSchV bzw. §7 StrlSchV 2001), zu 2,7% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (§§15, 16 StrlSchV bzw. §11 StrlSchV 2001), zu ca. 3,6% auf Beförderung (§ 8 StrlSchV bzw. §16 StrlSchV 2001) und zu 15% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20 StrlSchV bzw. §15 StrlSchV 2001). Nur ca. 0,3% der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 3.1-5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 2000 und 2001 erteilten Genehmigungen nach §§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV (§§7,11,15,16 StrlSchV 2001) und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 2000 nahm die Zahl der 2001 erteilten Genehmigungen um ca. 7% ab.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2001 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-6 entnommen werden. Von den insgesamt 13162 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 27 Präparate (ca. 0,2%) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, sofern gemeldet, u.a. 7 Nickel-63-Quellen, 7 Americium-241-Quellen, 5 Cäsium-137-Quellen und 3 Radium-226-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 3.1-6 zu entnehmen.

Tabelle 3.1-1 Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1996 - 2001
(Number of users of radioactive sources in the Federal Republic of Germany from 1996 to 2001)

		1996	1997	1998	1999	2000	2001
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	1804	1824	1814	1700	1552	1798
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	454	433	481	462	493	508
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	378	409	285	240	247	251
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	935	972	1025	956	768	992
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	37	10	23	42	44	47
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1781	1721	1742	1639	1595	1551
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	376	376	382	365	364	354
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	200	188	195	222	220	210
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1112	1059	1074	1009	975	954
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	93	98	91	43	36	33
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	987	950	971	1021	993	1008
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	356	404	413	434	437	444
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	305	372	380	402	366	365
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	326	174	178	185	189	198
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	0	0	0	0	1	1
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	247	233	255	259	280	290
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	25	33	34	28	30	31
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	26	19	23	27	25	27
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	180	167	181	196	215	221
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	16	14	17	8	10	11
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	98	96	119	112	112	111
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	19	18	28	25	25	22
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	7	6	6	6	6	6
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	71	71	73	70	70	71
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	1	1	12	11	11	12
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	357	303	309	309	288	269
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	82	63	66	63	51	43
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	39	31	32	37	36	29
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	205	188	190	191	181	179
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	31	21	21	18	20	18
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	758	760	758	725	740	713
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	211	200	196	189	198	195
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	95	88	94	94	99	90
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	412	428	425	401	403	390
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	40	44	43	41	40	38
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	195	242	250	220	222	237
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	39	74	77	43	46	77
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	30	34	35	38	38	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	119	126	130	132	130	122
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	7	8	8	7	8	4
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1015	1137	1051	1095	954	918
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	206	239	234	295	220	211
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	113	134	123	119	109	113
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	679	746	663	648	591	561
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	17	18	31	33	34	33

(Fortsetzung Tabelle)

		1996	1997	1998	1999	2000	2001
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2512	2545	1854	2337	2377	1796
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	760	755	507	633	641	479
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	110	102	97	97	95	85
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1595	1636	1243	1585	1565	1192
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	47	52	7	22	76	40
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	537	574	551	559	515	542
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	209	216	194	180	134	151
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	25	31	23	30	41	63
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	220	249	266	284	275	296
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	83	78	68	65	65	32
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	93	82	80	77	86	83
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	29	26	28	28	32	31
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	2	2	2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	57	53	48	44	48	46
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	5	1	2	3	4	4
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	588	586	621	608	591	561
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	95	98	111	111	109	101
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	170	162	173	168	166	169
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	170	169	178	170	178	158
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	153	157	159	159	138	133
Sachsen-Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	358	382	403	395	415	406
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	46	45	50	53	53	54
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	29	36	45	51	45	45
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	266	280	281	261	290	284
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	17	21	27	30	27	23
Schleswig-Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	418	436	436	436	361	364
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	113	119	119	119	74	78
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	33	34	34	34	18	17
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	245	256	256	256	254	254
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	27	27	27	27	15	15
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	224	243	243	254	255	252
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	23	28	28	28	30	29
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	11	11	11	10	9	10
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	184	197	194	205	205	201
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	6	7	10	11	11	12
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	11972	12114	11457	11746	11336	10899
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	3043	3127	2948	3056	2937	2808
	das entspricht	25,4%	25,8%	25,7%	26,0%	25,9%	25,8%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	1573	1659	1558	1577	1522	1516
	das entspricht	13,1%	13,7%	13,6%	13,4%	13,4%	13,9%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	6776	6771	6405	6593	6337	6119
das entspricht	56,6%	55,9%	55,9%	56,1%	55,9%	56,1%	
davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	580	557	546	520	540	456	
das entspricht	4,8%	4,6%	4,8%	4,4%	4,8%	4,2%	

Tabelle 3.1-2 Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 2000 und 2001 (Survey on the number of users of radioactive sources and the type of the individual areas of application from 2000 to 2001)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von radioaktiven Stoffen		Von Spalte 2 entfallen								Von Spalten 3 bis 6 entfallen auf Verwender ausschließl. umschlossener radioaktiver Stoffe						Sonstige							
	2		4				5				6		7		8		9		10		2000		2001	
	2000	2001	Medizin ein-schl. med. For-schung und Lehre	Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbl. Wirtschaft	Sonstige und Lehre	Medizin ein-schl. med. For-schung und Lehre	Medizin ein-schl. med. For-schung und Lehre	Industrie, gewerbl. Wirtschaft	Sonstige u. Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbl. Wirtschaft	Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin	Industrie, gewerbl. Wirtschaft	In Spalte 9 enth. zerstö-rungsfreie, ortsveränderi. Werkstoff-prüfung	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001		
1			3	4	5	6	7	8	9	10	11													
Baden-Württemberg	1552	1798	493	508	768	992	44	47	111	117	61	64	740	776	39	46	172	23						
Bayern	1595	1551	364	354	975	954	36	33	33	34	71	69	922	901	11	12	28	23						
Berlin	993	1008	437	444	189	198	1	1	122	125	17	18	124	126	11	11	0	0						
Brandenburg	280	290	30	31	215	221	10	11	11	12	7	7	176	185	10	8	1	1						
Bremen	112	111	25	22	70	71	11	12	1	4	1	3	48	49	2	2	6	6						
Hamburg	288	269	51	43	181	179	20	18	2	4	10	9	135	139	6	6	14	8						
Hessen	740	713	198	195	403	390	40	38	12	15	7	7	250	252	6	5	10	9						
Mecklenburg-Vorpommern	222	237	46	77	130	122	8	4	15	14	7	6	107	101	3	3	2	3						
Niedersachsen	954	918	220	211	591	561	34	33	52	51	34	19	513	521	29	28	15	16						
Nordrhein-Westfalen	2377	1796	641	479	1565	1192	76	40	24	21	29	33	1044	954	66	70	48	65						
Rheinland-Pfalz	515	542	134	151	275	296	65	32	81	76	8	30	195	207	6	8	37	20						
Saarland	86	83	32	31	48	46	4	4	0	0	1	1	30	30	4	5	3	3						
Sachsen	591	561	109	101	178	158	138	133	36	35	48	46	170	152	0	15	138	128						
Sachsen-Anhalt	415	406	53	54	290	284	27	23	11	12	15	11	248	233	22	23	18	17						
Schleswig-Holstein	361	364	74	78	254	254	15	15	23	26	10	10	92	100	5	5	10	11						
Thüringen	255	252	30	29	205	201	11	12	7	7	2	2	164	161	14	13	3	3						
Summe	11.336	10.899	2937	2.808	6.337	6.119	540	456	541	553	328	335	4.958	4.887	234	260	505	336						

Tabelle 3.1-3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 2000 und 2001 (§11 StrlSchV)
(Survey on the number of users of facilities for the generation of ionising radiation in 2000 and 2001 - §11 StrlSchV)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschließl. medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z.B. Behörden)	
			1	2	3	4	5	6		
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Baden-Württemb.	96	55	33	34	15	16	48	5	0	0
Bayern	53	48	36	36	9	5	8	7	0	0
Berlin	41	40	23	23	18	17	0	0	0	0
Brandenburg	6	8	6	6	0	2	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	11	13	5	7	3	3	2	2	1	1
Hessen	21	20	14	14	4	4	3	2	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	7	5	7	5	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	33	31	20	21	4	4	8	5	1	1
Nordrhein-Westfalen	71	78	56	63	8	8	7	7	0	0
Rheinland-Pfalz	13	14	11	12	2	2	0	0	0	0
Saarland	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	29	29	20	19	9	10	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	8	9	5	6	0	0	3	3	0	0
Schleswig-Holstein	13	24	13	23	0	0	0	0	0	1
Thüringen	7	8	6	6	0	1	1	1	0	0
Summe	415	388	261	281	72	72	80	32	2	3

Tabelle 3.1-4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)

Bundesland	Umgang		Beförderung		Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Tätigkeiten in fremden Anlagen		Umgang nach		Gesamtzahl	
	(§ 7) 1)		(§ 16) 1)		(§ 11) 1)		(§ 15) 1)		§ 9 AtG		2000	2001
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Baden-Württemberg	2317	2305	91	80	85	88	485	523	15	1	2993	2997
Bayern	1768	1622	60	52	55	49	420	443	39	17	2342	2183
Berlin	993	1008	95	97	41	40	146	173	2	2	1277	1320
Brandenburg	336	325	19	17	7	8	59	42	0	0	421	392
Bremen	149	144	19	20	3	3	31	33	0	1	202	201
Hamburg	417	344	22	26	10	20	79	59	0	0	528	449
Hessen	1246	1195	17	14	39	42	281	267	7	7	1590	1525
Mecklenburg-Vorpommern	230	211	5	4	8	6	74	72	0	0	317	293
Niedersachsen	2288	2106	138	144	49	49	258	280	2	2	2735	2581
Nordrhein-Westfalen	5685	4236	169	161	134	138	672	698	19	16	6679	5249
Rheinland-Pfalz	584	555	37	39	17	16	116	117	2	2	756	729
Saarland	151	149	20	17	7	7	22	16	0	0	200	189
Sachsen	607	577	37	35	31	29	173	187	9	8	857	836
Sachsen-Anhalt	439	441	26	25	12	14	49	53	2	1	528	534
Schleswig-Holst.	640	635	14	14	19	25	103	108	0	0	776	782
Thüringen	403	313	9	8	12	15	20	20	1	1	445	357
Summe	18.253	16.166	778	753	529	549	2.988	3091	98	58	22.646	20.617

1) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

Tabelle 3.1-5 Übersicht über die 2000 und 2001 erteilten Genehmigungen
§§ 7, 11, 15, 16 StrlSchV (§§ 3, 8, 15, 16, 20 alte StrlSch) und § 9 AtG)
(Survey on the licenses granted in 2000 and 2001 - §§ 7, 11, 15, 16 StrlSchV - §§ 3, 8, 15, 16, 20 old StrlSch - § 9 AtG)

Land	Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)	
	2000	2001
Baden-Württemberg	374	259
Bayern	325	293
Berlin	118	123
Brandenburg	84	83
Bremen	43	49
Hamburg	269	275
Hessen	387	211
Mecklenburg-Vorpommern	51	54
Niedersachsen	292	271
Nordrhein-Westfalen	628	697
Rheinland-Pfalz	104	154
Saarland	59	73
Sachsen	213	179
Sachsen-Anhalt	161	142
Schleswig-Holstein	72	103
Thüringen	118	106
Summe	3298	3072

Tabelle 3.1-6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2001
(Survey on the scope and the results of monitoring of sealed radioactive sources in the year 2001)

BUNDES- LAND	Gesamt- zahl der durchge- führten Dichtheits- prüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:										Anzahl der bei den Prüfungen lt. Spalte 2 als undicht ermittel- ten Präpa- rate	Von Spalte 12 entfallen auf:								Son- stige Nuklide
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neu- tronen- quellen	Son- stige Nuklide	Co-60		Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutro- nenquel- len		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Baden- Württemberg	1807	115	583	405	20	2	58	229	78	317	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1-C-14; 1 Ni-63	
Bayern	2219	170	348	306	56	2	52	259	112	914	12	0	0	0	0	0	1	1	0	6Ni-63; 2 C-14; 1Th-204; 1 Misch- präparat	
Berlin	271	19	91	82	3	0	5	31	12	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Brandenburg	439	46	24	225	1	0	3	63	20	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Bremen	92	13	13	16	1	0	0	28	7	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Hamburg	175	31	48	20	1	0	3	20	7	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Hessen	406	28	58	133	11	0	9	45	29	93	1	0	0	1	0	0	0	0	0		
Mecklenburg- Vorpommern	699	46	438	77	1	0	1	49	4	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Niedersach- sen	1463	221	179	557	20	0	73	41	7	365	6	0	0	0	0	0	0	6	0		
Nordrhein- Westfalen	2317	303	341	489	39	0	218	553	20	354	2	0	0	0	0	0	2	0	0		
Rheinland- Pfalz	346	29	89	87	5	0	1	99	3	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Saarland																				keine Angaben	
Sachsen	1414	128	58	1038	7	0	1	66	29	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sachsen- Anhalt	974	92	14	641	0	0	3	41	71	112	4	0	0	4	0	0	0	0	0		
Schleswig- Holstein	260	13	49	101	5	0	13	27	14	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Thüringen	192	19	21	137	0	0	0	2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Summe	13074	1273	2354	4314	170	4	440	1553	417	2549	27	0	0	5	0	0	3	7	0		

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

Nach der Strahlenschutzverordnung können - innerhalb enger Grenzen und unter Auflagen - bestimmten Gebrauchsgütern radioaktive Stoffe zugesetzt oder Gebrauchsgüter durch Bestrahlung aktiviert werden. Zum Schutz des Verbrauchers ist dies nach der Strahlenschutzverordnung bei einigen Erzeugnissen ausdrücklich verboten (z. B. bei Lebensmitteln, Spielwaren, Schmuck und kosmetischen Produkten). Bei bestimmten Industrieerzeugnissen und Konsumgütern bedarf der Zusatz radioaktiver Stoffe und die Aktivierung sowie der Import und Export dieser Produkte einer Genehmigung. Außer bei Gütern mit geringer Aktivität ist ein Rücknahmekonzept hierfür Voraussetzung. Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet den letzten Verbraucher, die Produkte nach der Nutzung zurückzuführen.

Nach der Strahlenschutzverordnung können bestimmte Gebrauchsgüter, die radioaktive Stoffe enthalten, sowie radioaktive Stoffe mit geringer Aktivität auch genehmigungsfrei verwendet werden. 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. Typische Fälle sind z. B.:

- Geräte, Anlagen oder sonstige Einrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten und deren Bauart die nach Landesrecht zuständige Behörde nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zugelassen hat (z. B. Rauchmelder),
- elektronische Bauteile (Fernseher, Monitore),
- radioaktive Stoffe, die unter die allgemeinen Freigrenzen fallen.

Unter diese Regelungen fällt eine Vielzahl von Erzeugnissen, die sowohl in Wissenschaft und Technik als auch im privaten Bereich anzutreffen sind. Die in diesen Produkten eingebauten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Sie tragen dazu bei, Energie zu sparen oder garantieren ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Vorrichtungen, wie z. B. bei Ionisationsrauchmeldern. Einen Überblick über einige dieser Gebrauchsgüter und Industrieerzeugnisse gibt Tabelle 3.2-1.

Tabelle 3.2-1 Radioaktive Stoffe enthaltende Gebrauchsgüter (typische Beispiele)
(Consumer goods containing radioactive substances – typical examples)

Industrieerzeugnisse	enthaltene Radionuklide und Aktivität
abgedeckte Skalen u. Zeiger für Instrumente mit Leuchtfarben	bis ca. 250 MBq H-3 5 MBq Pm-147
Starter für Leuchtstoffröhren	bis ca. 500 Bq Kr-85 oder H-3
Ionisationsrauchmelder	bis ca. 50 kBq Am-241
Schutzgas-Schweißelektroden	bis ca. 2000 Bq Thorium (natürlich)
Gasglühstrümpfe *)	ca. 1000 Bq Thorium (natürlich)

*) in den letzten Jahren wurden für den privaten Gebrauch auch Gasglühstrümpfe ohne Thorium verkauft

Radioaktive Stoffe enthaltende Baumaterialien sind im Teil I, Kapitel 2 zusammengestellt.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

Für Werkstoffprüfungen werden die in Tabelle 3.2-2 angegebenen Radionuklide verwendet. Iridium-192 ist das weitaus am häufigsten verwendete Nuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Quelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die niedrige spezifische Aktivität ist der Hauptnachteil von Cäsium-137, das daher kaum Anwendung findet. Andere γ -Strahler sind nicht praktikabel, weil die spezifische Aktivität zu klein oder die Halbwertszeit zu kurz ist. Verlangt werden heute spezifische Aktivitäten im Bereich von 7,4 bis 14,8 TBq/Gramm.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit γ -Strahlern (Kobalt-60 und Cäsium-137) mit einer Aktivität bis zu 1 GBq. Zur Messung wird die von der Dichte abhängige Absorption der ionisierenden Strahlung

herangezogen. 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 Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Krypton-85, Strontium-90 und Promethium-147 als β -Strahler und Kobalt-60, Cäsium-137 und Americium-241 als γ -Strahler benutzt. Die Aktivitäten liegen etwa zwischen 370 MBq und 370 GBq. Geräte mit β -Strahlung werden in der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit γ -Strahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickenmessung, in der Lebensmittelindustrie und chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Tabelle 3.2-2 Radionuklide für Werkstoffprüfungen
(*Radionuclides applied in tests on materials*)

Radionuklid	Halbwertszeit	γ -Energien	Dosisleistung in 1 m Abstand von 37 GBq
Iridium-192	74 d	0,30 - 0,61 MeV	4,8 mSv/h
Cäsium-134	2,1 a	0,48 - 1,4 MeV	8,7 mSv/h
Kobalt-60	5,3 a	1,17 und 1,33 MeV	13,0 mSv/h
Cäsium-137	30 a	0,66 MeV	3,3 mSv/h
Americium-241	432 a	60 keV	0,16 mSv/h

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 enthaltenen Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der allgemeinen Verbreitung dieser radioaktiven Industrieerzeugnisse. 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, u.a. für Geräte, Instrumente oder andere Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Landesbehörde zugelassen worden sind.

Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen und der Beachtung des Grundsatzes, dass mit der Anwendung ein echter Vorteil verbunden sein muss, ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 10 Mikrosievert pro Jahr ist.

Andere Quellen ionisierender Strahlung sind die sogenannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlen erzeugt werden, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildinhalten, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. Bei den meisten von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt nach der Röntgenverordnung überprüften Geräten dieser Art wurde 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, hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt festgestellt, dass die durch die überprüften Geräte verursachte Strahlenexposition für die betroffenen Arbeitnehmer nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition betragen würde. Der jährliche Beitrag von Datensicht- und Fernsehgeräten zur Strahlenexposition der Bevölkerung wird zu weniger als 10 Mikrosievert abgeschätzt. Auch Radargeräte gehören zu den Störstrahlern im Sinne der Röntgenverordnung (s. Teil III, 3).

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernsehleinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen solche Störstrahler nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen beruflich mit diesen Geräten umgehen.

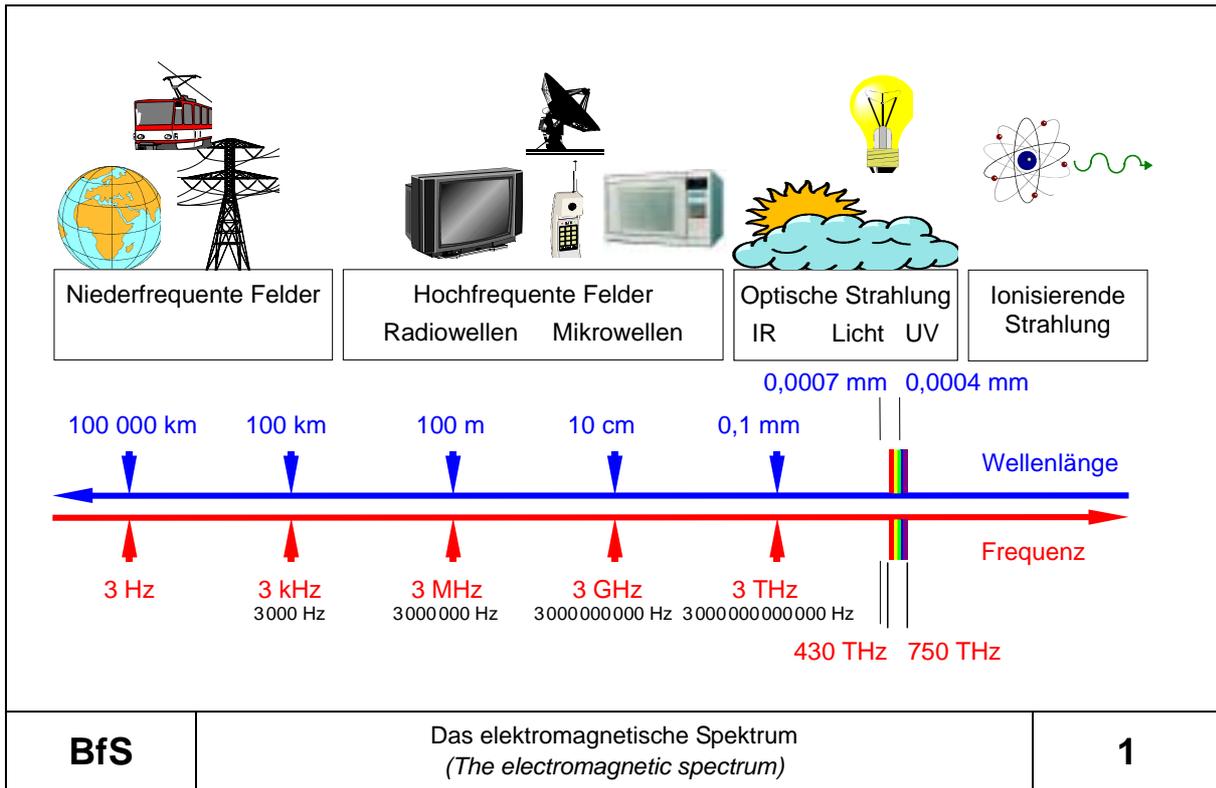
ABSCHNITT B
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG
(Non-ionising radiation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette Strahlung (UV) gehört, mit Wellenlängen von 100 nm und darüber (Abb. 1). Im Folgenden wird die Physik von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern erklärt, Quellen und mögliche Expositionen angegeben, biophysikalische Wirkungsmechanismen erläutert und die nachgewiesenen sowie möglichen gesundheitlichen Wirkungen dargestellt.



**1. Statische Felder
(Static fields)**

Der Begriff "Statische Felder" umfasst elektrostatische Felder, die z. B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und statische Magnetfelder, wie z. B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld kann elektrische Ladungen ausrichten und damit direkt auf die Körperoberfläche einwirken. 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 vor allem elektrostatische Aufladungen für Funkenentladungen verantwortlich, und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. 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 Körperteilchen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potentialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T. Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Inter-

aktion in einem 5 T- Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7 % verringern kann. Akute Schädwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. 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.

In Hinblick auf die Umwelt spielt die Fähigkeit von Tieren, statische Magnetfelder wahrzunehmen, eine große Rolle. Diese Wahrnehmbarkeit besteht bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (in Deutschland im Mittel 40 μT). Für den Menschen konnte ein derartige Wahrnehmung bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (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. Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten. Eine Analyse der Daten zu biologischen Wirkungen dieser Felder erlaubt es nicht, Schwellenwerte für gesundheitsschädliche Effekte exakt anzugeben. Deswegen sind Sicherheitsfaktoren bei der Festlegung von Richt- und Grenzwerten, wie die SSK sie 1998 empfohlen hat, erforderlich [1].

Literatur

- [1] SSK: Empfehlungen und Stellungnahme der Strahlenschutzkommission 1998
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 44, Gustav-Fischer-Verlag 1999

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 relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsezeptoren 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 2-1). Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 μT begrenzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem etablierten Strom-Dichte-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 μT im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m^2 entsteht. Bei diesem Wert, der der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht, gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für biologische Wirkungen. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m^2 bekannt.

Tabelle 2-1 Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)
(Limit values for fixed low frequency installations - 26th BImSchV)

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

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. 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 $> 0,4 \mu\text{T}$ bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte (sog. Michaelis-Studie). Dieser Wert wurde in nur 0,6 % der Leukämiefälle (3 von 514 in die Studie aufgenommene, an Leukämie erkrankte Kinder) und in 0,2 % der Personen in der Vergleichsgruppe (3 von 1301 nicht erkrankter Kinder) erreicht. Falls eine erhöhte Magnetfeldexposition tatsächlich eine der möglichen Ursachen für diese Krankheit ist, 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 sind als wissenschaftlich begründeter Verdacht zu werten und erfordern eine intensive Suche nach möglichen Zusammenhängen.

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 nur $0,101 \mu\text{T}$ und ein Medianwert von nur $0,047 \mu\text{T}$ erreicht werden (Tab. 2.-2). Es ergab sich weiterhin aus der Studie, 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 $0,146 \mu\text{T}$ erreicht (nicht in Tab. 2.-2 aufgeführt).

Tabelle 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, Median = 50 % Perzentil

Alle Werte liegen Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV (s. Tab. 2-1). Eine Überschreitung des Grenzwertes wurde nur kurzzeitig, hauptsächlich während der Arbeit mit Maschinen beobachtet.

Die Ergebnisse der bayrischen 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.

3. Hochfrequente Felder
(High frequency fields)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>30 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen eine Erwärmung (thermischer Effekt). In der Medizin wird dies z. B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken ausgenutzt.

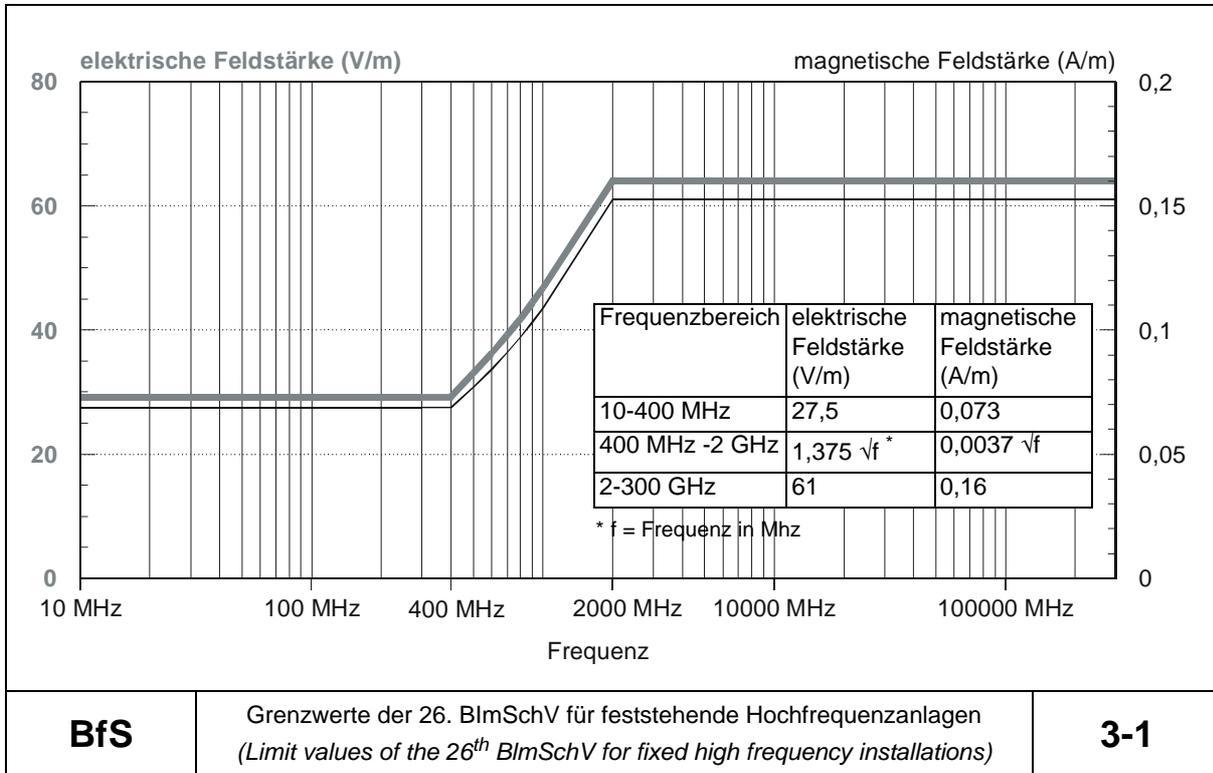
Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode NMR werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. Die vom Körper des Patienten absorbierte Energie kann nur im Mittel abgeschätzt werden, da auf Grund der komplexen Verhältnisse zwischen Körper und Gerät keine genauen Vorhersagen der Energieabsorption durch Berechnungen, Simulationen oder anhand von Phantomen möglich ist.

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 zulässige Belastung der Bevölkerung von 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 Temperatenausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkör-

pergrenzwert 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. 3-1) verankert.



Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die 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. Laut dem Bericht der RegTP vom Dezember 2001 wurden im Jahr 2000 1409 Nachüberprüfungen durchgeführt mit dem Ergebnis, dass an keinem Standort eine Überschreitung der Personenschutzgrenzwerte auftrat [1].

Während der thermische Effekt unumstritten ist, werden die sog. nichtthermischen Effekte von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man 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 erklärte Wirkungsmechanismen dieser Felder existieren können. Das heißt, dass es Risiken geben könnte, die bisher noch nicht nachgewiesen sind. Die Notwendigkeit zur Vorsorge ist also eine Folge des sich ständig fortentwickelnden Erkenntnisstandes. Das Bundesamt für Strahlenschutz setzt sich für die Umsetzung eines Vorsorgepaketes ein, das folgende Maßnahmen umfasst: Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition durch den Mobilfunk, Information der Bevölkerung und Initiierung von Forschung.

Literatur

[1] Tätigkeitsbericht 2000/2001 der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post.
Bericht nach § 81, Abs.1 Telekommunikationsgesetz und § 47, Abs. 1, Postgesetz, Bonn, 2001

4. Optische Strahlung (*Optical radiation*)

Zum Bereich der optischen Strahlung gehört die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-) Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A (320 – 400 nm), UV-B (280 – 320 nm) und UV-C (200 – 280 nm) Anteil.

Die Intensität der Sonne ist selbst in unseren Breitengraden im Sommer ausreichend hoch, um die Gesundheit des Menschen zu beeinträchtigen. Auf Grund der geringen Eindringtiefe sind vor allem die Haut und die Augen betroffen. Akute Wirkungen der UV-Exposition umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen der Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und Hautkrebs.

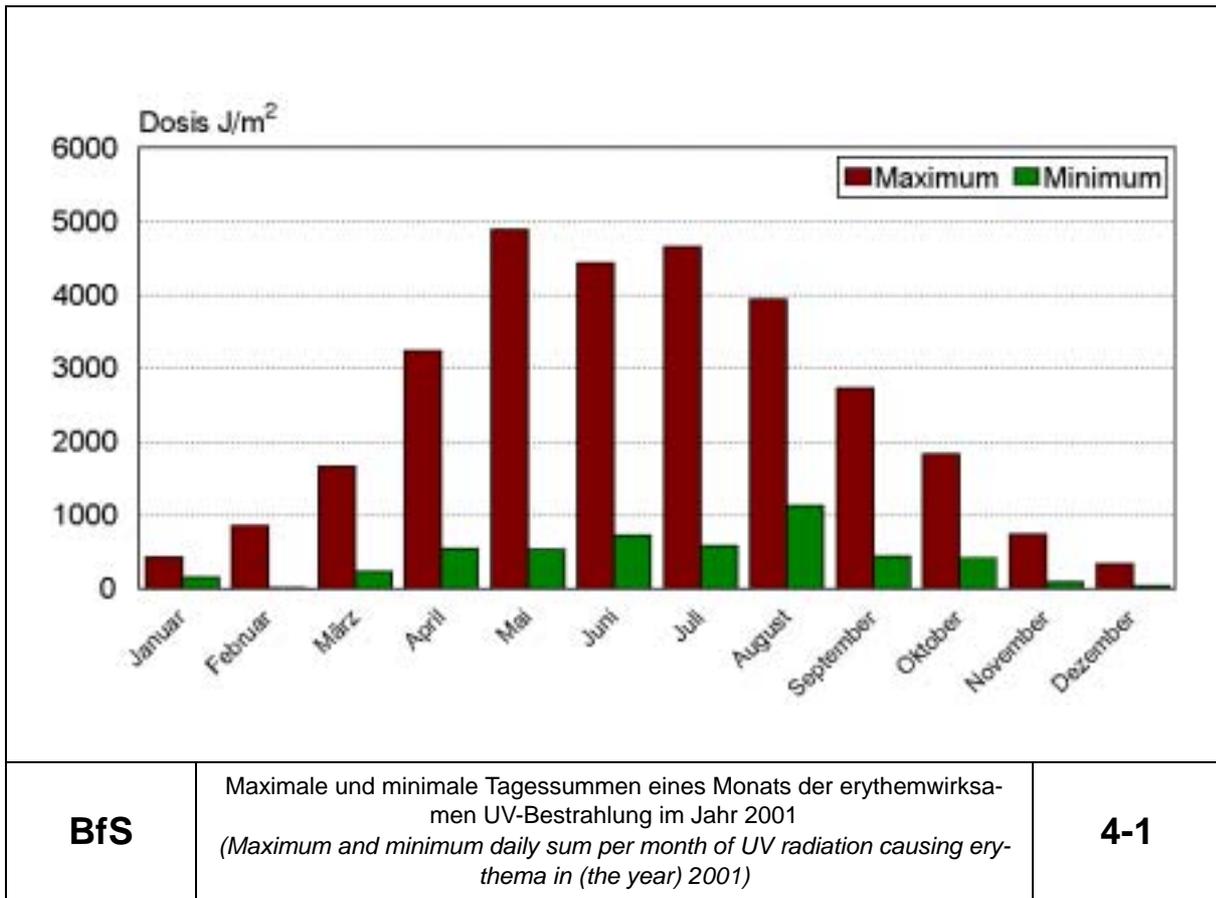
Diese Wirkungen der UV-Strahlung sind stark wellenlängenabhängig (je kürzer die Wellenlänge, desto höher die biologische Wirkung), jedoch für die Bräunung (Melanogenese), für die Lichtentzündung (Erythembildung), für die Erzeugung von Hautkrebs (Karzinogenese) sowie für die vorzeitige Hautalterung (Elastose) sehr ähnlich. Daher kann keine Bestrahlung eine einzige gewünschte Wirkung allein erzeugen, ohne gleichzeitig auch die anderen Effekte zu verursachen.

Vor allem infolge eines geänderten Freizeit- und Sozialverhaltens ist die Hautkrebsinzidenz deutlich steigend. Das Risiko, an einem Hautkrebs zu erkranken, hängt hauptsächlich von den persönlichen Gewohnheiten bezüglich der Sonnenexposition ab. Bei Basal- und Stachelzellkarzinomen gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen solarer UV-Exposition und Krebsentstehung. Beim malignen Melanom ist dieser noch nicht eindeutig nachgewiesen. Die Inzidenz für Basalzellkarzinome ist steigend. In Deutschland werden zur Zeit Neuerkrankungen bei ca. 60 Frauen und bei ca. 90 Männern pro 100.000 Einwohner pro Jahr registriert. Die Sterblichkeitsrate liegt bei <1%.

Um die UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfassen und strahlenhygienisch bewerten zu können, wird vom Bundesamt für Strahlenschutz gemeinsam mit dem Umweltbundesamt und weiteren staatlichen und universitären Institutionen an neun repräsentativen Standorten in Deutschland die bodennahe solare UV-Strahlung kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen (solares UV-Monitoring). Die Messdaten werden in der Messnetzzentrale in München strahlenhygienisch bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter <http://www.bfs.de> veröffentlicht.

In Abbildung 4-1 werden die maximalen und minimalen Tagessummen der erythemwirksamen Bestrahlung pro Monat im Jahr 2001 für die Station München dargestellt. Im Mai 2001 wurde ein Wert von annähernd 5000 J/m² erreicht. Dies bedeutet, dass z. B. Menschen mit Hauttyp II (bei blondhaarigen Menschen mit blauen oder grünen Augen), die ungeschützt bei einer Exposition von 250 J/m² einen Sonnenbrand bekommen, hier bereits bei einem zwanzigstel der Tagesdosis gefährdet sind.

Statistische Auswertungen der bisherigen Messdaten lassen auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen, ein ozonbedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden.



5. Aktuelle Themen
(Actual topics)

Das Thema "Elektromog" und dabei insbesondere die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks fanden im Jahr 2001 großes öffentliches Interesse. Die Forschung zu den umstrittenen Fragen der Wirkungen elektromagnetischer Felder stand 2001 im Mittelpunkt eines Fachgesprächs des Bundesamtes für Strahlenschutz. Es wurde beschlossen, dass die Forschung auf dem Gebiet verstärkt werden soll. Im Rahmen des Umweltforschungsplans (UFO-Plan) werden für die Jahre 2002 bis 2005 vom Bundesamt für Strahlenschutz Forschungsvorhaben im Bereich Dosimetrie hochfrequenter elektromagnetischer Felder, biologische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Zellen und Tiere, Einfluss dieser Felder auf den Verlauf von Krebs am Beispiel Leukämie und epidemiologische Studien in Bezug auf elektrosensible Personen und Risikokommunikation vergeben.

Abgesehen vom Mobilfunk wurde in der Öffentlichkeit auch die Frage diskutiert, inwieweit hochfrequente elektromagnetische Strahlung Ursache für Krebserkrankungen von Bundeswehrsoldaten sein kann, die jahrelang militärische Radargeräte bedient und gewartet hatten. Da bislang eine genotoxische Wirkung der Hochfrequenzstrahlung nicht belegt werden konnte, ist ein Auslösen von Krebserkrankungen durch Mikrowellenexposition sehr unwahrscheinlich. Bei sehr starken Radarsendern, wie sie z. B. in der Flugsicherung eingesetzt werden, wird im Inneren Röntgenstrahlung, also ionisierende Strahlung, erzeugt. Eine Strahlenexposition, insbesondere in einer Höhe, die zur Auslösung einer Krebserkrankung führen kann, ist bei diesen Störstrahlern nur dann möglich, wenn unter Missachtung einschlägiger Vorschriften bei geöffnetem Schutzgehäuse gearbeitet wird (siehe dazu Abschnitt A, Teil III-3. Strahlenexposition bei Radargeräte-Personal).

ANHANG

(Annex)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Oberschleißheim

1. Erläuterung zu den verwendeten Begriffen
(Explanation of terms used)

1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten
(Radiation dose and related units)

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die auf Grund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die Ionendosis, die Einheit ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als Energiedosis bezeichnet. Sie wird in der Einheit Gray (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

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). Dicht ionisierende Strahlung wie z. B. α -Teilchen kann biologisch wesentlich wirksamer sein als locker ionisierende Strahlung (z. B. γ - und β -Strahlung). Aus diesen Gründen ist die Äquivalentdosis H eingeführt worden, die sich aus der Energiedosis D durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Strahlungs-Wichtungsfaktor w ergibt:

$$H = w \times D$$

Der Faktor w berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung in Abhängigkeit von der Strahlenqualität. Gemäß der Strahlenschutzverordnung kann für den Bewertungsfaktor ein Wert von 1 für β - und γ -Strahlung und ein Wert von 20 für α -Strahlung aus Radionukliden, jeweils bei äußerer Exposition, angenommen werden. Da der Bewertungsfaktor dimensionslos ist, wird die Äquivalentdosis wie die Energiedosis in J/kg angegeben. Die Einheit ist das Sievert (Sv). Ein Sievert entspricht einem Joule pro Kilogramm.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Unter der Personendosis versteht man die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, z. B. an der Brustvorderseite. Deshalb muss die vom Personendosimeter angezeigte Personendosis nicht mit der Körperdosis des Trägers identisch sein. Wenn der Verdacht besteht, dass Dosisgrenzwerte in einzelnen Organen oder Geweben überschritten werden, muss die Teilkörperdosis aus der Personendosis unter Berücksichtigung der Bestrahlungsumstände ermittelt werden.

Zur Charakterisierung und Quantifizierung der Strahlenexposition im komplexen Strahlungsfeld z. B. in Flugzeugen dient als Ortsdosismessgröße die sog. Umgebungs-Äquivalentdosis H (10) gemäß ICRP Publikation 60[1]. Die Umgebungs-Äquivalentdosis wird für den interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld angegeben und ist definiert als Äquivalentdosis im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe in der ICRU-Kugel. Die Umgebungs-Äquivalentdosis liefert einen konservativen Schätzwert für die Körperdosis (effektive Dosis).

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.

1.2 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung (*Stochastic and deterministic radiation effects*)

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische (nicht-stochastische) Wirkungen unterschieden. Stochastische Wirkungen sind solche, für die die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens eine Funktion der Dosis ohne Schwellenwert ist. Hierzu gehören genetische Effekte und die Induktion von Krebs und Leukämie. Im Strahlenschutz geht man bei den stochastischen Wirkungen von der Annahme einer Proportionalität zwischen Dosis und Wirkung aus. Bei den deterministischen Wirkungen ist die Schwere (und nicht die Wahrscheinlichkeit) des Effektes eine Funktion der Dosis, wobei ein Schwellenwert existieren kann, unterhalb dessen der betreffende Effekt nicht mehr zu beobachten ist. Zu den Effekten gehören Hautrötung, Linsentrübung, Fertilitätsstörungen und Schäden am Gefäßsystem und am Bindegewebe.

1.3 Effektive Dosis (*Effective dose*)

Als "Risiko" wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung in einem Personenkollektiv bezeichnet. Um das Strahlenrisiko bei externer oder interner Bestrahlung eines oder mehrerer Organe zu charakterisieren, hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) die sogenannte effektive Dosis eingeführt. Bei der effektiven Dosis wird die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe durch unterschiedliche Organ-Wichtungsfaktoren (Tabelle 1.3-1) berücksichtigt. Die Äquivalentdosen der Organe und Gewebe eines Körpers werden gewichtet und zur effektiven Dosis aufsummiert. Die Summe aller Wichtungsfaktoren ist 1. Da sie dimensionslos sind, wird die effektive Dosis ebenfalls in Sievert angegeben. Die große Bedeutung der effektiven Dosis liegt darin, dass das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung einzelner Organe, z. B. nach Inkorporation von radioaktiven Stoffen, bewertet werden kann. Außerdem lassen sich die stochastischen Strahlenwirkungen durch Expositionen aus unterschiedlichen Quellen durch die Anwendung dieser im Strahlenschutz international gebräuchlichen Begriffe vergleichen.

**Tabelle 1.3-1 Gewebe-Wichtungsfaktoren
(*Tissue weighting factors*)**

Gewebe oder Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor
Keimdrüse	0,20
Rotes Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Gewebe und Organe (Nebenniere, Gehirn, Dünndarm, Nieren, Muskeln, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymus, Gebärmutter)	0,05
Summe	1,00

Derartige Vergleiche werden in Berichten internationaler Kommissionen und internationaler Organisationen zusammengestellt, wie zum Beispiel vom Wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR).

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) passt in ihren Empfehlungen die Grenz- und Richtwerte dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Strahlenwirkungen an. Zuletzt wurden 1990 in der ICRP-Publikation 60 Seite 292 neue Definitionen von Dosisgrößen publiziert. Diese Empfeh-

lungen fließen in die Rechtsetzung der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland sowie in Vorschriften und Normen ein.

1.4 Strahlenschutzmaßnahmen (*Radiation protection measures*)

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung der Gesundheit 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 "jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt. § 95 regelt die Exposition durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen und § 103 den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung.

§ 46 der StrSchV begrenzt die Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt:

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

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Abluft 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] ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford.
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)

2. Physikalische Einheiten (Physical units)

Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

**Tabelle 2-1 Basiseinheiten
(Basic units)**

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

**Tabelle 2-2 SI-Einheiten in der Radiologie
(SI units applied in radiology)**

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = 3,7 · 10 ¹⁰ Bq [*] 1 Bq = 2,7 · 10 ⁻¹¹ Ci = 27 pCi
Energiedosis	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy [*] 1 Gy = 100 rd [*]
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv [*] 1 Sv = 100 rem [*]
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	1 R = 2,58 · 10 ⁻⁴ C/kg [*] = 0,258 mC/kg [*] 1 C/kg = 3876 R
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	1 rd/s = 0,01 Gy/s [*] 1 Gy/s = 100 rd/s [*]
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	1 R/s = 2,58 · 10 ⁻⁴ A/kg [*] = 0,258 mA/kg [*]

Bei Werten mit * ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet.

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2-3 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2-3 Präfixe (Prefixes)

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Tabelle 2-4 Physikalische Größen in der Nichtionisierenden Strahlung

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μ T Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ 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/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

3. Glossar (Glossary)

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und einem u.a. von der Strahlenart abhängigen Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
Deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch)
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht.
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen 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

Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
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
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
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 Ladungsumverteilung 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 Strahlen	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlen, welche die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kontamination	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
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 Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist Tesla (T)

Nichtionisierende Strahlung	Elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
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)
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlen spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UV-Index	Tageshöchstwerte der "sonnenbrandwirksamen" UV-Strahlung
Wirbelstrom	Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom

4. Liste der verwendeten Abkürzungen
(List of abbreviations)

A	Ampere (ampere)
AMG	Arzneimittelgesetz (Medical Preparations Act)
AtG	Atomgesetz (Atomic Energy Act)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (General Administrative Provisions)
B	Magnetische Flussdichte (magnetic flux density)
BAfM	Bundesanstalt für Milchforschung (Federal Dairy Research Centre)
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (Federal Institute for Drugs and Medical Devices)
BFE	Bundesforschungsanstalt für Ernährung (Federal Research Centre for Nutrition)
BFAFi	Bundesforschungsanstalt für Fischerei (Federal Research Centre for Fisheries)
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde (Federal Institute of Hydrology)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (Federal Office for Radiation Protection)
BGBI	Bundesgesetzblatt (Federal Law Gazette)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography)
/d xp	pro Tag und Person (per day and person)
DAC	Derived Air Concentration
DWD	Deutscher Wetterdienst (German Meteorological Service)
DWR	Druckwasserreaktor (Pressurized Water Reactor)
E	Elektrische Feldstärke (electric field strength)
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft (European Atomic Energy Community)
FFS	Fischereiforschungsschiff (Fisheries Research Vessel)
FM	Feuchtmasse (wet weight)

GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (<i>Research Centre for Environment and Health</i>)
FZ	Forschungszentrum (<i>Research Centre</i>)
G α	Gesamt-Alpha-Aktivität (<i>Total Alpha Activity</i>)
G β	Gesamt-Beta-Aktivität (<i>Total Beta Activity</i>)
H	Magnetische Feldstärke (<i>magnetic field strength</i>)
hED	Halbstunden- Erythemgewichtete UV-Dosiswerte (<i>halfhour-erythema-weighted UV dose values</i>)
HTR	Hochtemperaturreaktor (<i>High Temperature Reactor</i>)
HWZ	Halbwertszeit (<i>half-life</i>)
Hz	Hertz (<i>hertz</i>)
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (<i>International Commission on Non-Ionising Radiation Protection</i>)
IAR	Institut für Atmosphärische Radioaktivität (<i>Institute for Atmospheric Radioactivity</i>)
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission (<i>International Commission on Radiological Protection</i>)
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem (<i>Integrated Measuring and Information System</i>)
ISH	Institut für Strahlenhygiene (<i>Institute of Radiation Hygiene</i>)
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr (<i>Annual Intake of Activity</i>)
KFA	Kernforschungsanlage (<i>Nuclear Research Facility</i>)
KFZ	Kernforschungszentrum (<i>Nuclear Research Centre</i>)
KKW	Kernkraftwerk (<i>Nuclear Power Plant</i>)
KTA	Kerntechnischer Ausschuss (<i>Nuclear Safety Standards Commission</i>)
MRT	Magnetresonanztomographie (<i>Magnetic Resonance Tomography</i>)
NWG	Nachweisgrenze (<i>detection limit</i>)
ODL	Ortsdosisleistung (<i>Ambient Dose Rate</i>)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie (<i>Positron Emission Tomography</i>)

Anhang

PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (<i>Federal Institute of Physics and Metrology</i>)
R β	Rest-Beta-Aktivität (<i>residual beta activity</i>)
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (<i>Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities</i>)
RMP	Routinemessprogramm (<i>Routine Measuring Program</i>)
RöV	Röntgenverordnung (<i>X-ray Ordinance</i>)
S	Leistungsflussdichte (<i>power flux density</i>)
SAR	Spezifische Absorptionsrate (<i>specific absorption rate</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>)
V	Volt (<i>volt</i>)
VO	Verordnung (<i>Ordinance</i>)
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz (<i>Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection</i>)
W	Watt (<i>watt</i>)
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage (<i>Reprocessing Plant</i>)
WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organization</i>)
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart (<i>Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor</i>)

Z ₀	Feldwellenwiderstand des leeren Raums (<i>field characteristic impedance</i>)
ZdB	Zentralstelle des Bundes (<i>Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity</i>)

Tabellenabkürzungen
(*abbreviation in tables*)

	Angaben nicht sinnvoll (<i>data not relevant</i>)
a	Daten lagen nicht vor (<i>data not available</i>)
N	Zahl der Einzelmessungen (<i>number of individual measurements</i>)
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar (<i>not detected/detectable</i>)
-	Messung / Angabe nicht erforderlich (<i>measurement / data not required</i>)

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl
(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
2. Arzneimittelgesetz (AMG) in der Fassung vom 11. Dezember 1998 (BGBl. I 1999, Nr. 80), zuletzt geändert durch Gesetz vom 26. Juli 1999 (BGBl. I 1999, Nr. 40, S. 636)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 261), zuletzt geändert durch Gesetz vom 14. Dezember 2001 (BGBl. I S. 2610)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr. 20, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes vom 28. Februar 1992 (BGBl. I S. 376)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - ENeuOG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378)
7. Gesetz über Krebsregister vom 4. November 1994 (BGBl. I Nr. 79)
8. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages vom 31. August 1990 in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag vom 23. September 1990 (BGBl. II S. 885, 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI (DDR) I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBI (DDR) 1990 Nr. 34)
9. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I, S. 114), zuletzt geändert durch VO vom 25. Juli 1996 (BGBl. I S. 1172)
10. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)
11. Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße - GGVS) in der Fassung vom 22. Dezember 1998 (BGBl. I 1998, Nr. 87) zuletzt geändert durch Verordnung vom 23. Juni 1999 (BGBl. I 1999, Nr. 33)
12. 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)
13. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorge-Verordnung - AtDeckV) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
14. Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Gesetz vom 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
15. 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)

16. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung) vom 19. Dezember 1959 (BGBl. I S. 761), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
17. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - AMRadV - vom 28. Januar 1987 (BGBl. S. 502), zuletzt geändert durch die Neufassung des Arzneimittelgesetzes vom 19. Oktober 1994 (BGBl. Nr. 73)
18. 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)
19. 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)
20. Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 31. Juli 1991 (BGBl. I S. 1768)
21. Verordnung zur Errichtung eines Strahlenschutzregisters vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607)
22. 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV vom 20. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1966)
23. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31. Juli 1998 (BGBl. I S. 1918)
24. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990 (BAnz. Nr. 64a vom 31. März 1990)
25. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BAnz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
26. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - AVV-StrahLe) vom 28. Juni 2000 (BGBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
27. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBI. 1994, S. 286)
28. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil I: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
29. 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)
30. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBI. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
31. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBI. 1996, S. 698)
32. Richtlinie für den Strahlenschutz bei Verwendung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Bestrahlungseinrichtungen mit radioaktiven Quellen in der Medizin (Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin) vom 14. Oktober 1992 (GMBI. 1992, S. 991)
33. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBI. 1993, S. 502)
34. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBI. 1996, Nr. 9/10, S. 195)
35. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvor-

- sorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBI. 1995, S. 261)
36. 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)
 37. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBI. 1982, S. 592)
 38. Richtlinie zur Durchführung von Prüfungen zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik nach § 16 RöV, 1. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 (BArbBI 9/90, S. 66)
 39. Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin und Zahnmedizin bei der Anwendung von Röntgenstrahlen auf Tiere, 8. und 9. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 und BArbBI 9/90, S. 67 und vom 1. Juli 1991 (BArbBI 9/91, S. 88)
 40. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und fachliche Eignung bei der Erzeugung von Röntgenstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb nicht-medizinischer Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftiger Störstrahler sowie Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik) vom 13. Januar 1988, 4. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 1. Februar 1988 (BArbBI 3/88, S. 89)
 41. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBI. 1981, S. 26)
 42. Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 159/1, 39. Jahrgang, 29. Juni 1996
 43. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
 44. Ergänzung der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin - Anforderungen an die Fachkunde bei der Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe in der Diagnostik vom 4. Mai 1984 (GMBI. 1984, S. 236)
 45. Richtlinie über Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung vom 10. Dezember 2001; Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) (GMBI. 2002, S. 136)
 46. 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)
 47. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb, KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/93), Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1993)
 48. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, KTA-Regel 1504, (Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1995)
 49. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren, KTA-Regel 1507, BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998
 50. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, KTA Regel 1508, BAnz. Nr. 37 a vom 22. Februar 1989
 51. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken, GMBI 19 (1978), S. 313 und GMBI 9/10 (1996) S. 247
 52. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)

-
53. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
 54. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
 55. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBI. 1982, S. 61)
 56. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
 57. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBI. 1983, S. 176)
 58. KTA-Regel Nr. 1507 "Überwachung der Ableitung gasförmiger, aerosolgebundener und flüssiger radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren" (BAnz. Nr. 125 vom 5. Juli 1984, Beilage 36/84, zuletzt bestätigt am 27. Juni 1989)
 59. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBI. 1989, S. 71)
 60. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
 61. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBI 2/90, S. 137)
 62. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juli 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

6. Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide
(List of nuclides 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^-
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 x 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 x 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 x 10 ⁵ a	β^-
		Tc-99m	6,01 h	R
44	Ruthenium	Ru-103	39 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-, γ
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ϵ, γ
47	Silber	Ag-108m	2,4 min	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,8 d	ϵ, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	R
53	Jod	I-123	13,1 h	ϵ, R
		I-125	59,4 d	ϵ, R
		I-129	1,6 x 10 ⁷ a	β^-, γ
		I-131	8,02 d	β^-, γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	R

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
54	Xenon	Xe-133	5,25 d	β^- , R
		Xe-133m	2,19 d	R
		Xe-135	9,1 h	β^- , γ
		Xe-135m	15,3 min	R
		Xe-137	3,84 min	β^- , γ
55	Cäsium	Xe-138	14,1 min	β^- , γ
		Cs-134	2,06 a	β^- , γ
		Cs-137	30,2 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^- , γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ
		Ce-144	285 d	β^- , γ
61	Promethium	Pm-147	2,6 a	β^- , γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ϵ , β^+ , β^- , γ
		Eu-154	8,8 a	β^- , γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ϵ , R
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , R
81	Thallium	Tl-201	73 h	ϵ , R
82	Blei	Pb-210	22 a	β^-
		Pb-214	27 min	β^- , γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 min	α
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 μ sec	α
		Po-218	3,05 min	α
		Rn-219	3,96 sec	α , γ
		Rn-220	55,6 sec	α
86	Radon	Rn-222	3,8 d	α
		Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
88	Radium	Ra-228	5,75 a	β^-
		Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	7,5 x 10 ⁴ a	α
		Th-232	1,4 x 10 ¹⁰ a	α
90	Thorium	Th-234	24,1 d	β^- , R
		Pa-234	6,7 h	β^- , γ
91	Protactinium	U-233	1,6 x 10 ⁵ a	α
		U-234	2,45 x 10 ⁵ a	α
		U-235	7,0 x 10 ⁸ a	α , R
		U-238	4,5 x 10 ⁹ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,35 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α , R
		Pu-239	2,4 x 10 ⁴ a	α , R
		Pu-240	6563 a	α , R
		Pu-241	14,4 a	β^-
		Am-241	432 a	α , R
95	Americium	Cm-242	163 d	α , R
		Cm-244	18,1 a	α , R

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre
 α = Helium-Kerne
 β^- = Elektronen

ϵ = Elektroneneinfang
 γ = Gammastrahlung
R = Röntgenstrahlung

β^+ = Positronen

