Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht

2002

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

Redaktion:
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit
FG St-SG
85762 Oberschleißheim

Bonn, November 2003

Vorwort

Der Bericht enthält gegenüber dem gleichnamigen sogenannten “Parlamentsbericht”, mit dem die Bundesregierung nach § 5 Abs. 2 Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrlVG) jährlich dem Deutschen Bundestag und dem Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt zu berichten hat, neben detaillierteren Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung auch ausführlichere und umfangreichere Daten über die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Quellen im Jahr 2002. Um der öffentlichen Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien wie z. B. UMTS gerecht zu werden, enthält der Bericht auch Informationen über die nichtionisierende Strahlung (NIR). Der Bericht zeigt, dass die Gesamtexposition durch ionisierende Strahlung in Höhe von 4,1 Millisievert (mSv) gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben ist.

Der Bericht weist folgende Schwerpunkte auf:

Natürliche Strahlenexposition

Etwa die Hälfte der gesamten Strahlenbelastung der Bundesbürger stammt aus natürlichen Quellen, wie der kosmischen Strahlung (0,3 Millisievert - 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 mit 1,1 mSv durch Inhalation von **Radon** übertrifft dabei alle anderen Beiträge, in einigen eng begrenzten Gebieten Deutschlands mit einigen 10 mSv sogar sehr deutlich. Nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission (SSK) könnten 4 - 12% der Lungenkrebsfälle in der Bundesrepublik auf die Inhalation von Radonzerfallsprodukten zurückgeführt werden. Im Rahmen einer groß angelegten Messkampagne werden deshalb die Radongebiete in der Bundesrepublik von den Ländern mit Unterstützung durch das Bundesumweltministerium (BMU) und durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ermittelt. Bis Ende 2002 wurden in ca. 60.000 Wohnhäusern entsprechende Messungen durchgeführt.

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die durchschnittliche zivilisatorische Strahlenexposition liegt bei 2,0 mSv. Sie stammt von der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Medizin, Technik und Wissenschaft. Den größten Beitrag dabei liefert die medizinische Strahlenexposition. Dieser ist im Vergleich zu den anderen europäischen Staaten sehr hoch. Von daher ist 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 2002 ca. 314.000, davon im Bereich Medizin ca. 241.000. Die mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten betrug 0,15 mSv.

Strahlenexposition durch den Unfall in Tschernobyl und Kernwaffenversuche

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,01 mSv im Jahr 2002 zurück. Nur bei einzelnen Lebensmitteln wie Pilzen und Wildfleisch sind noch erhöhte Werte der Radioaktivität festzustellen. Die Verordnung EWG Nr 737/90 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 2002 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt.

Strahlenexposition durch Atomkraftwerke

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2002 deutlich unter ein Prozent der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten deutlich unterhalb der genehmigten Werte.

Nichtionisierende Strahlung

Zu diesem Bereich zählen **niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder** sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette **(UV-)Strahlung** gehört. Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden im internationalen Konsens **Grenzwertempfehlungen** ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für **ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen** sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben. Die Einhaltung der Grenzwerte für **ortsfeste** Hochfrequenzanlagen wird durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Laut Aussage der RegTP wurden diese Grenzwerte nicht überschritten.

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

In den Jahren 2002 bis 2005 führt das BfS im Auftrag des BMU ein Forschungsprogramm zur Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks durch. Dafür werden insgesamt 8,5 Mio.€ bereitgestellt. Die Mobilfunknetzbetreiber haben in einer Selbstverpflichtung am 06.12.2001 zugesagt, das Programm mit weiteren 8,5 Mio. € zu unterstützen.

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 BfS und des Umweltbundesamtes (UBA) erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung im Freien. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von 8 in den Monaten Juni und Juli auf. Eine statistische Auswertung der vorliegenden Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen; ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden

Der Bericht macht deutlich, dass der Strahlenschutz in der Bundesrepublik auf hohem Niveau steht. Durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung ist sichergestellt, dass auch künftig dieser hohe Standard gewahrt bleibt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 13
Summary 18
Résumé 23

ABSCHNITT A
IONISIERENDE STRAHLUNG
(IONISING RADIATION)

TEIL I UMWELTRADIOAKTIVITÄT
(Environmental radioactivity)

Historische und gesetzliche Grundlagen der Überwachung 30
(Historical and legal basis of surveillance)

1. Natürliche Umweltradioaktivität 32
(Natural environmental radioactivity)

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt 32
(Natural radioactive substances in the environment)

1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden 33
(Natural radioactive substances in soil)

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser 34
(Natural radioactive substances in water)

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre 36
(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)

1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung 37
(Natural radioactive substances in foodstuffs)

1.6 Natürliche Strahlenexposition 39
(Natural radiation exposure)

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität 41
(Technologically enhanced natural environmental radioactivity)

2.1 Radon in Gebäuden 41
(Radon in buildings)

2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten 44
(Radioactive substances in building materials and industrial products)

2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen - Strahlenexpositionen bei Arbeiten 47
(Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources - radiation exposures due to work activities)

2.3.1 Erhöhte Strahlenexpositionen für Arbeitnehmer 48
(Increased radiation exposure to workers)

2.3.2 Erhöhte Strahlenexpositionen für einzelne Personen der Bevölkerung 49
(Increased radiation exposure to single persons of the population)

2.4 Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten 50
(Residues of past practices or work activities)

3. Künstliche Umweltradioaktivität 54
(Artificial radioactivity in the environment)

3.1 Luft und Niederschlag, Gamma–Ortsdosisleistung 54
(Air and precipitation, ambient gamma dose rate)

3.1.1 Radionuklide in der bodennahen Luft 55
(Radionuclides in air close to ground-level)

3.1.2 Radioaktive Stoffe im Niederschlag (Gesamtdeposition) 60
(Total wet deposition of radionuclides)
3.1.3 Gamma-Ortsdosisleistung 61
(Ambient gamma dose rate)
3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel 68
(Soil, plants, and animal feedstuffs)
3.3 Gewässer 76
(Bodies of water)
3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer 76
(Surface water, suspended matter, and sediment in inland waters)
3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment 92
(Seawater, suspended matter, and sediment)
3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser) 97
(Foodstuffs and drinking water - including groundwater)
3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser 97
(Groundwater and drinking water)
3.4.2 Milch und Milchprodukte 99
(Milk and milk products)
3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer 102
(Fish and seafood, fish from inland waters)
3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung 108
(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)
3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 121
(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials)
3.5 Abwasser und Klärschlamm 123
(Waste water and sludge)
3.6 Reststoffe und Abfälle 132
(Residues and wastes)
3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 134
(Monitoring of incorporation among the population)
3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl 139
(Radiation exposure from the Chernobyl accident)
3.9 Kernwaffenversuche 140
(Nuclear weapons tests)

TEIL II RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN
(Radioactive substances from nuclear and uranium mining facilities)

1. Radioaktive Stoffe aus kerntechnischen Anlagen 144
(Radioactive substances from nuclear facilities)
1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen 144
(General data on nuclear facilities)
1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen 149
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)
1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen 157
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)
1.4 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 159
(Monitoring of environmental media from the surroundings of nuclear facilities)
1.4.1 Luft und Niederschlag 159
(Air and prepicipation)

1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch 162
(Soil, vegetation and milk)
1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer 174
(Surface water and sediment from inland waters)
1.4.4 Fische und Wasserpflanzen 182
(Fish and aquatic plants)
1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser 184
(Groundwater and drinking water)
1.4.6 Pflanzliche Nahrungsmittel 186
(Foodstuffs of vegetable origin)
1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen 197
(Radiation exposures from nuclear facilities)

2. Radioaktive Stoffe aus Uranbergbauanlagen 203
(Radioactive substances from uranium mining facilities)
2.1 Allgemeine Angaben über die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe 203
(General data on the remediation facilities of the Wismut GmbH and the monitoring of discharges of radioactive substances)
2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) 204
(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)
2.3 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen) 205
(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities - Immissions)
2.3.1 Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft 205
(Radon-222 concentrations in air close to ground level)
2.3.2 Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern 208
(Monitoring of uranium and radium-226 activity concentrations in surface waters)

TEIL III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION
(Occupational radiation exposures)

1. Personendosismessungen 212
(Personal dose measurements)
1.1 Vorbemerkungen 212
(Preliminary remarks)
1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen 212
(Overview of data for all occupationally exposed persons)
1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen 216
(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)
1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern . 217
(Occupational radiation exposures from radon daughter products in the new federal Länder)
1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung 219
(Radiation exposures to flight personnel from cosmic radiation)

2. Inkorporationsüberwachung 221
(Incorporation monitoring)

3. Strahlenexposition bei Radarpersonal 223
(Radiation exposures to radar personnel)

4. Meldepflichtige besondere Vorkommnisse 224
(Unusual events subject to reporting)

TEIL IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN
(Radiation exposures from medical applications)

1. Diagnostische Strahlenanwendungen 234
(Diagnostic applications of radiation)

1.1 Röntgendiagnostik 234
(X-ray diagnostics)

1.2 Nuklearmedizinische Diagnostik 240
(Nuclear medicine diagnostics)

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen . 241
(Evaluation in terms of radiation hygiene of radiation exposure due to medical methods)

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren 242
(Alternative examination procedures)

1.5 Qualitätssicherung 243
(Quality assurance)

2. Therapeutische Strahlenanwendungen 245
(Therapeutic applications of radiation)

2.1 Strahlentherapie 245
(Radiotherapy)

2.2 Nuklearmedizin, Therapie 245
(Therapeutic nuclear medicine applications)

3. Herzschrittmacher 247
(Pacemakers)

4. Medizinische Forschung 248
(Medical Research)

4.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung 249
(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)

4.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung 250
(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)

4.3 Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung 250
(Application of x-rays on humans in medical research)

TEIL V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG
(The handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

1. Grenzüberschreitende Verbringung radioaktiver Stoffe 252
(Border-crossing transport of radioactive material)

1.1 Einleitung 252
(Introduction)

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren 252
(Legal basis and procedures)

1.3 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe 254
(Overview of statistics on the import and export of radioactive materials)

1.4 Einfuhrstatistik 256
(Import statistics)

1.5 Ausfuhr 259
(Export statistics)

2. Beförderung radioaktiver Stoffe 263
(Transportation of radioactive materials)

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe 263
(Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen 264
(Transportation of radioactive material in the rail- and shipping traffic of the railways)

3. Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen 267
(The handling of sealed and unsealed radioactive sources)

3.1 Allgemeine Angaben 267
(General data)

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen 275
(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)

3.3 Bestand radioaktiver Abfälle 277
(Stock of radioactive wastes)

ABSCHNITT B
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG
(NON-IONISING RADIATION)

1. Statische Felder 280
(Static fields)

2. Niederfrequente Felder 281
(Low frequency fields)

3. Hochfrequente Felder 283
(High frequency fields)

4. Optische Strahlung 285
(Optical radiation)

5. Forschung 289
(Research)

6. Aktuelle Themen 290
(Actual topics)

ANHANG
(ANNEX)

1. Erläuterung zu den verwendeten Begriffen 294
(Explanation of terms used)

1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten 294
(Radiation dose and related units)

1.2 Die Messung der Strahlendosen 296
(Measurement of radiation doses)

1.3 Äußere und innere Bestrahlung 297
(External and internal radiation exposure)

1.4 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung 298
(Stochastic and deterministic radiation effects)

1.5 Induktion von Leukämie und Krebs 299
(Induction of leukemia and cancer)

1.6 Risikoabschätzung 300
(Risk assessment)

1.7 Strahlenschutzmaßnahmen 302
(Radiation protection measures)

2. Physikalische Einheiten 303
(Physical units)

3. Glossar 305
(Glossary)

4. Liste der verwendeten Abkürzungen 309
(List of abbreviations)

5. Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen, Erläuterungen und sonstige Regelungen zum Strahlenschutz - Auswahl 313
(Laws, ordinances, guidelines, recommendations, explanatory texts and other regulations concerning radiation protection - selection)

6. Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide 317
(List of radionuclides referred to in the text)

Zusammenfassung

A IONISIERENDE STRAHLUNG

Zum 1. Juli 2002 trat die Novelle der Röntgenverordnung in Kraft (BGBl. I S. 1869). Damit wurden Anforderungen der Richtlinie 96/29/EURATOM über die Grundnormen für den Strahlenschutz und der Patientenschutzrichtlinie 97/43/EURATOM in deutsches Recht umgesetzt. Analog zur Strahlenschutzverordnung ist die rechtfertigende Indikation für die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen jetzt in einem eigenen Paragrafen deutlicher als zuvor festgelegt. Zur Optimierung des Strahlenschutzes sind jetzt auch in der Röntgendiagnostik Referenzwerte zu beachten.

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

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2002 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 2002

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

In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben die beträchtlichen regionalen Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlich radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt und in geringem Maße die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt an radioaktiven Stoffen bewirken eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die aus diesen Radionukliden entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte. Zur Zeit werden nationale und internationale epidemiologische Studien 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 vorliegenden Messergebnissen, dass in Bergbaugebieten des Uran- und Kupferschieferbergbaus überdurchschnittlich hohe Radonkonzentrationen auftreten, die aber auch in geologisch vergleichbaren Gebieten beobachtet werden und deshalb offensichtlich 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 radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verursacht. Der 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, bedingt vor allem durch die dosisintensiven Untersuchungsverfahren Computertomographie und Angiographie einschließlich der interventionellen Radiologie, hin. 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 weiter ansteigen. 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. Nach Einschätzung der PET-Betreiber wird die Anzahl der PET-Untersuchungen in den nächsten Jahren deutlich zunehmen. Dies muss aber nicht zwangsläufig zu einem Anstieg der kollektiven Dosis führen, da die mittlere Dosis pro Untersuchung durch vermehrten Einsatz der 3-D-Akquisitionstechnik deutlich reduziert werden kann.

Mit Inkrafttreten der novellierten Röntgenverordnung am 21.06.2002 wurde der Strahlenschutz des Patienten in wesentlichen Punkten weiter verbessert. Analog zur Strahlenschutzverordnung ist die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie Röntgenstrahlung am Menschen angewendet wird, jetzt mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation deutlicher als zuvor festgelegt. Weiterhin wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlung anwenden bzw. Röntgenuntersuchungen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind jetzt auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte zu beachten. Die Überwachung der diagnostischen Referenzwerte erfolgt durch die ärztlichen Stellen, die Erstellung und Aktualisierung durch das BfS. Als weitere neue Aufgabe des BfS ist das Genehmigungsverfahren zur Anwendung von Röntgenstrahlung in der medizinischen Forschung zu nennen.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Atomkraftwerken, sonstigen kerntechnischen Anlagen und aus dem ehemaligen Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachtanlage 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 2001 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 2002 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 schwache Strahlenquellen darstellen, wie Fernsehgeräte, Monitore, Rauchmelder und antistatische Vorrichtungen, sind in Gebrauch. Die Strahlenexposition von Einzelpersonen und Gesamtbevölkerung durch technische Geräte wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung begrenzt und so niedrig wie möglich gehalten. Der mittlere Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt ist kleiner als 0,01 Millisievert pro Jahr.

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch äußere Strahleneinwirkung für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 314 000) lag 2002 bei 0,15 Millisievert. Bei ca. 85 % der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres eine effektive Dosis von 0 Millisievert ermittelt. Bei den übrigen Überwachten mit einer Jahresdosis von oder mehr als 0,1 Millisievert (ca. 47 600) ergibt sich eine mittlere Personendosis von 1,0 Millisievert. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher 2002 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 2002 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 2002 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.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Die Strahlenexposition infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl nahm 2002 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 2002 lässt sich mit weniger als 0,001 Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein.

Radioaktive Abfälle

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

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 2000 67.220 m^3 (nicht wärmeentwickelnde Abfälle). Wärmeentwickelnde Abfälle fielen in Deutschland bisher nur in geringen Mengen an.

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 Beeinträchtigungen 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 ortsfeste Nieder- und Hochfrequenzanlagen basieren auf diesen Empfehlungen und sind in der 26. BImSchV (26. Verord-

nung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über elektromagnetische Felder; gültig seit 1. Januar 1997) festgeschrieben.

Die Einhaltung der Grenzwerte von ortsfesten Hochfrequenzanlagen z.B. des Mobilfunks wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (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 ortsfesten 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 begegnet wird. Insbesondere werden Anstrengungen unternommen, durch gezielte Forschung die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu sichern und zu erweitern.

Optische Strahlung

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

Aktuelle Themen im Jahr 2002

Intensivierung und Koordinierung der Forschung ist eine der Vorsorgemaßnahmen im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, insbesondere der modernen Telekommunikation. Auf der Basis eines Fachgespräches im BfS im Juni 2001 und unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Forschung, bzw. der Empfehlungen nationaler und internationaler Expertengremien, wurde vom BfS ein Forschungsprogramm erstellt. Die ersten Projekte starteten im Jahre 2002, das gesamte Programm hat eine Laufzeit bis 2005.

Im Januar 2002 wurde vom BfS ein Runder Tisch Solarien (RTS) gegründet mit Teilnehmern wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen sowie Vertretern von Solarienbetrieben und Solarienherstellern. Der RTS hat das Ziel, einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarienbetrieben festzulegen und eine freiwillige Zertifizierung durch das BfS für die Betriebe anzubieten.

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post hat Daten über Sendeanlagen in einer zentralen Datenbank den Kommunen verfügbar gemacht.

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

Summary

A IONISING RADIATION

On 1 July 2002, the amendment to the X ray Ordinance (RöV) has entered into force (BGBl. I, p.1869). 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. Analogous to the Radiation Protection Ordinance, the justifying indication for the use of X-rays in humans is now more clearly defined in an individual paragraph. For the optimisation of radiation protection, reference values have now to be applied also in X-ray diagnostics.

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 substancesückung
- occupational exposure
- nuclear weapons testsückung
- 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 2002 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose remained unchanged for most areas.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2002

			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 radioinuclide 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 of 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. In spite of the broad use of alternative examination procedures (ultrasound, endoscopy, magnetic resonance tomography) surveys indicate a further slight increase of the examination frequencies, mostly due to the dose-intensive examination procedures of computer tomography and angiography including interventional radiology. The value for the mean effective dose is expected to show a moderate increase over the coming few years only - due to the increasingly successful quality assurance and control measures applied in diagnostic radiology and nuclear medicine. Corresponding surveys for the updating of the data for frequency and dose have been performed continuously at the Federal Office for Radiation Protection since 1991, supported by the health service organisations.

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

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 Emission Tomography (PET) applied as a nuclear medicine diagnostic method. The operators of the PET technique assume that the number of PET examinations will considerably increase in the next few years. However, this must not necessarely lead to

increased collective dose, because the mean dose per examination is clearly reduced due to the more frequent use of the 3-D-acquisition technique.

With the amended X ray Ordinance entering into force on 21 June 2002, main aspects of radiation protection of the patient have been further improved. Analogous to the Radiation Protection Ordinance, the decision if and in which way X-rays are used in humans is defined more clearly with the term of justifying indication. For the optimisation of radiation protection in radiological diagnostics, the diagnostic reference values have to be observed also in X-ray diagnostics. The surveillance of the diagnostic reference values is carried out by the medical services, and the development and up-dating is done by BfS. An additional new task of BfS is the licensing procedure for the use of X-rays in medical research.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and the former Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) contributes only insignificantly to radiation exposure to the population. The 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 2001. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the German borders to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained below 0.01 millisievert, also in the year 2002.

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

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

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 314 000) controlled using personal dosimeters was about 0.15 millisievert in the year 2002. The effective dose of 0 millisievert was assessed, over the entire year, in about 85% of all controlled persons. In all other cases with an annual dose of 0.1 millisievert or more (approx. 47 600) 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 2002.

Nuclear weapons testing

In the year 2002, 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 2002 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radiation accidents and unusual events

Due to the strict regulations laid down in the legislation of radiation protection, radiological emergencies with persons handling sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. An overview on radiological emergencies is shown in Part III 4.

Chernobyl reactor accident

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 2002; 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 foodstuff is estimated to have been less than 0,001 millisievert in the year 2002. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be higher by one order of magnitude.

Radioactive waste

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

On 31 December 2000, the levels of radioactive wastes in a suitable state for long-term disposal were 67220 m^3 for wastes with negligible heat generation. The amount of heat-generating wastes in Germany was small up to now.

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 tech

nologies. Today's behaviour in leisure times with long sunbathing and today's "wellness areas" with increasing use of sunbeds cause additional UV exposure. Due to the decrease of ozone layer a further increase of UV exposure to the population is feared.

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, (26^{th} Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act; Ordinance on electromagnetic fields, in force since 1 January 1997).

The adherence to the limit values for fixed high frequency installations, used, e.g., in mobile communications, is controlled in a notification procedure on the granting of a site certificate from the regulation office for telecommunication and postal affairs (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, 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 evalu-

ation shows that from the scientific viewpoint, there exist possible risks which have to be met with precautionary measures. In particular endeavours are made to ensure and enlarge scientific knowledge by means of specific research.

Optical radiation

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

Actual topics in the year 2002

Intensive and coordinated research is one of the precautionary measures in the area of high-frequency electromagnetic fields, particularly of modern telecommunication. BfS worked out a research programme on the basis of an internal expert discussion in June 2001, considering the actual state of research and the recommendations of national and international expert committees. The first projects started in 2002, and the whole programme runs up to the year 2005.

In January 2002, BfS has founded the Round Table Solaria (RTS) with participants of scientific and public institutions as well as representatives of solaria and manufacturers of suntanning appliances. RTS aims at stipulating uniform criteria to achieve a minimum standard for the protection of the clients in solaria and offering to the operators a voluntary certification by the BfS.

The regulation office for telecommunication and postal affairs (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP) has made available in a central data bank data about the installations of telecommunication to the local authorities.

In mid-June 2002, the Jury on Site Certificates has decided on granting the site certificate ”Blue Angel” for low-radioactive cellular phones. Manufacturers of cellular phones can apply for the ”Blue Angel”, if their mobile phones adhere to the criteria fixed by the Jury. Besides clear consumer information and recycling requirements, this includes, among others, a comparatively low maximum radiation intensity of the appliances, expressed in the SAR unit. The Jury has stipulated in this case a maximum limit value of 0.6 Watt per kilogramme. Although some of the appliances fulfil already the requirements on radiation intensity, not any manufacturer has applied yet for the site certificate.

Résumé

A RAYONNEMENTS IONISANTS

Le 1 julliet 2002, la nouvelle Décret sur les rayons X (RöV) est entrée en vigueur (BGBl. I p.1869). 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. Analogue au Décret sur la protection contre les rayonnements, l'indication justifiante pour l'application de rayons X à l'homme est maintenant fixée plus clairement dans un paragraphe individuel. Pour l'optimisation de la protection contre les rayonnements, des valeurs de référence sont à observer également en diagnostique aux rayons X.

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

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

Le tableau suivant indique l'exposition aux rayonnements moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne en 2002. 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 2002

			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	env. 0,4	
		par séjour à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,1
		par séjour à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0,3
	1.3	due à l'inhalation de produits de filiation radon	env. 1,1	
		par séjour à l'extérieur (5 h/jour)		env. 0,2
		par séjour à l'intérieur des maisons (19 h/jour)		env. 0.9
	1.4	due aux substances radioactives naturelles ingestées	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 effectuées 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 insignificante, 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. 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 monoclonals 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. Les opérateurs de la tomographie à émission de positrons estiment que ces examens seront plus fréquents dans les années à venir. Pourtant cela ne mènera pas forcément à une augmentation de dose, parce que la dose moyenne par examen sera beaucoup réduite par l'application de la technique acquisition tridimensionnelle.

Avec le nouveau Décret sur les rayons X (RöV), étant en vigueur depuis le 1er juin 2002, la protection du patient a été améliorée essentiellement. Analogue au Décret sur la protection contre les rayonnements, la décision si et comment le rayonnement X sera appliqué à l'homme, est fixée plus strictement qu'auparavant avec l'indication justifiante. En plus, les demandes en ce qui concerne l'expertise et les connaissances des personnes autorisées à l'application des rayons X, ou qui font les examens avec rayons X, sont plus strictes. Un moyen pour optimiser la radioprotection en diagnostique radiologique est d'observer des valeurs de références diagnostiques, également en diagnostique aux rayons X. La surveillance des valeurs de références diagnostiques est effectuée par les services médicaux, le développement et l'actualisation sont faits par le BfS. En plus une nouvelle tâche du BfS est la procédure de l'autorisation pour appliquer les rayons X sur le domaine de la recherche en médecine.

Technique nucléaire

L'émission de matières radioactives, provenant des installations nucléaires et de l'ancien dépôt final de déchets radioactifs à faible et moyenne activité de Morsleben (ERAM), n'a augmenté l'exposition aux rayonnements de la population que d'une façon insignifiante. Les 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 maximales des émissions de l'exposition aux rayonnements pour des individus, déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 45 du Décret sur la Protection contre les rayonnements (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restées inférieures aux limites de dose fixées par le Décret sur la protection contre les rayonnements. En général, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 2001. Aussi en 2002, la contribution des installations nucléaires internes, ainsi que dans les pays voisins à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne, était inférieure à 0,01 millisievert par an.

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

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

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes pour toutes personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 314.000) a été environ 0,15 millisievert en 2002. Pendant toute l'année, une dose effective de 0 millisievert avait été mesurée chez environ 85% des personnes surveillées. Chez le reste des personnes surveillées avec une dose annuelle à 0,1 millisievert ou plus (environ 47 600), 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 2002, 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 2002, 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.

Accident du réacteur de Tchernobyl

En 2002, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer et, due aux césium-134 et césium-137, la dose effective moyenne était en dessous de 0,015 millisievert. Elle était ainsi largement en dessous d'un pourcent de l'exposition aux rayonnements naturelles, et résulte d'environ 90 % de l'exposition terrestre du césium-137. Pour l'année 2002, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 0,001 millisievert. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur.

Déchets radioactifs

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

Le 31 décembre 2000, l'état de déchets radioactifs capables au stockage (thermique négligeable) était 67220 m^3 (déchets non thermiques). La contribution des déchets thermiques en R.F.A. était insignifiante jusqu'à présent.

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 technologiques 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 par exemple celle du service de radiotéléphonie mobile, est soumise au contrôle de l'Agence de réglementation de la télécommunication et poste (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, 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. Notamment un programme de recherche ciblé est déployé pour confirmer et affiner les connaissances scientifiques dans ce domaine.

La radiation optique

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

Thèmes d'actualité dans l'année 2002

Intensification et coordination de la recherche est une des mesures de précaution dans le domaine des champs électromagnétiques de haute fréquence, particulièrement de la télécommunication moderne. Sur la base d'une discussion d'experts au BfS en juin 2001, et compte tenu de l'état de la recherche et des recommandations des comités d'experts nationaux et internationaux, le BfS a élaboré un programme de recherches. Les premiers projets ont commencé en 2002, et le programme entier est envisagé jusqu'à 2005.

En janvier 2002, le BfS a fondé la Table Ronde Solariums (RTS) avec participants d'institutions scientifiques et publiques, ainsi que des représentants d'entreprises de solariums et des fabricants de solariums. Le RTS a pour but de stipuler des critères homogènes à atteindre un standard minimum pour la protection des clients dans les solariums et d'offrir aux entreprises une certification volontaire au moyen du BfS.

L'agence de réglementation des postes et télécommunications (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP) a mis à disposition des communes les données sur les stations d'émission dans une banque de données centrale.

A mi-juin 2002, le Jury des Certificats écologiques a établi les critères d'attribution du sigle "Ange bleu" apposé aux téléphones mobiles faiblement radiatifs. Les fabricants de téléphones mobiles peuvent obtenir ce sigle sur demande et dans la mesure du respect des critères établis par le Jury. Ces critères concernent principalement la qualité des informations aux utilisateurs, le degré de recyclage et surtout la faiblesse relative de l'intensité radiative maximale des appareils, exprimée en unité SAR. Dans ce contexte, le Jury a posé comme limite la valeur de 0,6 Watt par kilogramme. Bien que certains appareils remplissent déjà les critères de radiation, aucune demande de sigle n'a encore été déposée par les fabricants.

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.

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	SpurenanalyseBereitstellung 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 Strahlenschutz und Umwelt, Berlin	Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen Abluftüberwachung kerntechnischer Anlagen
Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim	Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölkerung
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Oberschleißheim	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Freiburg	γ-Ortsdosisleistung Spurenanalyse Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag

1. Natürliche Umweltradioaktivität
(Natural environmental radioactivity)

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

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 Ausgangsradionuklide 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:

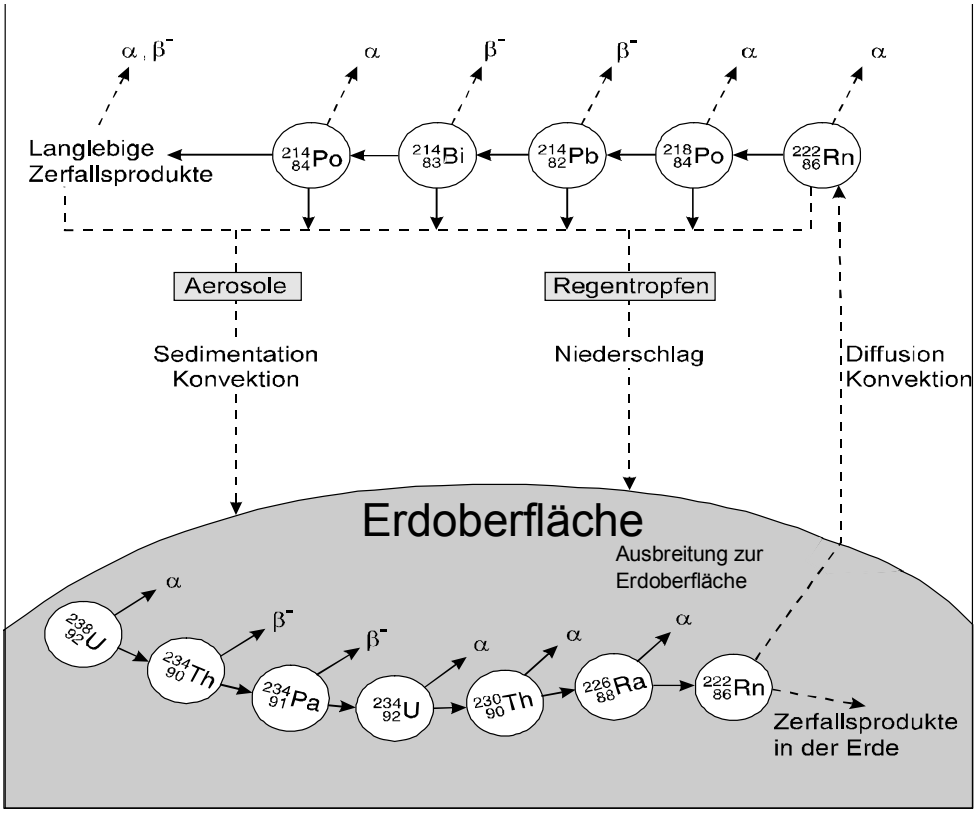
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Thorium-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

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 5 730 Jahre) und Natrium-22 (HWZ 2,6 Jahre).

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

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



BfS	Entstehung des Radon-222 und seiner Zerfallsprodukte aus Uran-238 *(Production of radon-222 and its decay products from uranium-238)*	1.1-1

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 Magmagesteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagesteine 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)

	Kalium-40	Thorium-232	Uran-238
Bodenart	**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 Urangehaltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbaugebiet 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 Bergbaugebiet	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)

Oberflächenwasser

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 (Tabelle 1.3-1).

Tabelle 1.3-1 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten
(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)

Gewässer	Radionuklid	Wertebereich Aktivitätskonzentration (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 *)
		(< 400 - 2000)
	Blei-210	2 - 70
	Thorium-232	0,04 - 0,4
	Radium-228	< 1 - 10

*) Geschätzter Mittelwert Bundesrepublik Deutschland

Trinkwasser

In Tabelle 1.3-2 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 1.3-2 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 Radon-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergab sich ein Median von 5,9 Bq/l bei einem 95%-Perzentil von 160 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l; der höchste Wert betrug 1500 Bq/l. Die Messungen der Radon-222-Konzentrationen erfolgten zum größten Teil bei Endverbrauchern, z. B. in Privathaushalten, zum kleineren Teil in Wasserversorgungsanlagen.

Meerwasser

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 PSU[1]. Im Salz des Meeres sind alle chemischen Elemente in unterschiedlichster Konzentration wie auch natürliche Radionuklide enthalten. Die Konzentration hängt zum Teil vom Salzgehalt ab, so dass deren Konzentration in den Küstengewässern abnimmt. Geochemische Prozesse können dazu führen, dass einige Nuklide aus der Wassersäule abgereichert, in Schwebstoffen angereichert und auf dem Sediment deponiert werden.

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

1. PSU = Practical Salinity Units entspricht in etwa Promille

Tabelle 1.3-3 Die Konzentration natürlicher Radionuklide im Meerwasser beim Salzgehalt von 35 PSU und in Sedimenten von Nord- und Ostsee
(Concentration of natural radionuclides in sea water with 35 PSU salt content, and in sediments of the North- and Baltic Sea)

Radionuklid	Halbwertszeit (a)	Meerwasser (Bq/m^3)	Sediment (Bq/kg)
Tritium	12,3	20 – 100***	-
Be-7	0,146	1,1 - 3,4	-
C-14	5730	5,5 - 6,7	-
Si-32	172	$0,2 - 3,3 \times 10^{-3}$	-
K-40	$1,28 \times 10^{9}$	11800 - 12300	100 - 1000
Rb-97	$4,80 \times 10^{10}$	10^{6}	-
Th-32	$1,41 \times 10^{10}$	$0,4 - 29 \times 10^{-3}$	12 - 50
Ra-238	5,76	0,8 - 8	
Th-228	1,91	0,004 - 0,3	
U-235	$7,04 \times 10^{8}$	1,9	
U-238	$4,47 \times 10^{9}$	40 - 44	2,5 - 186
Th-234	0,066	0,6 - 6,8	*
U-234	$2,45 \times 10^{5}$	47	*
Th-230	$8,0 \times 10^{4}$	$2,52 \times 10^{-3}$	*
Ra-226	1617	0,8 - 8	20 - 80
Pb-210	22,3	0,4 - 2	100 - 300**
Po-210	0,378	0,6 - 1,9	100 - 300**

* In den Sedimenten von Nord- und Ostsee darf weitgehend radioaktives Gleichgewicht mit Uran-238 angenommen werden.

** Dieser Wert gilt für Oberflächensedimente. Durch Eintrag von Radon-222-Zerfallsprodukten aus der Atmosphäre in das Meer ergibt sich ein Überschuss an Blei-210 bzw. Polonium-210 in Oberflächensedimenten gegenüber dem möglichen Zerfall aus Radium-226 im Sediment selbst. Das Alter einer Sedimentablagerung kann damit über den Zerfall des Blei-210 in ungestörten Sedimenten ermittelt werden.

*** Diese Konzentration gilt für ozeanisches Tiefenwasser ohne anthropogenen Einfluss.

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

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 – 30 Bq/m^3. 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/m^3. Bedingt durch Freisetzungen aus speziellen bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonnuklids 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/m^3

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/m³								
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.

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.

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

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

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

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

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 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 µSv/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 Radionuklid 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 Anbetracht 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 [1].

Literatur

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

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

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

2.1 Radon in Gebäuden *(Radon in buildings)*

Die regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden wird vor allem durch das Radonangebot aus dem Baugrund bestimmt. Ein Maß dafür ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Das Radonangebot hängt wiederum von der Geologie des Grundgebirges, von der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und von standortspezifischen Besonderheiten, z. B. tektonischen Störungen, und dem Niveau des Grundwasserspiegels ab. Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen Auffahrungen und Rissen im Deckgebirge das Radonangebot im Untergrund erhöht werden.

Die Radonkonzentration in einem Gebäude wird auch durch die Bauweise, vor allem durch die Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund beeinflusst, aber auch durch die innere Strukturierung der Gebäude und das technisch vorgegebene sowie individuell bestimmte Heizungs-/Lüftungsregime.

Aus diesen Gründen existieren in Deutschland flächenhaft beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Radonkonzentration in Häusern. Sowohl die bisher in ca. 60.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es Gebiete gibt, in denen Radon in Gebäuden keine für den Strahlenschutz relevante Bedeutung hat. In anderen Gebieten können dagegen erhöhte Radonkonzentrationen auftreten (Radongebiete). In solchen Gebieten ist die Anwendung eines gestaffeltes Systems von Untersuchungs- und ggf. von Schutzmaßnahmen zu empfehlen.

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]. Unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über das Gesundheitsrisiko durch die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten werden in Deutschland auch für Aufenthaltsräume in bestehenden Gebäuden bei Radonkonzentrationen im Bereich ab 200 Bq/m³ Maßnahmen empfohlen.

Für die Festlegung von Radongebieten werden in Deutschland nicht nur die Ergebnisse von Radonmessungen in Gebäuden sondern zusätzliche Informationen in Betracht gezogen. Dies sind vor allem Informationen über die geologischen Gegebenheiten, den umgebenden Bergbau, untertägige und übertägige bergbauliche Hinterlassenschaften, Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen und vor allem Informationen über das Radonangebot im Baugrund.

Die wissenschaftlichen Arbeiten zur Festlegung von Radongebieten sind noch nicht abgeschlossen. Für die flexible Auswertung aller Informationen, die dafür und auch für Prognosen z. B. über Häufigkeiten von erhöhten Radonkonzentrationen in bestimmten Gebieten benötigt werden, wurde eine Datenbank entwickelt, die zur Zeit erprobt wird.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen vom BMU geförderter Forschungsvorhaben wurden im Jahre 2002 Untersuchungen in Regionen durchgeführt, in denen auf Grund geologischer Indikatoren oder besonderer bergbaulicher Situationen gehäuft erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern zu erwarten waren.

Diese Untersuchungen zum Radonpotential im Boden und zur Radonkonzentration in Häusern zeigen:

- die in Häusern in Deutschland vorkommenden Radonkonzentrationen sind hinsichtlich ihres geogenen Anteils vergleichbar mit denen, die auch in anderen Ländern Mitteleuropas angetroffen werden.
  Rein geologisch bedingt können Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m^3 auftreten. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass in bergbaulich nicht beeinflussten Gebieten Langzeit-Mittelwerte der Radonkonzentration in Wohnräumen von mehr als 10.000 Bq/m^3 vorkommen. Die höchsten Radonkonzentrationen, die ausschließlich auf geologische Ursachen zurück zu führen sind, wurden in Häusern gemessen, die über Graniten oder ähnlichen Gesteinsformationen errichtet wurden.

- Aktuelle Abschätzungen ergeben, dass auf höchstens 5% der Fläche Deutschlands gehäuft erhöhte Radonkonzentration in Gebäuden auftreten können, insbesondere in älteren Häusern. In diesen Gebieten sollten auch bei Neubauten Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Zu diesen Gebieten gehören auch die Bergbaugebiete. Sie sind von besonderer Bedeutung, da dort über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter mit häufig sehr hoher Radonkonzentration in die Gebäude gelangen können. Die Bewetterung der Stollen, Schächte und Hohlräume ist in solchen Fällen eine wichtige Einflussgröße.
- Auf ca. 25% der Fläche Deutschlands sind auf Grund der geologischen Bedingungen unabhängig von der Bauweise erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern wenig wahrscheinlich. Dies betrifft vor allem große Teile des norddeutschen Tieflandes.

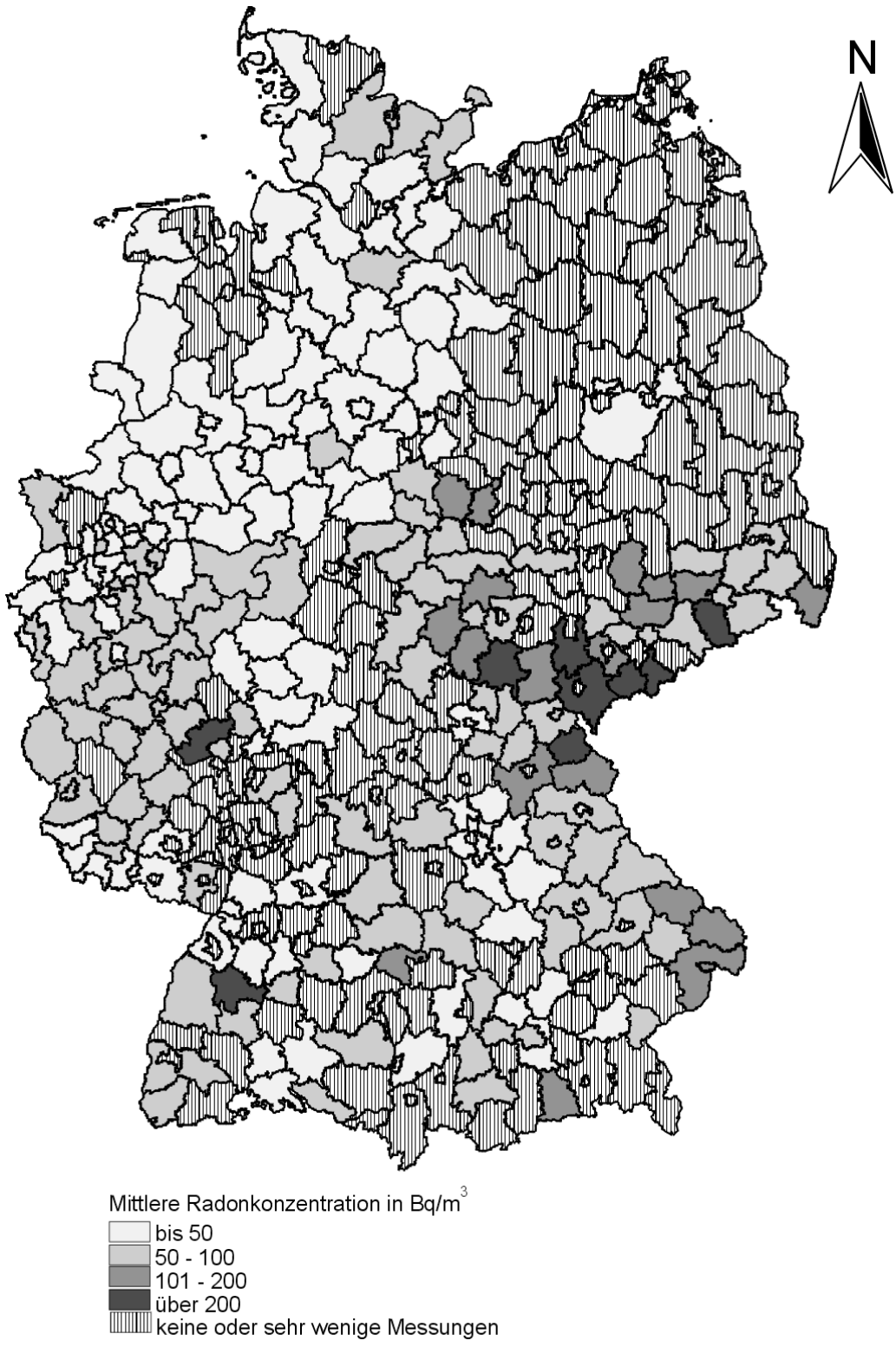
In Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen in Gebäuden, kurzzeitig mehr als 100.000 Bq/m^3 (bis über 600.000 Bq/m^3) und Jahresmittelwerte über 10.000 Bq/m^3 festgestellt. Ursache dafür waren meist Verbindungen zu Grubengebäuden. Aber auch in Häusern, die auf mit Haldenmaterial belegten Flächen gebaut wurden, können hohe Konzentrationen auftreten. 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 Radonangebot eingestuft werden und im Allgemeinen nicht bebaut werden.

Baumaterialien sind in Deutschland selten die Ursache hoher Radonkonzentrationen in Gebäuden. Auch durch die zunehmende Verwendung von Fliesen und anderen Elementen aus Granit im Hausinneren konnte bislang keine dadurch erhöhte Radonkonzentration nachgewiesen werden. Zu beachten ist die Verwendung von Haldenmaterial oder anderen Rückständen zu Bauzwecken. Infolge unkontrollierter früherer Verwendung solcher Materialien als Baustoff wurden in Einzelfällen Jahresmittelwerte von Radon-222-Konzentrationen bis zu einigen Tausend Bq/m^3 gemessen. Diese Fälle sind auf Gebiete beschränkt, in denen hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität besondere Rohstoffe gewonnen oder verarbeitet wurden. Es treten allerdings auch in solchen Gebieten keine flächenhaften Beeinflussungen der Radon-222-Konzentration in Häusern auf. Höhere Radon-222-Konzentrationen wurden nur sporadisch festgestellt.

Generell 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-222-Raumluftkonzentration wurden in Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung festgestellt, weshalb diese in die gesetzlichen Regelungen des Teiles 3 der Strahlenschutzverordnung [2] aufgenommen wurden. Vereinzelt auftretende signifikante Beeinflussungen der Radon-222-Konzentration 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-222 spielt nach derzeitigem Kenntnisstand in Deutschland keine Rolle für die Strahlenexposition der Bevölkerung.

In Abbildung 2.1-1 sind die in Kreisen Deutschlands mit Messungen über die Dauer von einigen Monaten bis zu einem Jahr in Erdgeschoss-Wohnräumen ermittelten Mittelwerte der Radon-222-Konzentrationen dargestellt, sofern in den Kreisen mehr als 20 Messungen vorgenommen wurden.



BfS	Mittelwerte der Radonkonzentration in Erdgeschossen (Grundlage: Messungen über mehrere Monate bis zu 1 Jahr) *(Mean values of radon concentration in ground floors -* *Basis: Measurements from several months to one year)*	**2.1-1**

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

Um die Strahlenexpositionen zu bewerten, deren Ursache die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien sind, werden seit mehr als 20 Jahren in Deutschland Untersuchungen zum Gehalt radioaktiver Stoffe in Baumaterialien und industriellen Rest- und Abfallstoffen durchgeführt. In mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und industriellen Rückständen wurde die spezifische Aktivität des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt.

Von natürlichen Radionukliden in Baumaterialien gehen im Wesentlichen eine äußere Exposition durch Gammastrahlung und eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten aus, das aus dem Baumaterial in die Raumluft freigesetzt wird.

In der Baustoffindustrie wird zunehmend die Verwendungsfähigkeit von Rückständen untersucht. Wegen dieser Entwicklungstendenz in der Baumaterialproduktion ist bei Materialien mit einem überdurchschnittlich hohen Gehalt an natürlichen Radionukliden auf eventuell bestehende Probleme bezüglich des vorsorgenden Strahlenschutzes hinzuweisen. Das Bundesamt für Strahlenschutz wird vom Deutschen Institut für Bautechnik in das Bewertungsverfahren für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten einbezogen.

In den Mitgliedstaaten der Europäischen Union darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt [3]. In der 1999 von der Europäischen Kommission verabschiedeten Empfehlung “Radiation Protection 112 – Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials” [4] werden Rahmenbedingungen für die Kontrolle der Radioaktivität von Baumaterialien festgelegt.

Untersuchungen und Ergebnisse
In Tabelle 2.2-1 sind die in Natursteinen, Bindemitteln, Finalbaustoffen und sonstigen Industrieprodukten sowie in industriellen Rohstoffen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 zusammengestellt.

Tabelle 2.2-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten *(Specific activity of natural radionuclides in building materials and ndustrial products)*

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 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)
Augitporphyrit	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
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)
Holzwolle-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	
Schlämmkreide	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	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
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			-
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	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
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)

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

Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in 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 nur 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 Median ca. 30 Bq/m³ und ist meist deutlich kleiner als 100 Bq/m³.

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich die natürlichen radioaktiven Stoffe an. Bei unkontrollierter Verwendung dieser Rückstände, z. B. ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden in der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) die Rückstände ausdrücklich genannt, die aus der Sicht des Strahlenschutzes zu beachten sind. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegte Überwachungsgrenze für die Verwertung dieser Materialien zum Bauen 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 Regelung und Zulassung von Baustoffen zu beachten, denen Rückstände der genannten Art zugesetzt werden.

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

2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen - Strahlenexpositionen bei Arbeiten

(Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources - radiation exposures due to work activities)

Die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition lässt sich nur schwer in eine vom Menschen völlig unbeeinflusste "natürliche" und in eine "zivilisatorisch erhöhte" Exposition unterteilen. Interna-

tional besteht Konsens darüber, dass die Strahlenexpositionen, die durch den Gehalt an K-40 im Körper, durch die kosmische Strahlung in Höhe des Meeresspiegels und durch die terrestrischen Radionuklide beim Aufenthalt auf der ‘ungestörten‘ Erdoberfläche verursacht werden, natürlich sind und daher immer unberücksichtigt bleiben. In der englischsprachigen Literatur wird dafür auch der Begriff ‘unamenable to control‘ gebraucht. Alle übrigen Komponenten der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen sind durch menschliche Handlungen mehr oder weniger beeinflussbar, zumindest in ihrer Höhe.

In der Vergangenheit galten die Grundsätze des Strahlenschutzes nur für den Umgang mit natürlichen radioaktiven Stoffen (z. B. Nutzung der Radioaktivität, Erzeugung von oder Anwendung als Kernbrennstoff). Zum Umgang zählten auch Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung radioaktiver Bodenschätze. Alle übrigen Strahlenexpositionen, die durch natürliche Quellen verursacht werden, waren nicht Gegenstand rechtlicher Regelungen.

Diese Situation hat sich seit 1996 grundlegend geändert, da mit der Direktive 96/29 EURATOM [5] die Mitgliedsländer aufgefordert wurden, auch Regelungen zur Begrenzung von Strahlenexpositionen für solche Fälle zu treffen, bei denen *natürliche Strahlenquellen vorhanden sind, durch die sich die Exposition von Arbeitskräften und von Einzelpersonen der Bevölkerung so erheblich erhöht, dass dies aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden darf* (Artikel 2, Ziff. 2 der o. g. Direktive).

In dem eigens dafür geschaffenen Regelungsbereich (Titel VII) werden die Anforderungen an den Strahlenschutz in diesem Bereich präzisiert. Zunächst werden die Mitgliedsländer aufgefordert, die Situationen zu identifizieren, die von Bedeutung sein könnten (Artikel 40, Abs. 2) [6]. In der Vergangenheit wurden deshalb in Deutschland umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um solche Fälle zu identifizieren, die aus der Sicht des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden u. a. in dieser Berichtsreihe und in einer Stellungnahme der Strahlenschutzkommission [7] dargestellt.

In der novellierten Strahlenschutzverordnung -StrlSchV-, die am 01. August 2001 in Kraft getreten ist, wurde auf der Grundlage dieser Untersuchungen der Geltungsbereich erweitert. Sie gilt nun auch für Handlungen, *durch die Personen natürlichen Strahlenquellen so ausgesetzt werden können, dass die Strahlenexpositionen aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden dürfen* (§ 2 Abs.1 Ziff. 2). Diese Handlungen werden als Arbeiten bezeichnet. Die Regelungen dafür werden im Teil III unter der Überschrift Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlenquellen bei Arbeiten getroffen. Sie folgen dem Konzept, das in der o. g. Direktive der Kommission der Europäischen Gemeinschaft vorgegeben worden ist.

Im § 3 wird der Begriff Arbeiten weiter erläutert. Danach ergeben sich drei wesentliche Komplexe, für die die Regelungen anzuwenden sind:

- erhöhte Strahlenexpositionen durch natürliche Radionuklide für Arbeitnehmer in bestimmten Arbeitsfeldern,
- ehöhte Strahlenexpositionen für einzelne Personen der Bevölkerung, die durch die Verwendung oder Deponierung von Rückständen aus bestimmten industriellen Prozessen oder bergbaulichen Tätigkeiten verursacht werden und
- erhöhte Strahlenexpositionen durch kosmische Strahlung für Flugzeugbesatzungen.

2.3.1 Erhöhte Strahlenexpositionen für Arbeitnehmer *(Increased radiation exposure to workers)*

In Anlage XI der StrlSchV werden die Arbeitsfelder genannt, bei denen durch das Vorhandensein natürlicher Radionuklide für Arbeitnehmer erhöhte Strahlenexpositionen auftreten können. Es handelt sich einerseits um Arbeiten, bei denen erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon auftreten (Anlage XI Teil A) und andererseits um Arbeiten, bei denen erhöhte Strahlenexpositionen durch Uran und/oder Thorium möglich sind (Anlage XI Teil B).

Für den beruflichen Strahlenschutz der Beschäftigten bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern gelten ebenfalls die im Teil 3 der StrlSchV getroffenen Regelungen.

Für den beruflichen Strahlenschutz der Beschäftigten bei der Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten der Wismut GmbH gelten die im § 118 Abs. 2 genannten Regelungen des Teils 2 der StrlSchV.

Über die Ergebnisse der Abschätzung und Ermittlung der Strahlenexpositionen für die Beschäftigten wird im vorliegenden Bericht im Teil III dieses Berichts unter Punkt 1.4 berichtet.

Für den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung werden ebenfalls im Teil III Regelungen getroffen. Über die Ergebnisse der Ermittlung der Strahlenexpositionen für diesen Regelungsbereich wird im Teil III dieses Berichts unter Punkt 1.5 berichtet.

2.3.2 Erhöhte Strahlenexpositionen für einzelne Personen der Bevölkerung *(Increased radiation exposure to single persons of the population)*

Aus umfangreichen Untersuchungen, die in den zurück liegenden Jahren durchgeführt worden sind und deren Ergebnisse in den vorangegangenen Berichten dargestellt wurden geht hervor, dass für Personen der allgemeinen Bevölkerung erhöhte Strahlenexpositionen nur dann auftreten können, wenn Rückstände mit erhöhter spezifischer Aktivität verwertet oder beseitigt werden. Handlungen bei denen solche Rückstände entstehen, fallen auch unter die im Teil 3 der StrlSchV getroffenen Regelungen (§§ 97 bis 102). Die Anlage XII Teil A enthält eine Liste der technologischen Prozesse und der in diesen Prozessen anfallenden Rückstände, die grundsätzlich zu berücksichtigen sind. Bei der Verwertung oder Beseitigung dieser Rückstände sind die Regelungen des Teils 3 der StrlSchV zu beachten, es sei denn, dass sie in den dort genannten technologischen Prozessen wiederum als Rohstoffe eingesetzt werden oder die spezifische Aktivität jedes Nuklids der Nuklidketten U-238 oder Th-232 unter 0,2 Bq/g liegt. Es handelt sich vor allem um Rückstände aus bergbaulichen und industriellen Prozessen, bei denen wegen der geologischen Bedingungen oder infolge der Verarbeitung im Vergleich mit dem normalen Aktivitätsbereich in Böden und Gesteinen erhöhte spezifische Aktivitäten auftreten können.

Fallen bei den Arbeiten jährlich mehr als 2000 t dieser Rückstände an, so ist dieser Sachverhalt der zuständigen Behörde, aber auch der für das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zuständigen Behörde mitzuteilen. Zur Verwertung und Beseitigung dieser Rückstände ist ein Konzept als betriebsinternes Planungsinstrument zu erarbeiten.

Wenn jedoch bei ihrer Verwertung oder Beseitigung die in der Anlage XII Teil B genannten Verwertungs- oder Beseitigungswege und die dafür geltenden Überwachungsgrenzen eingehalten werden, ist eine weitere Überwachung für diese Rückstände nicht erforderlich. Diese Überwachungsgrenzen sind so gewählt, dass für die Bevölkerung Strahlenexpositionen von mehr als 1 mSv pro Jahr nicht auftreten sollten. Das gilt auch für die Beschäftigten, die die Rückstände verwerten oder beseitigen.

Da nur für eine Verwertung oder Beseitigung auf den ausdrücklich genannten Wegen bei Einhaltung der Überwachungsgrenzen auf eine Überwachung verzichtet werden kann, ergibt sich zwangsläufig, dass Rückstände nicht abhanden kommen dürfen und gegen eine unbefugte Verwendung zu sichern sind.

Rückstände, bei deren Verwertung oder Beseitigung auf den genannten Wegen die für diese Wege geltenden Überwachungsgrenzen nicht eingehalten werden oder die anders als auf diesen Wegen verwertet oder beseitigt werden, sind weiterhin überwachungsbedürftig. Auf Antrag können diese überwachungsbedürftigen Rückstände jedoch durch die Behörde aus der Überwachung entlassen werden. Weitere Strahlenschutzmaßnahmen sind dann nicht erforderlich. Diese Entscheidung kann die Behörde dann treffen, wenn sie sich im Einzelfall davon überzeugt hat, dass die jährliche effektive Dosis von 1 mSv nicht überschritten wird. Die dabei zu beachtenden Grundsätze sind in der Anlage XII, Teil D der StrlSchV aufgeführt.

Folgende Besonderheiten müssen dabei hervorgehoben werden:

- Bei den Abschätzungen der Strahlenexposition sind realistische Einschätzungen der Expositionspfade und -annahmen zu Grunde zu legen,
- bei der Verwertung der Rückstände darf nicht nur die Strahlenexposition betrachtet werden, die sich aus dem ersten Verwertungsschritt ergibt, sondern es müssen alle Etappen der beabsichtigten Verwertung einschließlich der späteren Beseitigung berücksichtigt werden.

Für eine Entscheidung über die Entlassung überwachungsbedürftiger Rückstände zur Beseitigung ist eine vereinfachte Abschätzung der Strahlenexposition möglich, wenn diese Rückstände zusammen mit anderen

Rückständen oder Abfällen auf einer Deponie beseitigt werden sollen. In solchen Fällen kann die Behörde davon ausgehen, dass die jährliche effektive Dosis von 1 mSv nicht überschritten wird, wenn der Mittelwert der spezifischen Aktivität der im Verlaufe von 12 Monaten insgesamt deponierten Rückstände (überwachungsbedürftige Rückstände, Rückstände und sonstige Abfälle) die in Anlage XII, Teil C der StrlSchV festgelegten Werte nicht überschreitet. Wie bei den Überwachungsgrenzen gilt wiederum unter Annahme des radioaktiven Gleichgewichts, dass Werte der spezifischen Aktivität <0,2 Bq pro Gramm jeweils für ein Radionuklid der U-238- Zerfallsreihe und der Th-232- Zerfallsreihe bei der Berechnung des Mittelwertes nicht berücksichtigt werden.

Beachtet werden muss, dass für die Deponierung auf normalen Deponien nur Materialien mit einer spezifischen Aktivität <10 Bq pro Gramm eines Radionuklids der jeweiligen Zerfallsreihen und für die Deponierung auf Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle nur Materialien mit einer spezifischen Aktivität <50 Bq pro Gramm in Frage kommen. Die Werte dürfen bei keinem Nuklid der beiden zu betrachtenden Zerfallsreihen im radioaktiven Gleichgewich überschritten werden.

Können überwachungsbedürftige Rückstände nicht aus der Überwachung entlassen werden, trifft die Behörde eine Entscheidung darüber, wie die Rückstände zu beseitigen und welche Schutzmaßnahmen zu treffen sind.

Nach der Beendigung von Arbeiten müssen Verunreinigungen von Grundstücken, die durch überwachungsbedürftige Rückstände entstanden sind, beseitigt werden. Ziel dieser Maßnahmen ist eine Nutzung des Grundstückes, ohne dass Einschränkungen aus der Sicht des Strahlenschutzes erforderlich sind. Das Kriterium dafür ist wiederum die aus einer Nutzung des Grundstückes mögliche jährliche effektive Dosis von 1 mSv für eine Person der Bevölkerung.

Durch diese Regelungen wird gewährleistet, dass für Personen der Bevölkerung keine Strahlenexpositionen > 1 mSv pro Kalenderjahr auftreten.

2.4 Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten *(Residues of past practices or work activities)*

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der Neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für die Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis 1999 das Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)" durchgeführt. In 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. Nach der begrifflichen Systematik der StrlSchV handelt es sich dabei um Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten (Hinterlassenschaften des frühen Uranbergbaus) oder Arbeiten (Hinterlassenschaften des Altbergbaus).

Die Berichterstattung über die Ergebnisse des Projektes wurde 2002 abgeschlossen. Die Berichte mit den Untersuchungsergebnissen und deren Bewertung wurden den Landesbehörden übergeben. Ihnen steht auch das Fachinformationssystem zur bergbaubedingten Umweltradioaktivität (FbU), das im Rahmen des Projektes entwickelt worden ist, zur Verfügung.

In den Neuen Bundesländern gelten nach § 118 der StrlSchV für die Sanierung der Hinterlassenschaften aus früheren Tätigkeiten oder Arbeiten folgende Rechtsvorschriften fort: die Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.Oktober 1989, die Durchführungsbestimmung zu dieser Verordnung und die Anordnung über die Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17.November 1980.

In den Alten Bundesländern erfolgte noch keine systematische Erfassung der Hinterlassenschaften des Altbergbaus. Nach bisherigen Recherchen in ausgewählten Bundesländern ist jedoch davon auszugehen, dass dort ebenfalls potenziell radiologisch relevante Bergbauhalden vorhanden sind. Tabelle 2.4-1 zeigt eine Auswertung dieser Ergebnisse. Für weitere Altbergbaustandorte in den übrigen Alten Bundesländern ist derzeit keine qualitative Bewertung möglich.

Tabelle 2.4-1 Radiologisch relevante Hinterlassenschaften des Altbergbaus in Alten Bundesländern
(Relics of former mining activities relevant to radioalogy in the f ormer federal Laender)

Bergbau	Halden	
	Anzahl	Masse in t
Baden-Württemberg		
Eisen / Mangan	33	20000
Buntmetalle	15	21000
Steinkohle	3	20000
Ölschiefer	1	800000
Uran	3	37000
Bayern		
Uran	6	120000
Flussspat	1	150000
Zinn	1	10000
Silber / Eisen	1	100000
Zinngranit	3	-

Auch in anderen Bereichen und nicht nur in den Neuen Bundesländern muss mit Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten gerechnet werden, für die Sanierungsmaßnahmen aus der Sicht des Strahlenschutzes in Betracht gezogen werden müssen. Eine allgemeine Übersicht zu industriellen Hinterlassenschaften gibt die Tabelle 2.4-2.

Tabelle 2.4-2: Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität in Deutschland
(Mining relics with increased natural radioactivity in Germany)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
Erdölgewinnung (Rohöl)	Lagerstätten-wasser	Ablagerungen (Krat, Schalen) in Förderanlagen und Rohrleitungen, Schlammabsätze in Tanks, Bohrschlammgruben	Ra-226: 90.000 - 100.000, Pb-210: 7.000 - 72.000, Ra-228: 72.000 - 360.000, Th-228: 33.000 - 20.0000
Erdgasgewinnung	Lagerstätten-wasser	Ablagerungen (Krat, Schalen) in Rohrleitungen, Schlammabsätze in Tanks, Bohrschlammgruben	Ra-226: 90.000 - 100.000, Pb-210: 7.000 - 72.000, Ra-228: 72.000 - 360.000, Th-228: 33.000 - 200.000
Phosphat-Industrie (P-Säure, P-Dünger)	Phosphaterze	Nicht aufbereitete Phosphogipse/ Chemiegips	U-238: 300 - 1.700
		Flugasche	Po-210: 800.000
Roheisenmetallurgie	Erze	Stäube und Schlämme aus Rauchgasreinigung	Pb/Po-210: 1.000 bis 10.000
		Schlacken	U-238: 200 - 400
Kupferschieferverhüttung	Kupferschiefererze	Gießereischutt, Sande Schlacken	Ra-226: 500 - 1.000 (Mittel 770)
Bauxitaufbereitung	Mineral (Aluminium)	Stäube, Schlämme	Pb/Po-210: bis 15.000,
		Rotschlamm	U-238 und Th-230: ca. je 300 (>100 - 1.000)
Columbit-, Euxenitaufbereitung	Mineral (Niob, Tantal)	Schlämme, Sande, Schlacken, Stäube	Th-232: 1.000 - 2.000, Ra-226: 8.000, Th-232: 44.000, Pb/Po-210: > 100.000
Pyrochlor-, Mikrolytaufbereitung	Erz, Mineral (Nb, Ti, Ta)	Schlämme, Sande, Schlacken, Stäube	U-238: 2.000 - 17.000, Th-232: 3.000, teils Ra-226: 400.000, Pb/Po-210: > 100.000

(Fortsetzung Tabelle)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
Aufbereitung Seltener Erden (i.W. Cer, Lanthan)	Mineralsande	diverse Rückstände	Ra-226: 33.000
Kohleverbrennung	Steinkohle	Flugaschen, Schlacken	Ra-226: 240 Th-232: 330
Kohleverbrennung	Braunkohle	Flugaschen	Ra-226: 100 - 330, Po-210: 4.000
Steinkohlebergbau	Grubenwasser	Ra-Barytausfällungen in Vorflutern, Ra-Kontamination der Bachsedimente, Klärschlämme und Sumpfungsschlämme	Sedimente: Ra-226: 20.000, Ra-228: 6.700 Th-228: 1.400 ; Klärschlamm (TS): Ra-226: 100 - 600, Ra-228: 70-300, Th-228: 15-30, U-238: > 20
Wasseraufbereitung	Rohwasser	Schlämme, Filterreinigungsrückstände, Ra-Austauscherharze, Aktivkohle,	Ra-226: 500 - 1.000, teils 10.000
Herstellung von thorierten Schweisselektroden und Gasglühstrümpfen	Monazitsande, Thoriumoxid	Schleifabfälle, Glühstrumpfbruch, Bodenkontamination	Th-232: 30.000 - 150.000, kontaminierter Boden: Th-232: 40.000
Luftfahrtindustrie	Mg-Thorium-Legierungen	diverse Rückstände	
Monazitförderung/-verarbeitung	Mineralsande in Deutschland		Th-232: 5.000 - 10.000 U-238: 1.000 - 2.000
Herstellung von Thorium / Thoriumdioxid	Monazitsande	Rohstoffrückstände, Boden- und Gebäude-kontaminationen	kontaminierter Boden: Th-232 + Th-228: 31.000, Th-230: > 1.900
Herstellung von Uran / Uranoxid	Uranerze/-Konzentrate	Rohstoffrückstände, Boden- und Gebäudekontaminationen	kontaminierter Boden: U-238 > 6.000
Herstellung von Kraftstoff aus Kohle nach dem Fischer-Tropsch Verfahren	Katalysatormassen auf Kobalt-Kieselgurbasis mit 8 - 15 Gew.% Thoriumoxid,	Kontamination von Gebäuden und Betriebsflächen, Ablagerung von Rückständen, Schlammablagerungen in Kanalisation und Absatzbecken	Schlammabsätze und Bodenverunreinigungen: Th-232, Ra-228 und Th-228: 500.000, Th-230: 100.000, U-238: 1.000, Ra-226 / Pb-210: 10.000
Herstellung von Katalysatoren für die Fischer-Tropsch-Synthese	Monazitsande, Thoriumoxid	Bei der Fischer-Tropsch-Synthese wurde im Zeitraum 1938 - 1945 stets der gleiche Katalysator bestehend aus Kobalt, Kieselgur und Thoriumoxid sowie später Magnesiumoxid eingesetzt	8 - 15 Gew.% Thoriumoxid, entsprechend 567.000 - 1.063.000 Bq/kg Th-nat (1 Bq Th-nat = 0,5 Bq Th-232 + 0,5 Bq Th-228)
Herstellung und Verwendung von Radium-Leuchtfarben	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	kontaminierte Gebäude und Flächen	nicht bekannt
Radium-Fabriken	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	Kontamination von Gebäudeteilen und Betriebsflächen, Schlammabsätze in Kanalisation, Reststoffe	nicht bekannt
Medizinische Anwendung von Radium	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	kontaminierte Gebäude und Flächen	

(Fortsetzung Tabelle)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
optische Industrie (U- u. Th-haltige Gläser, Polierpulver)	Thorium	Fehlchargen, Glasbruch, etc.	Th-232 und Th-228: 10.000
Gießerei-Zirkonsande			U-238: 2.500 - 5.000, Th-232: 500 - 700

Regelungen für die Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten, die für Deutschland insgesamt gelten, werden vorbereitet.

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] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)

[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)

[4] European Commission: Radiation Protection 112 “Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials”, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000, ISBN 92-828-8376-0

[5] European Community: Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities No. L 159/1-114 of June 1996

[6] European Community: Recommendations for the Implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) Concerning Significant Increase in Exposure due to Natural Radiation Sources, Radiation Protection 88

[7] 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

3. Künstliche Umweltradioaktivität
(Artificial radioactivity in the environment)

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

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

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

Die Messnetze des BfS und des DWD sowie dessen radiochemisches Zentrallabor in Offenbach sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS). Das IMIS wird vom BfS im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fachlich und technisch betreut. 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, **A**lpha-**B**eta-**I**od). 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 DWD umfasst 40 Messorte. Dort werden unter anderem nuklidspezifisch messende γ-Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der an luftgetragenen Schwebstoffen gebundenen Radionuklide sowie Messgeräte zur Erfassung der künstlichen α- und der künstlichen β–Aktivität betrieben. Darüber hinaus stehen im Falle eines Intensivbetriebs Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung. Zusätzlich sind 39 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 BfS, Freiburg, 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 nach Art. 35 / 36 EURATOM 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.

Ergebnisse der Routinemessungen

Sowohl die Messwerte der γ-Ortsdosisleistung als auch die ermittelten Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind auch im Jahr 2002 verglichen mit denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

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

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/m^3 Luft, bezogen auf Cäsium-137.

Als über 8 Messstationen errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen Gesamt-β-Aktivität der Luft resultiert für das Jahr 2002 ein Wert von <0,84 mBq/m^3 (Vorjahreswert: <0,84 mBq/m^3).

Edelgase

Die am 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 3.1-1 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration der radioaktiven Xenonisotope in Freiburg dargestellt.

Insgesamt ist der Grundpegel von Krypton-85 im Jahr 2002 weiter leicht angestiegen (siehe Abbildung 3.1-2). Der Medianwert für den Probenentnahmeort Freiburg – repräsentativ für die 10 mitteleuropäischen Stationen - betrug im Berichtsjahr 1,5 Bq/m³ Luft. Dieser Wert liegt geringfügig unter dem Vorjahreswert. Dies ist durch den insgesamt ruhigeren Zeitverlauf der Messwerte im Jahr 2002 zu erklären, der wesentlich weniger kurzzeitige Erhöhungen als im vorangegangenen Jahr zeigt. Der jährliche Anstieg von ca. 30 mBq/m^3 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.

Gammaspektrometrie

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 für Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig dargestellt. Weiterhin sind die Ergebnisse der GSF (München-Neuherberg), des BfS (Schauinsland) und der PTB (Braunschweig) enthalten. Bei den aufgeführten Ergebnissen handelt es sich um Monatsmittelwerte der an den jeweiligen Stationen langjährig beobachteten Radionuklide.

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

Aus den Messungen der GSF am Probenentnahmeort München-Neuherberg ergaben sich ähnliche Aktivitätskonzentrationen wie im Vorjahr. Die Aktivitätskonzentration für Cs-137 lag im Jahresmittel bei 1,4 µBq/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 Probenentnahmeorten in Deutschland beobachtet.

An der Station Schauinsland lag der Jahresmittelwert der Aktivitätskonzentration von Cs-137 bei 0,4 µBq/m^3 Luft (vgl. Abbildung 3.1-4, Tabelle 3.1.1-1d), was in etwa dem Vorjahreswert entspricht. Die Nachweisgrenze für Cs-137 liegt bei 0,2 µBq/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. Frische Spalt- oder Aktivierungsprodukte wurden 2002 nicht nachgewiesen.

In der 35. Kalenderwoche (26.08. bis 02.09.2002) wurde mit 7,9 µBq/m^3 ein auffallend hoher Messwert für Cs-137 gemessen, der wahrscheinlich durch einen Ferntransport von Bodenstaub aus der Ukraine und Weißrussland hervorgerufen wurde (s. u.). Mit Ausnahme dieser Erhöhung war der zeitliche Verlauf des Cs-137-Gehaltes in der Luft ähnlich wie in den vorherigen Jahren. In den beiden Silvesterwochen wurde durch den Eintrag von Kalium-40 aus dem Silvesterfeuerwerk ein deutlicher Anstieg der Aktivitätskonzentration von K-40 in der Luft beobachtet (vgl. Abbildung 3.1-5), der bei 14 bzw. 16 µBq/m^3 lag und das Nuklidverhältnis Cs-137/K-40 auf 1,5% und 1,8% in den beiden Wochenproben erniedrigte.

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

Erhöhte Messwerte für Cs-137 in der 35. Kalenderwoche 2002

In der 35. Kalenderwoche 2002 (Sammelzeitraum 26.08. – 02.09.02) wurde in Teilen Nord- und Mitteleuropas eine geringfügige Erhöhung der Cs-137-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft beobachtet. Der höchste Wert auf deutschem Gebiet in einer Wochenprobe wurde mit 18,4 µBq/m³ an der DWD-Station in Westermarkelsdorf (Fehmarn) gemessen. Die Aktivitätskonzentrationen nehmen innerhalb Deutschlands in südwestlicher Richtung ab. An der Spurenmessstelle der PTB in Braunschweig wurde für die Aktivitätskonzentration von Cs-137 ein Wert von 7,9 µBq/m³ ermittelt, an der Spurenmessstelle des BfS auf dem Schauinsland lag der Wert bei 0,7 µBq/m³, was dem derzeitigen durchschnittlichen Grundpegel der Cs-137-Aktivitätskonzentration in Deutschland in Wochenproben entspricht.

Zum Vergleich: nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl wurden im Süden Deutschlands Tagesmittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentrationen von bis zu 10 Bq/m³ Luft beobachtet.

Nach Informationen von anderen europäischen Spurenmessstellen wurden auch an Stationen in Dänemark, den Niederlanden und in Schweden geringfügige Erhöhungen der Cs-137 Aktivitätskonzentration in der Luft beobachtet. Die Werte entsprechen in etwa den in Norddeutschland ermittelten Aktivitätskonzentrationen. In Frankreich und Finnland wurden keine Erhöhungen beobachtet.

Außer Cs-137 wurden in den gammaspektrometrischen Analysen keine weiteren künstlichen Radionuklide nachgewiesen. Die Ursache der Erhöhung ist nicht eindeutig geklärt. Die wahrscheinlichste Ursache ist die sogenannte Resuspension aus den stark mit Cäsium belasteten Gebieten in der Nähe von Tschernobyl. Das dort auf dem Boden abgelagerte bzw. in Pflanzen eingelagerte Cäsium kann z. B. durch dort in dieser Jahreszeit häufiger auftretende Wald- und Moorbrände in die Atmosphäre gelangen und über große Entfernungen transportiert werden. Die Aktivitätskonzentration des Isotops Cs-134, das in den ersten Jahren nach Tschernobyl noch in Luftproben gemessen wurde, ist aufgrund seiner Halbwertszeit von 2,06 Jahren inzwischen so stark abgesunken, das es in den vorliegenden Proben nicht mehr nachweisbar ist. Das Fehlen anderer künstlicher Radionuklide schließt aus, dass die Ursache für die beobachtete Erhöhung eine Freisetzung aus einem Kernkraftwerk oder bei einem Kernwaffentest war.

Ein Vergleich der Aktivitätskonzentration des Cs-137 mit der des K-40, das vornehmlich aus resuspendiertem Bodenstaub und Pflanzenteilen stammt, ergänzt die Herkunftsbestimmung über Trajektorien, die erschwert wird, wenn Sammelzeiträume einer Woche vorliegen. In der Messreihe von Braunschweig liegt das Verhältnis Cs-137/K-40 im Verlauf eines Jahres im Mittel bei 5%. Beobachtungen der letzten Jahre, dass bei trockenen Ostwindwetterlagen das Verhältnis auf bis zu 15% anstieg, führten zu dem Schluss, dass von Zeit zu Zeit höher kontaminierter Bodenstaub aus Osteuropa nach Norddeutschland verfrachtet wird. In der 35. Kalenderwoche 2002 stieg es auf 46%, was durch den ungewöhnlich hohen Anteil an Bodenstaub aus der Ukraine und Weißrusslands erklärbar ist, der eine relativ hohe spezifische Cs-137-Aktivität enthält. Eine weitere Bestätigung dieser These sind Messungen des Cs-137 und des K-40 an zwei Bodenproben aus den Pripjat-Sümpfen (Ukraine), die der DWD und die PTB durchgeführt haben.

Die über Deutschland gemessene Cs-137-Aktivitätskonzentration in der Luft war so gering, dass sich weder durch die Inhalation der Luft, noch durch eine mögliche Ablagerung des Cs-137 auf dem Boden und auf Pflanzen eine nachweisbare Erhöhung der Strahlenexposition für die Bevölkerung ergibt. Rechnerisch ergibt sich ein Beitrag von weniger als einem Millionstel zur natürlichen Strahlenbelastung von 2,1 mSv pro Jahr.

Dieses Beispiel belegt, dass mit Hilfe der Spurenanalyse auch kurzzeitige Änderungen der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Luft auf niedrigstem Aktivitätsniveau zuverlässig verfolgt werden können. Die Zusammenarbeit der deutschen und auch der europäischen Spurenmessstellen ermöglicht eine großräumige Lagedarstellung. Dies erleichtert die Identifizierung und Lokalisierung möglicher Ursachen für eine Erhöhung und erlaubt Aussagen über die Ausbreitung der Aktivität in der Umwelt.

Radiochemie

Für eine Auswahl von 4 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 µBq/m^3 Luft, für Strontium-90 zwischen 0,2 und 0,4 µBq/m^3 Luft.

Die Messreihe der PTB zeigt für Braunschweig bei Aktivitätskonzentrationen der Pu-Isotope Pu-(239+240) und Pu-238 keine auffälligen Abweichungen vom Verlauf seit 1990 (vgl. Abbildung 3.1-6). Die Aktivitätsverhältnisse Pu-238/Pu-(239+240) liegen in den Proben meistens mit Werten zwischen 5 % und 15 % im üblichen Schwankungsbereich. Lediglich das Messergebnis für das 4. Quartal 2002 fällt mit einem Wert von 35 % aus diesem Bereich heraus. Er ist etwa einen Faktor 11 bis 12 höher als der gegenwärtige Erwartungswert für globalen Fallout und etwa 2,8-fach höher als der Mittelwert aus den bisherigen Proben, die ein Verhältnis unter etwa 30% zeigen.

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

a Messungen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig
Probenentnahmestelle: Braunschweig

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m^3				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
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
2002	2530	0,3	9	0,7	310
Januar	2090	0,2	5	0,38	305
Februar	1890	0,2	4	0,19	86
März	2800	0,4	8	0,45	289
April	3090	0,5	10	0,80	370
Mai	2860	0,4	10	0,33	287
Juni	2960	0,4	10	0,23	217
Juli	2860	0,4	9	0,63	238
August	3330	0,4	17	2,63	513
September	2960	0,3	9	0,68	353
Oktober	1780	0,2	6	0,53	214
November	1530	0,1	5	0,40	279
Dezember	2260	0,2	10	1,50	575

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m^3				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
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
2002	3040	< 0,31	*)	1,44	475
Januar	2910	0,21		3,59	797
Februar	2960	< 0,19		1,28	380
März	3290	0,31		1,58	518
April	4190	0,43		1,77	531
Mai	3520	0,41		0,81	362
Juni	4460	0,63		0,85	572
Juli	3690	0,50		0,84	404
August	2830	0,27		0,7	472
September	2570	< 0,25		0,84	426
Oktober	2660	< 0,19		1,25	374
November	1690	< 0,15		1,71	348
Dezember	1650	< 0,14		2,05	517

*) Daten lagen nicht vor

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

Zeitraum	µBq/m^3							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
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
2002	2284	<3,6	2769	1,3	2821	1,6	2803	<2,6
Januar	2059	< 2,6	2294	< 3,1	2496	< 3,1	2632	< 2,0
Februar	2086	< 2,5	2503	< 4,1	2537	< 3,8	2360	< 2,4
März	3432	< 4,5	3653	1,2	3305	1,9	3773	< 2,5
April	3282	< 4,4	3568	1,0	3661	1,1	4058	< 2,8
Mai	2695	< 3,4	2889	0,3	3455	1,0	2826	< 2,0
Juni	2531	< 3,6	3225	0,3	3259	0,5	3068	< 2,4
Juli	2174	< 3,6	2994	0,3	2599	0,5	2635	< 3,0
August	2587	< 4,5	3096	1,5	3637	3,3	3150	< 2,8
Sept.	1885	< 4,2	3085	0,5	2788	1,5	3243	< 2,7
Oktober	940	< 3,3	2202	0,4	1742	0,5	2318	< 2,8
November	1322	< 3,3	1574	0,4	1783	0,6	1730	< 3,2
Dezember	2413	< 3,4	2146	1,9	2592	1,7	1840	< 2,9

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in µBq/m³	
	Be-7	Cs-137
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
2002	3767	0,45
Januar	4635	0,54
Februar	2284	0,45
März	4776	0,51
April	4934	0,87
Mai	4139	0,49
Juni	5328	0,41
Juli	3790	0,41
August	3673	0,40
September	3973	0,64
Oktober	3560	0,25
November	2021	0,22
Dezember	1857	0,29

e Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in mBq/m³			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
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
2002	1604	5,0	1695	5,7
Januar	1552	2,5	1580	2,0
Februar	1603	2,5	1687	4,0
März	1457	5,6	1518	5,1
April	1536	3,3	1616	6,8
Mai	1796	6,4	1929	4,6
Juni	1703	11,4	1767	9,8
Juli	1447	4,4	1683	5,7
August	1560	5,8	1610	12,6
September	1862	3,9	1897	6,1
Oktober	1528	4,2	1636	4,5
November	1503	4,7	1592	4,1
Dezember	1704	4,1	1812	2,9

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

Zur Fortsetzung einer langjährigen Messreihe wurde die Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag (Gesamtdeposition) ermittelt. Der stationsspezifische Jahreswert der Deposition errechnet sich aus der Summe der Tagesproben. Für das Jahr 2002 resultiert ein über alle Mess- und Sammelstationen des DWD arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 62 Bq/m^2 (Vorjahreswert: 64 Bq/m^2). Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Reaktorunfallunfall von Tschernobyl, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 3.1-7 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Deposition zugeführten Gesamt-β-Aktivität von 1957 bis 2002 in Bq/m^2. Die stationsspezifischen Depositionen im Berichtsjahr als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt Abbildung 3.1-8.

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 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 3.1-9 für die Messstationen Offenbach und Berlin Messergebnisse für die Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Messwerte bis zu 0,2 Bq/m^2 bzw. Nachweisgrenzen in dieser Größenordnung ermittelt, während für kosmogenes Be-7 deutlich höhere Messwerte zwischen 10 und 220 Bq/m^2 bestimmt wurden.

Radiochemische Analysen an Niederschlagsproben von 4 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 mBq/l, für die α-Strahler zwischen 0,01 bis 0,08 mBq/l und für Tritium 3 bis 5 Bq/l.

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

a Messungen des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach und Berlin

Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
		Bq/m²			Bq/m²	
	l/m²	Be-7	Cs-137	l/m²	Be-7	Cs-137
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
2002	735,9	718	< 0,82	736,8	608	< 1,83
Januar	31,5	11	< 0,06	37,2	19	< 0,09
Februar	92,9	90	< 0,05	89,8	39	< 0,19
März	28,7	25	< 0,08	44,1	27	< 0,14
April	29,5	40	< 0,08	37,6	35	< 0,14
Mai	82,7	65	< 0,07	67,4	82	< 0,17
Juni	16,3	26	< 0,06	31,2	25	< 0,15
Juli	123,5	164	< 0,11	55,9	31	< 0,13
August	53,6	86	< 0,07	156,3	216	< 0,18
September	36,4	46	< 0,06	49,7	42	< 0,20
Oktober	101,8	82	< 0,07	106,2	47	< 0,13
November	78,4	39	< 0,07	49,6	36	< 0,17
Dezember	60,6	44	< 0,06	11,8	9	< 0,16

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

b Messungen des Deutschen Wetterdienstes in Aachen und Schleswig

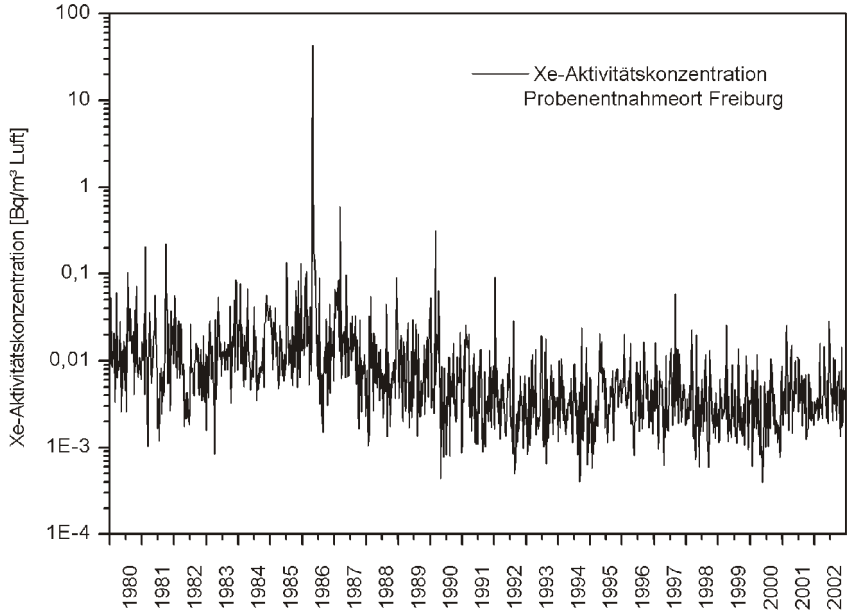
Zeitraum	Aachen			Schleswig		
		Bq/m²			Bq/m²	
	l/m²	Be-7	Cs-137	l/m²	Be-7	Cs-137
1996	620,6	2080	< 0,03	530,6	611	<0,56
1997	658,1	904	< 0,88	638,4	582	<0,79
1998	892,6	1251	< 0,96	1049,1	820	<1,14
1999	833,1	1005	< 1,01	908,0	766	<1,05
2000	946,3	1028	< 1,06	736,3	619	<1,08
2001	950,8	935	< 1,24	874,9	515	<1,22
2002	945,0	1019	< 1,08	1083,3	771	< 2,06
Januar	60,0	38	< 0,12	97,5	88	< 0,12
Februar	147,7	97	< 0,15	145,5	82	< 0,12
März	58,0	92	< 0,07	34,4	12	< 0,12
April	51,0	57	< 0,21	49,7	20	< 0,07
Mai	68,3	53	< 0,12	58,3	49	< 0,13
Juni	45,6	71	< 0,07	109,6	97	< 0,09
Juli	128,9	223	< 0,05	169,4	192	0,81*
August	70,4	109	< 0,05	150,7	25	< 0,11
September	30,1	55	< 0,07	21,2	17	< 0,13
Oktober	105,0	120	< 0,05	125,8	75	< 0,12
November	90,7	49	< 0,06	85,7	86	< 0,08
Dezember	89,3	56	< 0,06	35,5	27	< 0,16

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

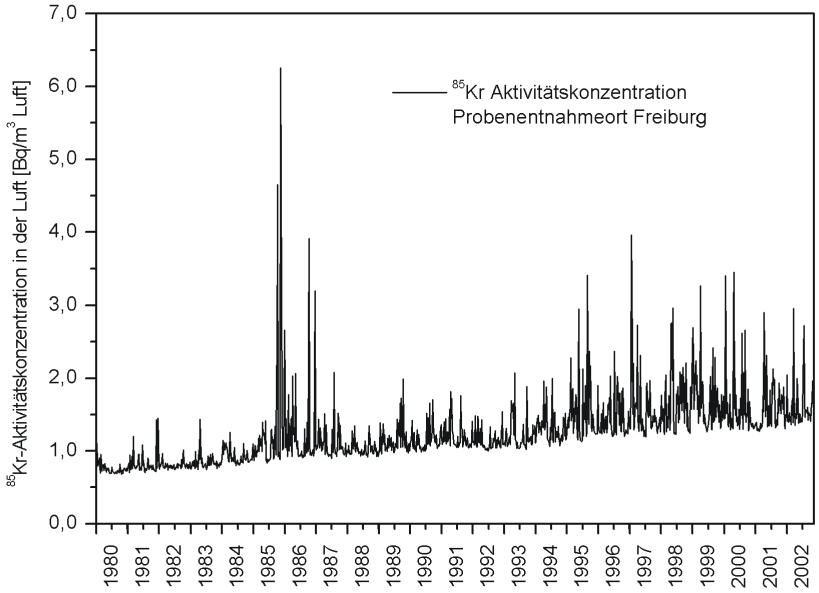
* Dieser höhere Wert ist vermutlich auf das Auswaschen von resuspendiertem Bodenstaub mit Anteilen von Cs-137 zurückzuführen.

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

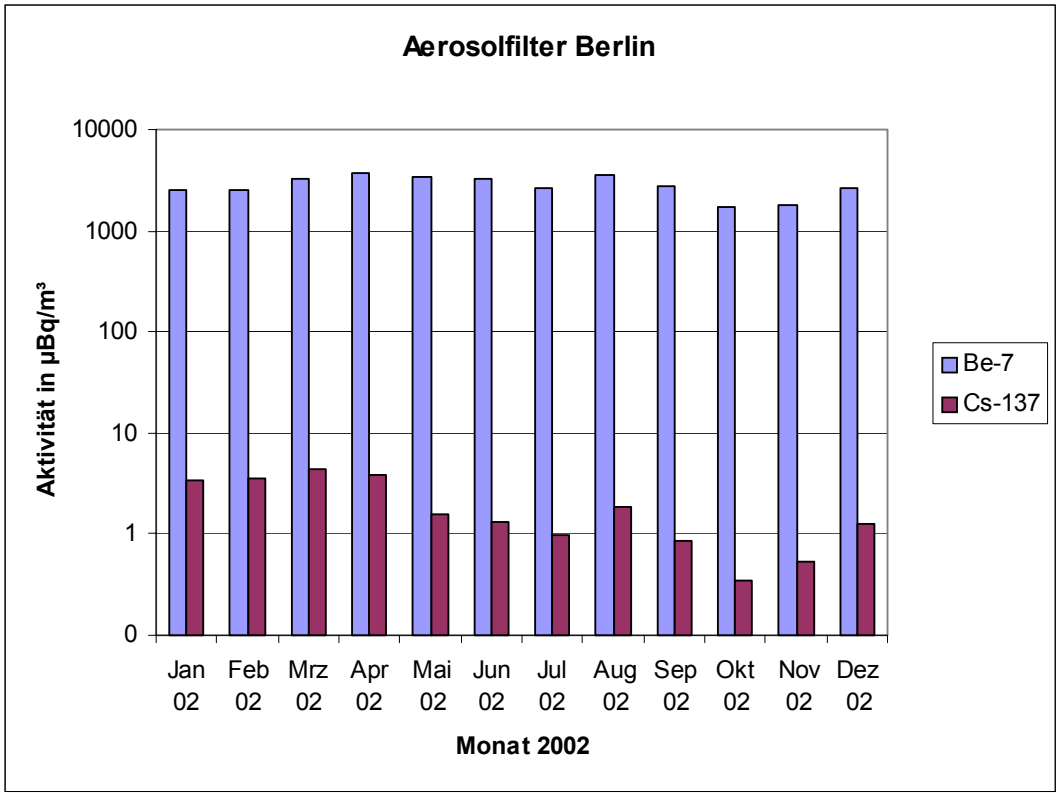
Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz des BfS gemessenen Werte der γ-Ortsdosisleistung sind im Vergleich zum Vorjahr unverändert. Die geographischen Unterschiede sind Ausdruck des unterschiedlichen Gehaltes an natürlichen Radionukliden im Boden sowie der mit der Höhe zunehmenden 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 3.1-10). 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.

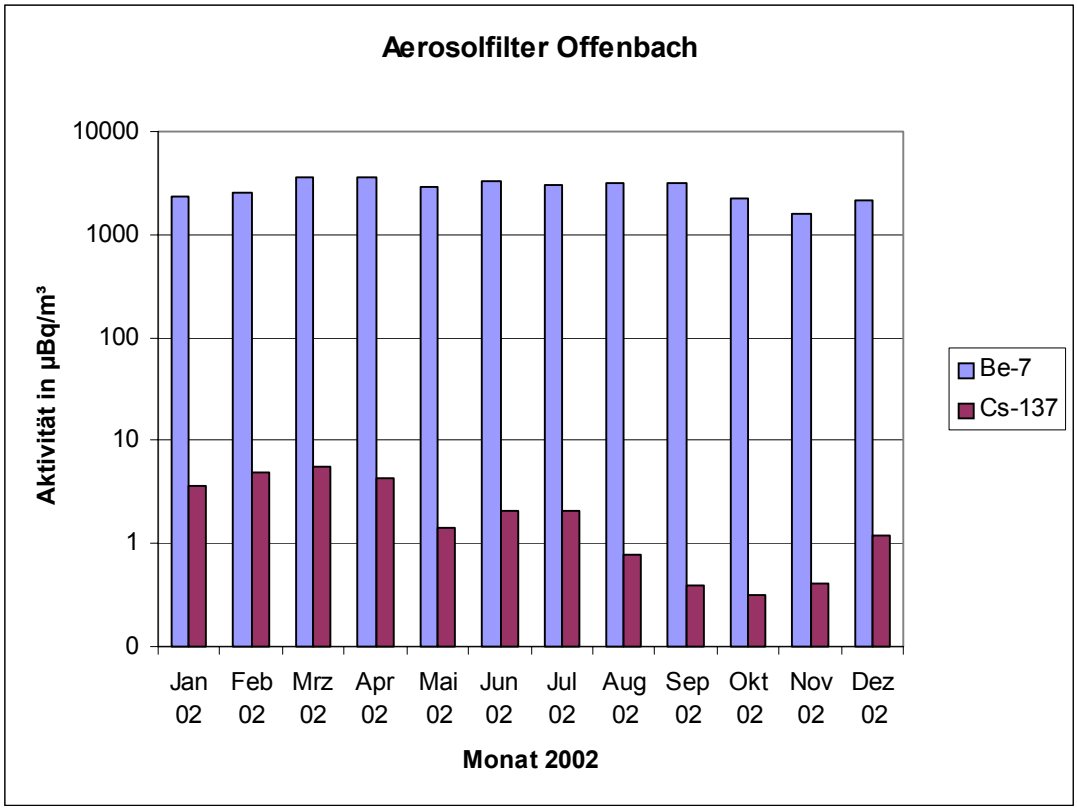


BfS	Xenon-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg (BfS, Freiburg) *(Xenon activity concentration in air close to ground level at the sampling location in Freiburg - BfS Freiburg)*	**3.1-1**

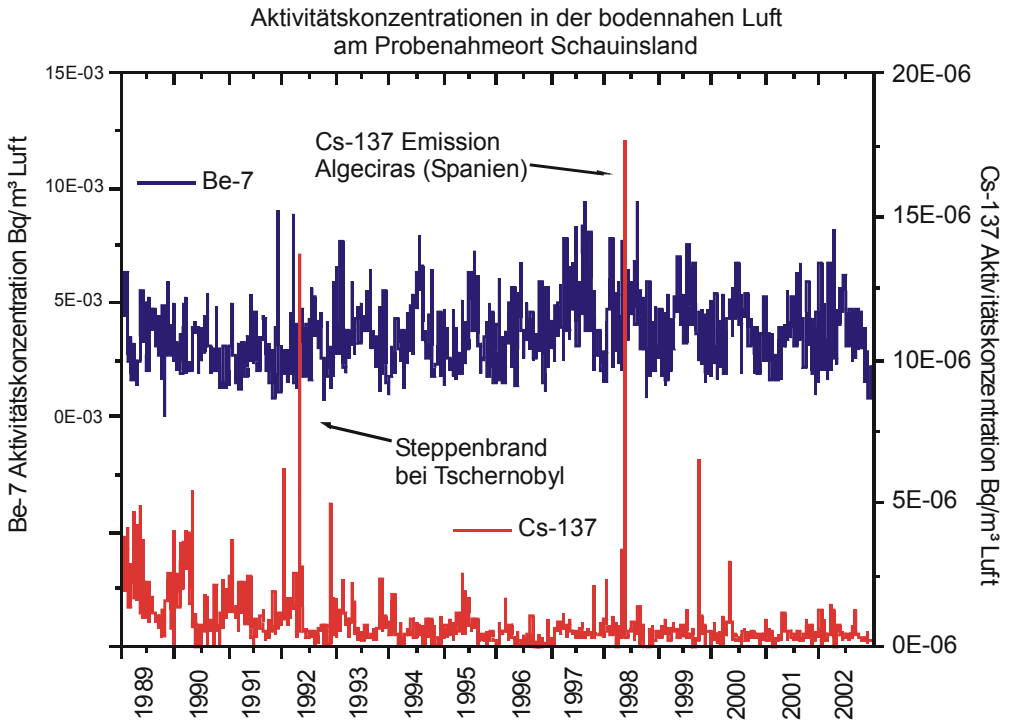


BfS	Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenentnahmeort Freiburg (BfS, Freiburg) *(Activity concentrations of Kr-85 in air close to ground level at the sampling location Freiburg - BfS Freiburg)*	**3.1-2**

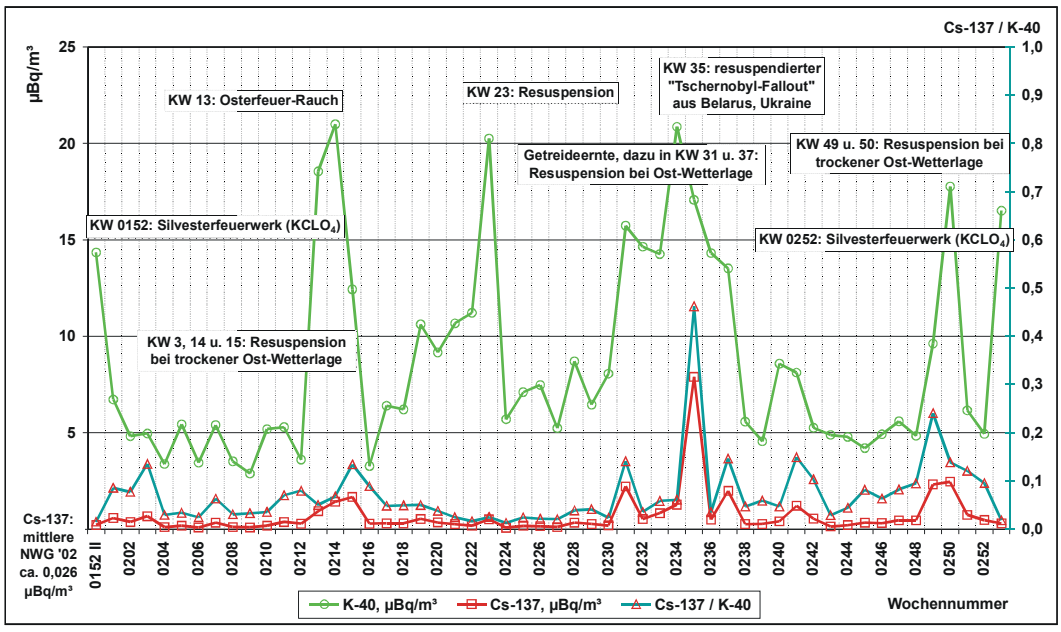




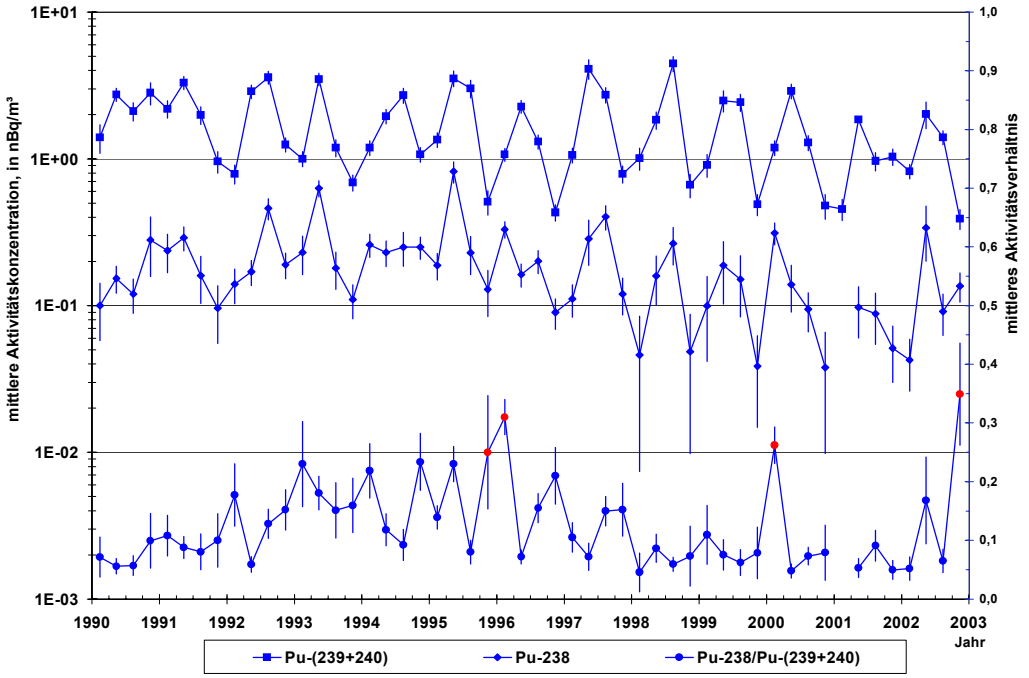
DWD	Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft DWD-Stationen Berlin und Offenbach 2002 *(Activity concentrations of individual nuclides in air close to ground level at the DWD stations in Berlin and Offenbach in the year 2002)*	**3.1-3**



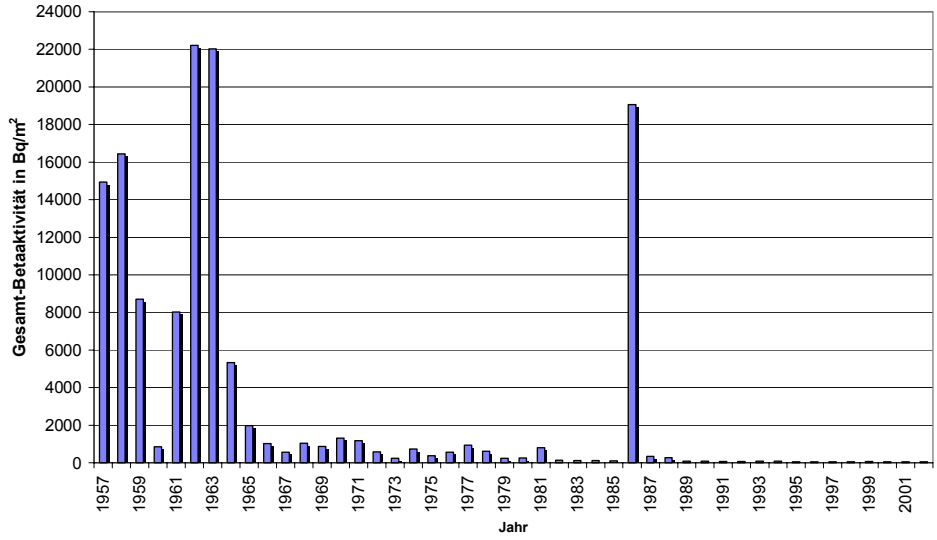
BfS	Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Be-7 in der bodennahen Luft (Probenentnahmeort: Freiburg, Schauinsland) *(Activity concentration of Cs-137and Be-7 in air close to ground level) (Sampling location: Freiburg, Schauinsland)*	**3.1-4**



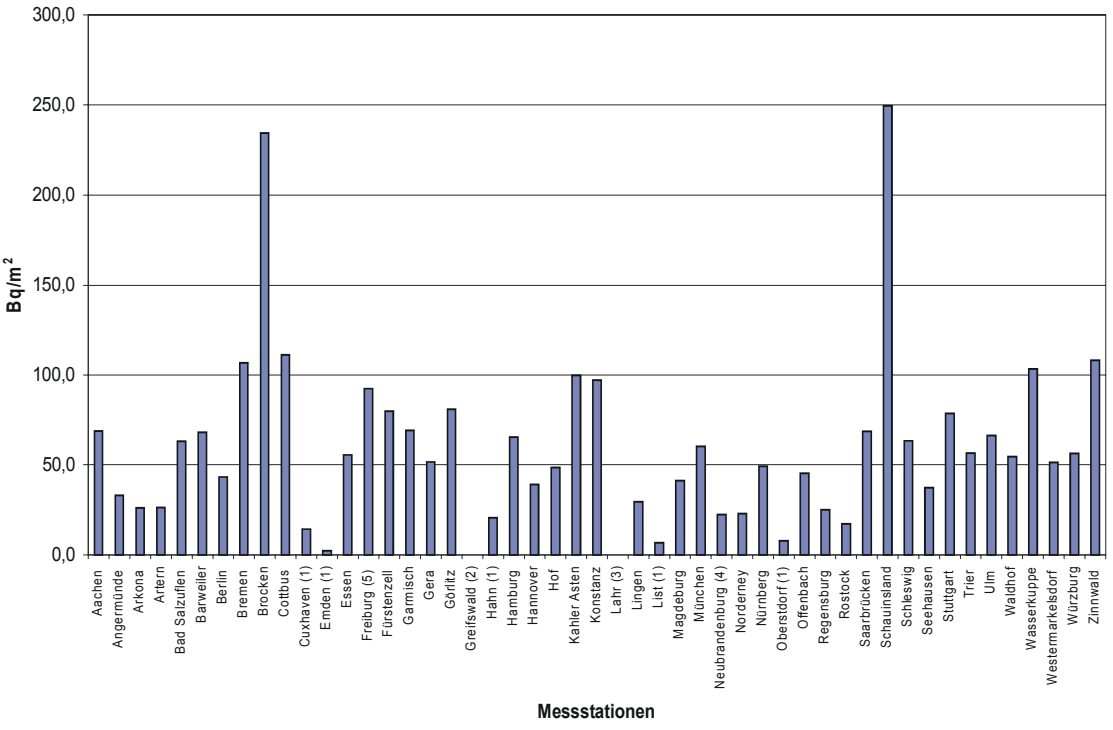
PTB	Aktivitätskonzentration von K-40 und Cs-137 in der bodennahen Luft im Jahr 2001 am Probenentnahmeort Braunschweig (PTB, Braunschweig) *(Activity concentration of K-40 and Cs-137 in air close to ground level in the year 2001 at the sampling location in Braunschweig - PTB Braunschweig)*	**3.1-5**



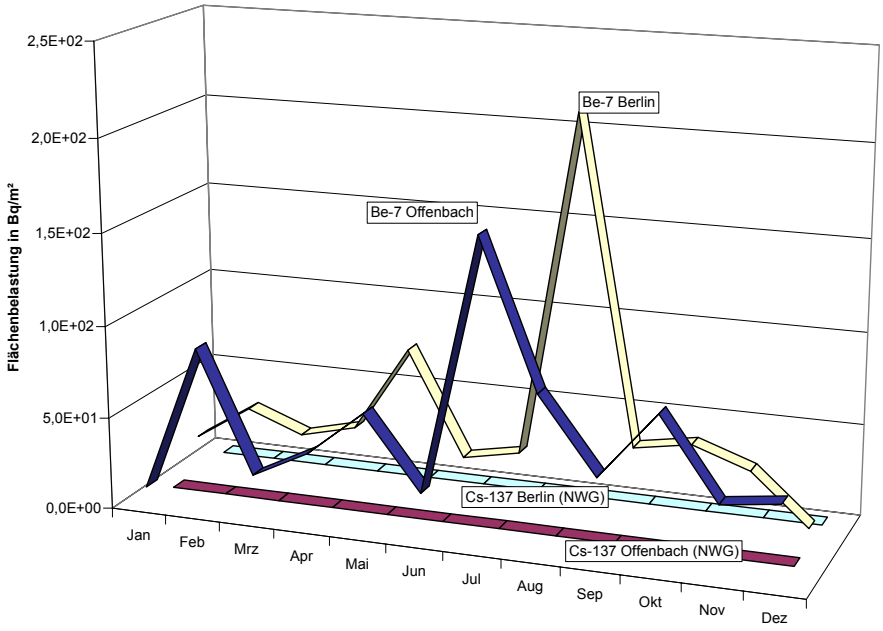
PTP	Aktivitätskonzentration der Plutoniumisotope in der bodennahen Luft am Probennahmeort Braunschweig (PTB, Braunschweig) *(Activity concentration of plutonium isotopes in air close to ground level at the sampling location in Braunschweig - PTB Braunschweig)*	**3.1-6**



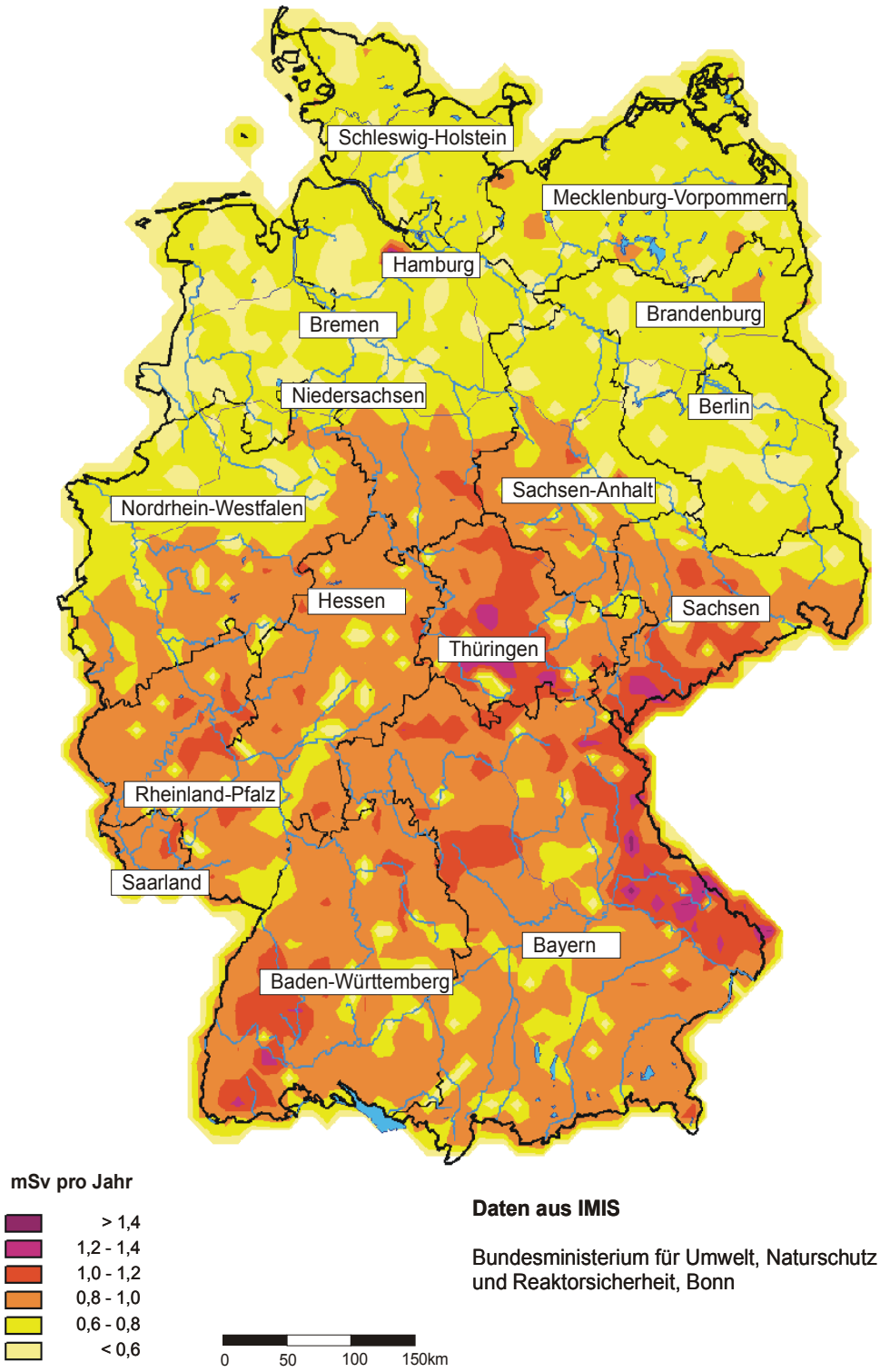
DWD	Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag - Jahresmittelwert der Jahressummen an den DWD-Messstationen *(Long-lived total β activity in precipitation - Annual mean value for the total annual levels determined at the DWD measuring stations)*	**3.1-7**



DWD	Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2002 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 2002)*	**3.1-8**



DWD	Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag DWD-Stationen Berlin und Offenbach *(Deposition of individual nuclides with precipitation - DWD stations in Berlin and Offenbach)*	**3.1-9**



BfS	Mittlere γ-Ortsdosisleistung im Jahr 2002 auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland *(Mean ambient γ dose rate in the area of the FRG - year 2002)*	3.1-10

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 2002 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 2002 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-	2000	0 - 10	15	45,4	116,0	9	2,0	5,3
Württemberg	2001	0 - 10	12	53,4	143,0	10	< 1,7	2,8
	2002	0 - 10	15	47,4	128,0	11	2,0	4,6
Bayern	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
	2002	0 - 10	35	97,7	455,0	17	2,4	4,5
Berlin	2000	0 - 10	3	14,5	21,6	1	0,9	-
	2001	0 - 10	4	15,3	22,8	1	0,7	-
	2002	0 - 10	5	13,4	21,6	1	0,4	-
Brandenburg	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
	2002	0 -10	13	16,8	98,0	4	2,3	2,9
Bremen	2000	0 - 10	1	17,4	-	1	0,8	-
	2001	0 - 10	1	6,3	-	1	0,3	-
	2002	0 - 10	1	15,9	-	1	< 0,3	-

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Hamburg	2000	0 - 10	2	22,5	30,6	1	0,6	-
	2001	0 - 10	a)			a)		
	2002	0 - 10	2	13,4	14,1	1	0,9	-
Hessen	2000	0 - 10	5	22,2	39,1	3	2,1	3,2
	2001	0 - 10	5	23,1	38,6	a)		
	2002	0 - 10	5	17,1	34,6	3	2,2	4,0
Mecklenburg-	2000	0 - 10	8	18,9	30,1	4	1,9	3,1
Vorpommern	2001	0 - 10	8	22,7	69,7	4	1,2	2,8
	2002	0 - 10	8	22,7	64,7	4	0,7	1,4
Nieder-	2000	0 - 10	13	31,6	71,6	a)		
sachsen	2001	0 - 10	9	33,3	67,1	4	18,2	36,1
	2002	0 - 10	7	33,2	73,2	4	2,8	3,8
Nordrhein-	2000	0 - 10	16	18,3	44,1	4	3,0	7,3
Westfalen	2001	0 - 10	20	19,1	87,1	4	2,4	6,1
	2002	0 - 10	20	14,9	26,0	5	1,2	3,8
Rheinland-	2000	0 - 10	7	18,4	27,2	3	0,7	0,8
Pfalz	2001	0 - 10	7	18,4	22,6	3	1,5	2,5
	2002	0 - 10	7	19,7	31,8	2	0,9	1,2
Saarland	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
	2002	0 - 10	3	16,7	26,3	2	1,8	2,1
Sachsen	2000	0 - 10	a)			5	1,9	3,1
	2001	0 - 10	6	20,4	61,2	5	1,6	2,7
	2002	0 - 10	6	22,9	73,4	5	1,4	2,9
Sachsen-Anhalt	2000	0 - 10	4	9,9	19,0	a)		
	2001	0 - 10	2	8,6	12,0	a)		
	2002	0 - 10	a)			a)		
Schleswig-	2000	0 - 10	7	12,5	20,5	5	1,4	2,2
Holstein	2001	0 - 10	7	13,5	21,0	5	0,9	1,2
	2002	0 - 0	7	15,6	21,4	5	1,8	2,0
Thüringen	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
	2002	0 - 10	6	25,2	36,2	3	1,3	1,8

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

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

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-	2000	0 - 30	10	24,0	87,8	a)	a)	a)
Württemberg	2001	0 - 30	5	17,4	29,9	a)	a)	a)
	2002	0 - 30	10	27,5	88,0	a)	a)	a)
Bayern	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
	2002	0 - 30	25	31,4	171,0	3	2,0	4,9
Berlin	2000	0 - 30	1	9,3	-	1	1,4	-
	2001	0 - 30	1	9,1	-	1	1,5	-
	2002	0 - 30	1	10,0	-	1	1,2	-
Brandenburg	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
	2002	0 - 30	9	12,9	33,0	3	0,6	0,8
Bremen	2000	0 - 30	2	7,2	12,8	1	1,4	-
	2001	0 - 30	2	51,6	61,7	1	1,0	-
	2002	0 - 30	2	10,9	12,6	1	1,4	-
Hamburg	2000	0 - 30	1	7,8	-	1	0,9	-
	2001	0 - 30	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2002	0 - 30	1	8,3	-	1	0,7	-
Hessen	2000	0 - 30	7	11,4	22,5	2	1,1	1,1
	2001	0 - 30	7	10,9	21,8	a)	a)	a)
	2002	0 - 30	7	11,1	21,5	2	0,8	1,3
Mecklenburg-	2000	0 - 30	7	11,6	26,1	2	1,7	3,1
Vorpommern	2001	0 - 30	7	13,5	28,4	2	1,3	2,1
	2002	0 - 30	7	11,2	24,0	2	1,0	1,4
Nieder-	2000	0 - (25/30)	26	12,6	26,4	9	2,0	8,5
sachsen	2001	0 - (25/30)	8	10,2	12,2	8	8,1	15,2
	2002	0 - (25/30)	24	11,2	20,3	10	2,5	3,5
Nordrhein-	2000	0 - 30	19	10,2	18,5	5	2,6	9,2
Westfalen	2001	0 - 30	20	9,8	16,6	4	4,2	13,8
	2002	0 - 30	20	9,8	21,5	5	1,8	4,8
Rheinland-	2000	0 - (25/30)	7	12,2	32,5	3	1,1	2,0
Pfalz	2001	0 - (25/30)	7	9,7	23,5	3	0,8	1,1
	2002	0 - (25/30)	7	11,8	22,1	2	0,7	1,0
Saarland	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2001	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2002	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Sachsen	2000	a)	a)			a)		
	2001	0 - 30	6	10,8	22,8	a)		
	2002	0 - 30	6	11,8	29,4	a)		
Sachsen-Anhalt	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
	2002	0 - 30	13	14,3	42,1	5	0,8	1,1
Schleswig-Holstein	2000	0 - 30	5	10,5	18,4	a)		
	2001	0 - 30	5	13,1	29,7	a)		
	2002	0 - 30	5	10,5	20,3	a)		
Thüringen	2000	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,6	1,6
	2001	0 - 30	6	10,6	16,8	a)		
	2002	0 - 30	6	10,6	16,6	2	1,5	1,6

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

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

Bundesland	Jahr	Entnahme-tiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Bayern	2002	0 - 10	8	759,4	1490,0	a)		
Hessen	2000	0 - 10	4	49,0	77,4	2	1,7	2,9
	2001	0 - 10	4	49,2	80,1	a)		
	2002	0 - 10	4	60,2	79,4	2	2,4	4,2
Niedersachsen	2000	0 - 10	1	47,0	-	1	9,1	-
	2001	0 - 10	1	74,6	-	1	9,5	-
	2002	0 - 10	2	104,2	151,0	1	4,5	-
Nordrhein-Westfalen	2000	0 - 10	6	65,3	217,0	a)		
	2001	0 - 10	6	75,4	191,0	a)		
	2002	0 - 10	5	98,9	240,0	a)		

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

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

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Baden-	2000	21	< 1,8	16,9	10	2,3	6,1
Württemberg	2001	20	< 1,4	5,2	9	1,2	2,6
	2002	19	< 1,1	3,6	10	1,8	5,0
Bayern	2000	80	< 4,8	86,9	30	2,6	9,4
	2001	80	< 5,7	67,4	30	2,2	6,4
	2002	80	< 9,8	337,0	30	3,2	8,4
Berlin	2000	2	1,0	1,5	1	1,6	-
	2001	3	2,7	6,4	a)		
	2002	3	< 4,4	12,0	1	0,9	-
Brandenburg	2000	26	< 2,5	19,0	8	2,0	4,3
	2001	26	< 4,4	48,0	8	1,9	5,7
	2002	26	< 5,3	45,0	8	1,9	5,0
Bremen	2000	3	< 0,3	< 0,5	1	0,4	-
	2001	2	0,9	1,0	1	0,5	-
	2002	2	2,5	4,3	1	0,3	-
Hamburg	2000	2	1,7	1,9	1	2,4	-
	2001	a)			a)		
	2002	2	2,1	2,8	1	1,4	-
Hessen	2000	4	< 0,3	0,4	a)		
	2001	4	< 0,8	1,3	a)		
	2002	6	< 1,3	3,7	4	5,6	9,5
Mecklenburg-	2000	18	< 5,8	58,5	10	2,1	4,1
Vorpommern	2001	25	< 3,1	25,2	12	1,8	4,1
	2002	24	< 4,0	39,8	12	1,7	4,3
Nieder-	2000	75	< 2,4	58,8	21	2,8	7,3
sachsen	2001	60	< 4,7	104,0	23	2,7	5,8
	2002	42	< 6,5	73,8	20	1,9	4,1
Nordrhein-	2000	17	< 1,4	6,9	9	1,1	2,3
Westfalen	2001	18	< 3,2	4,5	5	0,9	2,6
	2002	20	< 0,6	1,3	8	1,2	2,7
Rheinland-	2000	8	< 1,0	2,5	4	2,4	3,8
Pfalz	2001	8	< 0,6	0,9	4	2,2	3,2
	2002	8	< 1,1	5,4	a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Saarland	2000	2	< 0,2	< 0,2	1	0,3	-
	2001	2	< 0,9	1,5	2	< 1,0	< 2,0
	2002	2	1,8	2,6	1	0,5	-
Sachsen-Anhalt	2000	18	< 1,9	16,9	7	1,2	2,6
	2001	16	< 1,0	3,2	7	1,1	1,7
	2002	14	< 1,6	5,8	7	1,2	2,4
Sachsen	2000	9	< 0,6	1,7	10	1,5	3,1
	2001	20	< 0,9	7,2	10	1,3	2,1
	2002	20	< 1,3	6,3	10	1,1	1,8
Schleswig-Holstein	2000	20	< 1,7	5,0	10	2,6	5,1
	2001	20	< 1,0	2,8	10	2,6	4,2
	2002	20	< 1,3	4,7	10	2,8	4,4
Thüringen	2000	12	< 0,6	1,9	6	1,7	3,2
	2001	12	< 0,8	2,6	a)		
	2002	12	< 1,0	2,1	6	1,5	2,6

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

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

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	Max. Wert
Mais u. Maissilagen	2000	202	< 0,5	18,1	1	0,2	-
	2001	190	< 0,5	4,7	1	0,1	-
	2002	241	< 0,5	6,3	1	0,2	-
Futterrüben	2000	39	< 0,6	7,5			
	2001	27	< 0,5	2,0			
	2002	39	< 0,5	1,2			
Futtergetreide	2000	150	< 0,2	1,8			
	2001	139	< 0,2	0,6			
	2002	144	< 0,2	0,6			
Futterkartoffeln	2000	74	< 0,6	6,1			
	2001	76	< 0,4	3,7			
	2002	76	< 0,4	2,6			
Erbsen	2000	3	< 0,2	0,4			
	2001	1	< 0,1	-			
	2002	1	< 0,2	-			
Raps	2002	3	< 0,4	0,6			

- 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	2000	5	< 0,13	0,29
	2001	8	< 0,47	1,27
	2002	6	< 0,21	< 0,41
Mais, Maisprodukte	2000	14	< 0,25	< 0,3
	2001	16	< 0,28	< 0,4
	2002	23	< 0,26	1,27
Maniok,Tapioka	2000	8	< 0,19	< 0,3
	2001	2	< 0,43	0,55
	2002	1	< 0,3	-
Ölkuchen,Ölschrote	2000	84	< 0,48	3,62
	2001	70	< 0,38	3,0
	2002	71	< 0,50	2,39
Erbsen	2000	2	< 0,3	< 0,3
	2001	1	< 0,3	-
	2002	a)		
Leguminosen, Lupinen	2000	4	0,5	0,7
	2001	1	< 0,3	-
	2002	2	0,1	0,2
Äpfel	2000	a)	a)	a)
	2001	a)	a)	a)
	2002	a)	a)	a)
Rübentrockenschnitzel	2001	2	0,6	0,75
	2002	a)		
Tier-, Fleisch-, Knochenmehl	2000	a)		
	2001	a)		
	2002	a)		
Tiernebenprodukte	2000	1	< 0,24	-
	2001	1	< 0,12	-
	2002	1	0,9	-
Molkenpulver	2002	1	0,4	-
Citrustrester	2002	10	< 0,4	0,9

a) Messwerte 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	2000	115	< 12,9	337,0
	2001	112	< 14,2	542,0
	2002	110	< 15,2	379,0
Nadeln	2000	58	< 45,2	876,0
	2001	55	< 52,8	1300,0
	2002	58	< 45,5	1120,0
Gras	2000	106	< 46,2	2510,0
	2001	107	< 34,6	2070,0
	2002	116	< 15,7	301,0
Farne (Thüringen)	2000	2	61,0	117,0
	2001	2	61,2	119,0
	2002	2	244,7	484,0

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 **J**ahr 2002 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 Teil 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 15.026 Einzelwerten (2001: 15.721) von 450 (2001: 451) Probenentnahmestellen an Gewässern ausgewertet. Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte (JMW) 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. Bei gemischten Datenreihen sind die Jahresmittelwerte 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. Damit stellen diese Werte obere Grenzen dar, die die tatsächliche mittlere Aktivitätskonzentration überschätzen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der Auftragung "nn" angegeben.

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, Buhnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. Die Sedimente sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium in den Gewässern zu betrachten. Hieran lassen sich die langfristigen Auswirkungen radioaktiver Kontaminationen aufzeigen. Infolge einer Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwassersituationen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide in andere Bereiche möglich.

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 auf sowie sporadisch das kurzlebige Iod-131 (I-131) aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen der Konzentrationen künstlicher Radionuklide in Binnengewässern sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 3.3.1-2 bis 3.3.1-5 beispielhaft aufgezeigt.

Bewertung und Messergebnisse

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2002 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser

Oberflächenwasser wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb der geforderten Nachweisgrenze des Routinemessprogramms (RMP) von 10 Bq/l auf. Selbst in Flüssen, in die von kerntechnischen Anlagen H-3 eingeleitet wurde, betrugen die Jahresmittelwerte nur bis ca. 24 Bq/l (Mosel). Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 lagen meist unter 0,01 Bq/l und somit unter den Nachweisgrenzen des RMP. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte – außer H-3 - waren im Fernbereich der Emittenten i. Allg. nicht mehr nachweisbar. Lediglich in der Ems (Terborg) wurde Co-60 in geringfügigen Konzentrationen unter 0,01 Bq/l gemessen. I-131 trat sporadisch auf mit Gehalten (Einzelwerte) bis 0,04 Bq/l. Die Bestimmungen von Alpha-Strahlern ergaben für Uran-234 (U-234), U-235 und U-238 durchweg mittlere Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen 0,0005 und 0,1 Bq/l. Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 konnten oberhalb der Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l nicht nachgewiesen werden.

Schwebstoff

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 300 und Starnberger See 280 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 konnte in Rhein und Mosel über große Fließstrecken verfolgt werden: die Jahresmittelwerte betrugen bis ca. 5 Bq/kg TM. In Ems, Jadebusen, Mosel und Rhein gemessene Co-60-Gehalte lagen im Mittel unter 3 Bq/kg TM und damit unter der Nachweisgrenze des RMP. Für I-131-Konzentrationen wurden Einzelwerte von meist bis 50 Bq/kg TM gemessen; höhere Werte bis 155 Bq/kg TM stammten von der Spree (Berlin).

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) 244, Schaalsee und Lanker See (Schleswig-Holstein) 212 bzw. 247 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten - hauptsächlich aus Mosel und Rhein - in mittleren Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2002 mit dem der letzten Jahre vergleichbar. Die Schwankungen der Jahresmittelwerte der langlebigen künstlichen Radionuklide können - vom radioaktiven Zerfall abgesehen - mit den in Gewässern ablaufenden dynamischen Austausch- und Transportprozessen erklärt werden, die zu sehr inhomogenen und instationären Verteilungen der Radionuklide innerhalb der Gewässer führen können. In Sedimenten variieren die Radionuklidkonzentrationen – wie bei anderen Schadstoffen auch - zudem mit der Korngrößenverteilung. Zu beachten ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet werden.

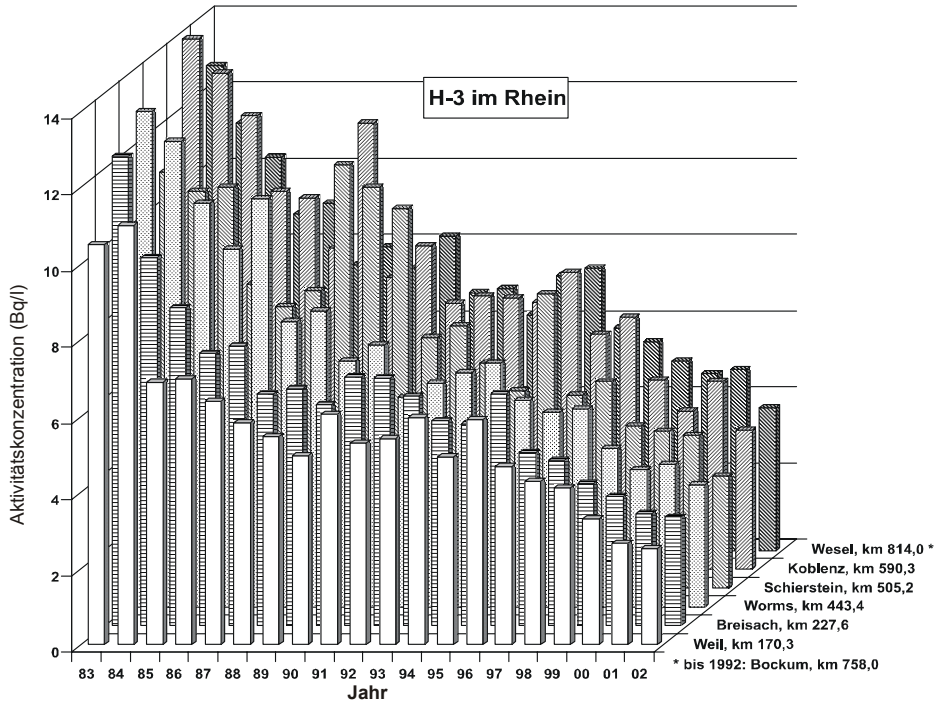
Strahlenexposition

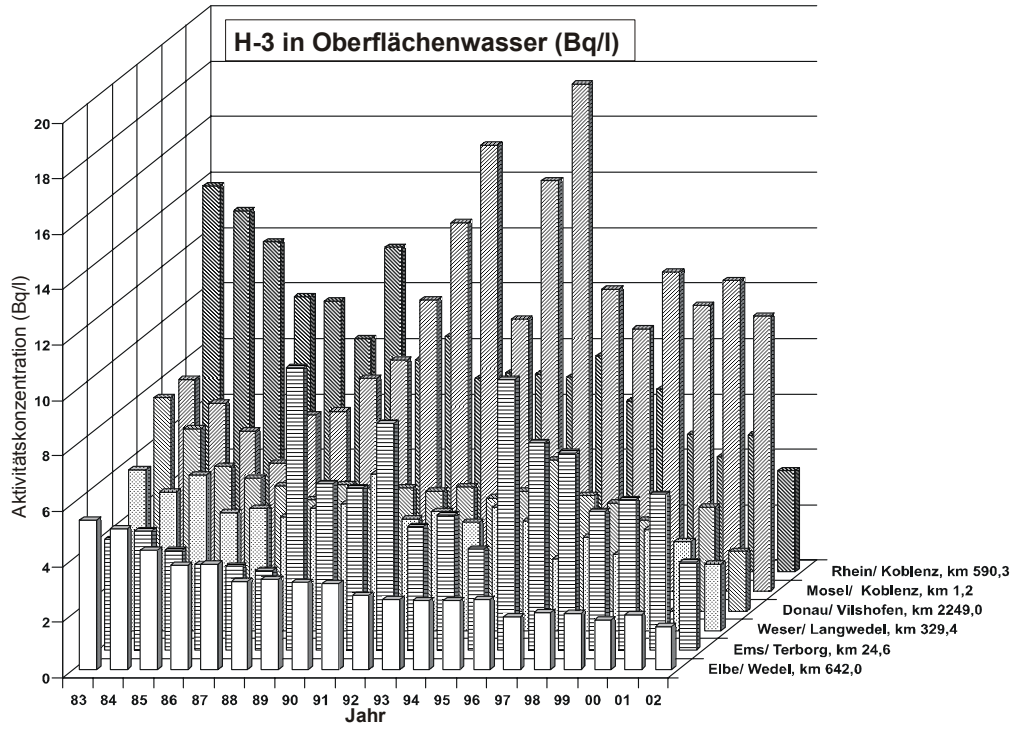
Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können über die für den aquatischen Bereich sensitiven Expositionspfade "Trinkwasser" und "Aufenthalt auf Spülfeldern" eine interne bzw. externe Strahlenexposition von Personen bewirken.

Nimmt man eine Kontamination von Oberflächenwasser mit H-3 von 10 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,01 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a; 350 l/a Konsum) auf dem "Trinkwasser-Pfad“ zu ca. 0,21 µSv/a, falls derartiges Wasser unaufbereitet als Trinkwasser genutzt würde. Für Kleinkinder (<= 1 a; 170 l/a Konsum) beträgt die zusätzliche effektive Dosis hier ca. 0,54 µSv/a. Allein der von dem natürlichen Radionuklid Kalium-40 (K-40) für einen mittleren Gehalt von 0,4 Bq/l zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 0,87 bzw. 4,2 µSv/a deutlich darüber.

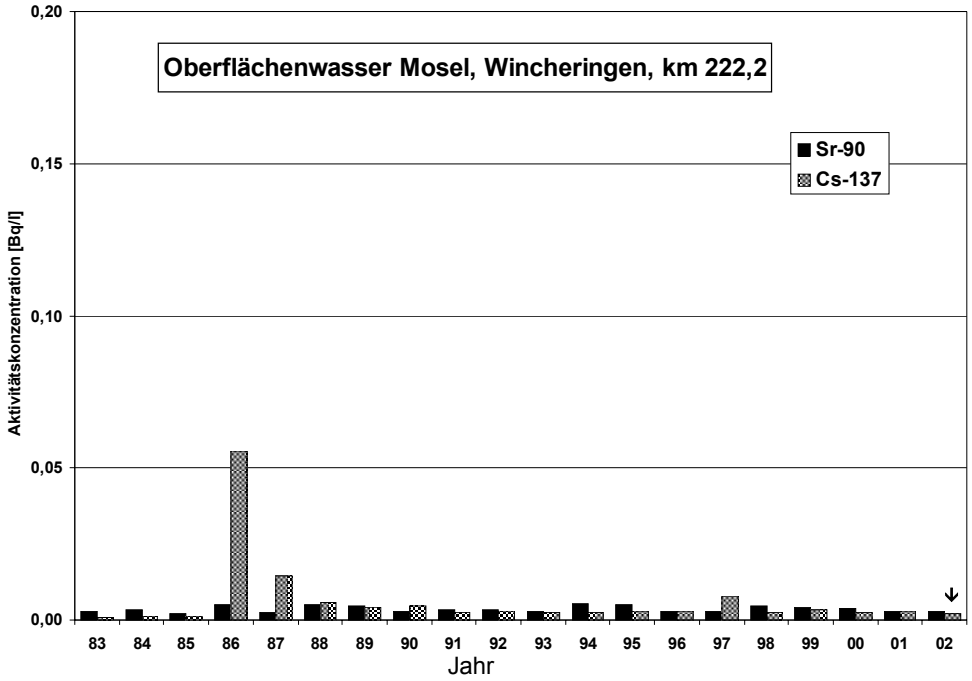
Insbesondere Cs-137 war auch 2002 noch in Sedimenten deutlich nachweisbar. So konnten in Sedimenten aus der Donau noch mittlere Cs-137-Gehalte von 107 Bq/kg TM gemessen werden. Würde dieses Sediment bei Ausbaumaßnahmen für die Schifffahrt gebaggert und an Land gelagert, so kann die auf dem Expositionspfad "Aufenthalt auf Spülfeldern" für Standardbedingungen für Erwachsene (> 17 a) zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 11,4 µSv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der Dosisbeitrag für diesen Expositionspfad der natürlichen Radionuklide K-40, Thorium-232 (Th-232) und U-238 für typische Gehalte mit insgesamt ca. 35 µSv/a wesentlich höher.

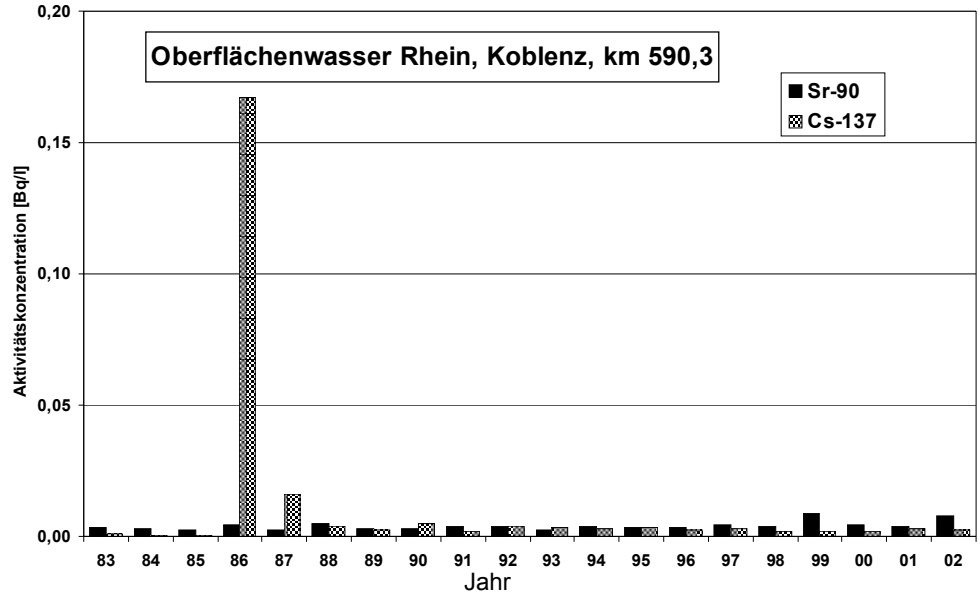
BfG	Warn- und Probenentnahmestellen der BfG an Bundeswasserstraßen *(Locations of the warning system and sampling stations of the BfG on federal waterways)*	**3.3.1-1**



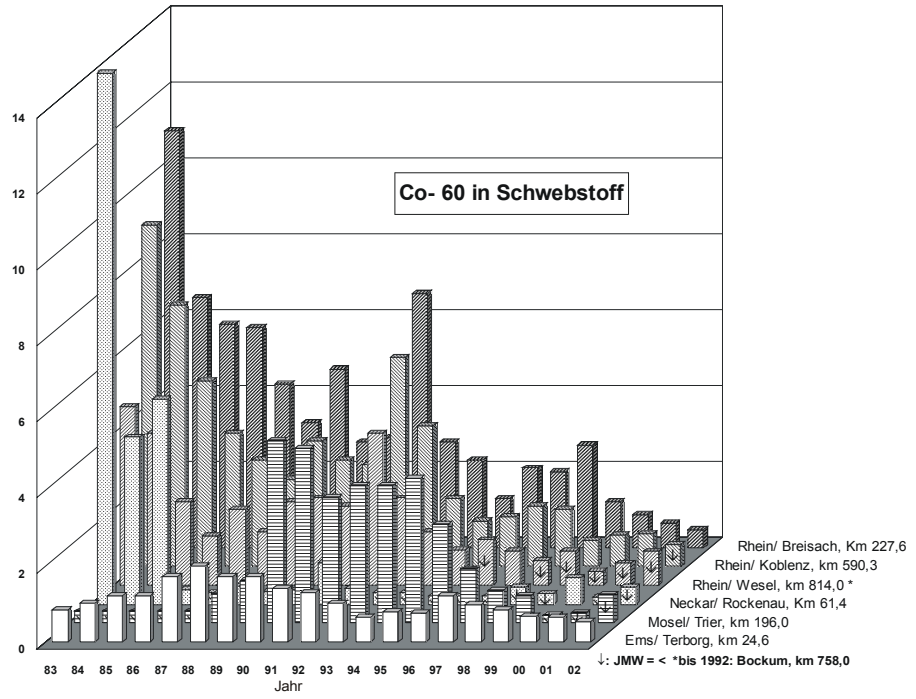


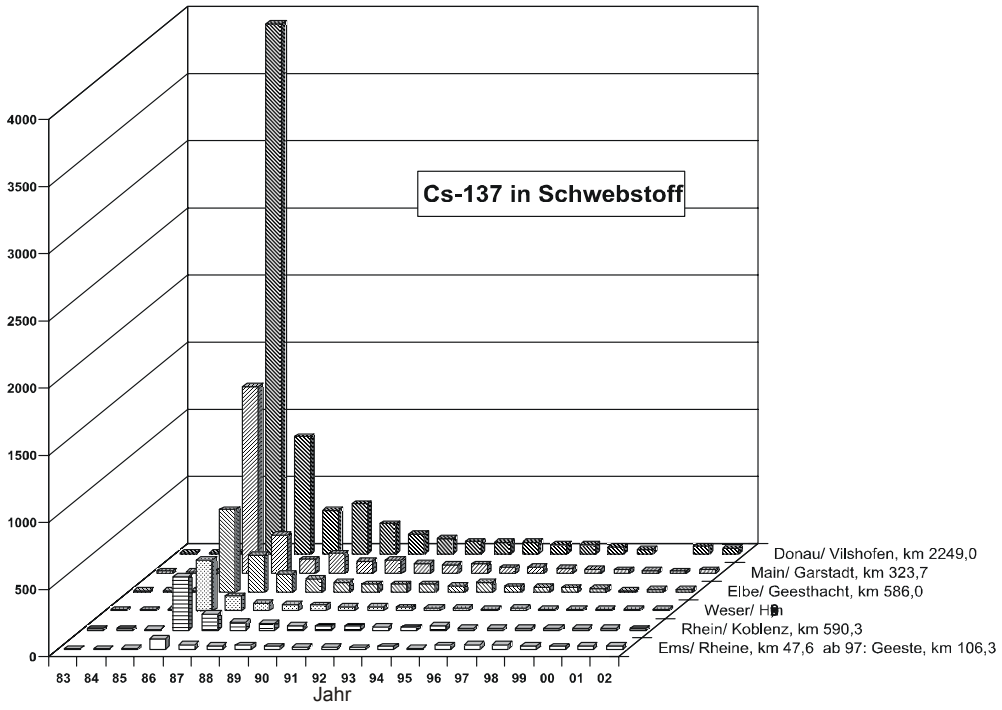
BfG	Tritiumgehalte (Bq/l) In Oberflächenwassser ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte) *(Contents of Tritium (Bq/l) in surface water fom selected inland waters - annual mean values)*	**3.3.1-2**



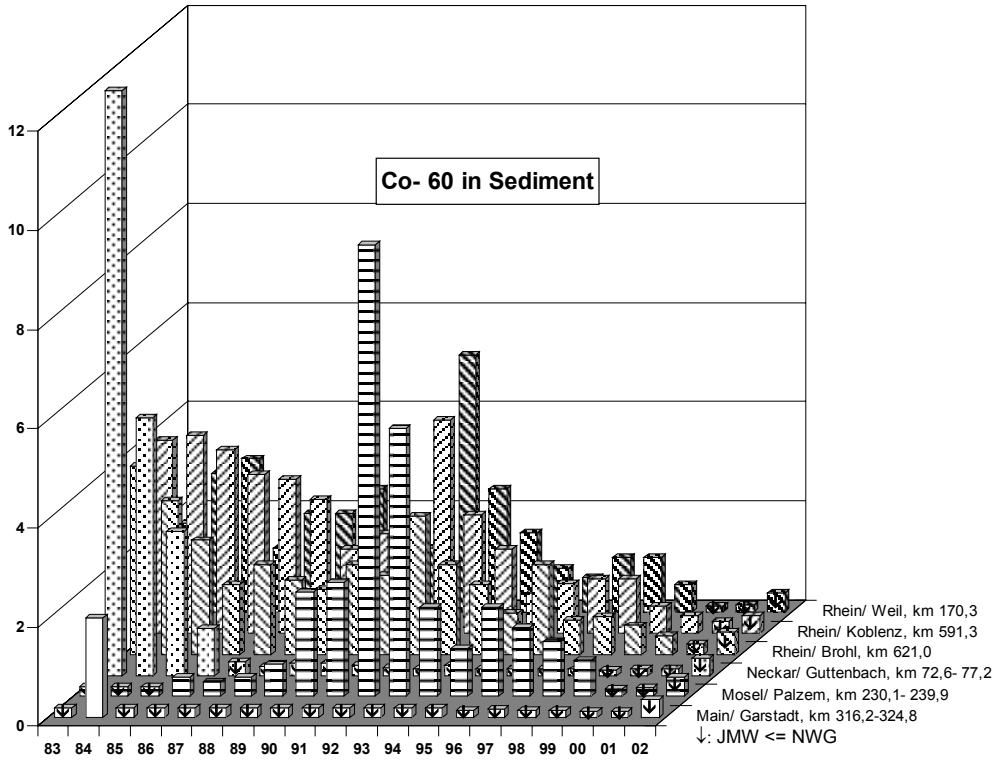


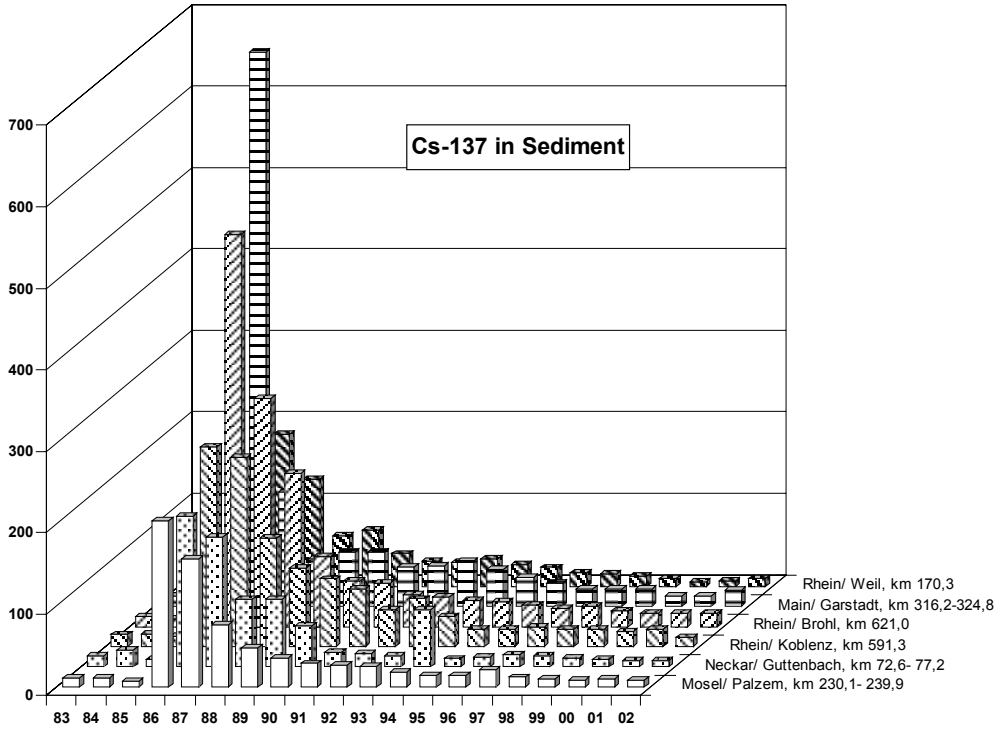
BfG	Aktivitätskonzentrationen von Strontium-90 und Cäsium-137 in Rhein und Mosel (Jahresmittelwerte) *(Strontium-90 and cesium-137 activity concentrations in the rivers Rhine and Mosel - annual mean values)*	**3.3.1-3**





BfG	Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte) *(Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for samples of suspended matter in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)*	**3.3.1-4**





BfG	Aktivitätskonzentrationen (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Sedimentpproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte) *(Cobalt-60 and cesium-137 activity concentrations for sediment samples in Bq/kg TM from selected inland waters - annual mean values)*	**3.3.1-5**

Tabelle 3.3.1-1 Übersicht über die für 2002 insgesamt ausgewerteten Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI für 717 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 2002, *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)*

Umwelt-medium	Nuklid	Anzahl der Werte	Maximal-wert (Bq/l bzw. Bq/kg TM)	Gewässer	Ort/Anlage	Datum/ Zeitraum in 2002
Ober-flächen-wasser	Gα-Aktivität	131	0,66	Ems, km 24,64	Terborg	Mai
	Gβ-Aktivität	59	7,5	Salzbach	Endlager Morsleben	Januar
	H-3	1412	6700	Ems	KKW Emsland, am Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Sr-90	307	0,021	Stechlinsee	Neuglobsow	7.10.
	I-131	168	0,092	Ems, km 106,3	KKW Emsland, Dalum	16.4
	Cs-137	1339	0,11	Arendsee	Arendsee	6.2.
	Sonstige	4499	-		-	-
Schweb-stoff	Co-58	64	7,21	Mosel, km 241,96	Perl	September
	Co-60	474	4,71	Mosel, km 241,96	Perl	Juli
	I-131	133	155	Spree, km 27,2	Berlin-Schöneweide	Januar
	Cs-137	476	320	Steinhuder Meer	Wunstorf	III. Quartal
	Sonstige	2112	-	-	-	-
Sediment	Gα-Aktivität	3	630	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	I. Quartal
	Gβ-Aktivität	3	1400	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	I. Quartal
	Co-58	56	5,0	Rhein	KKW Philippsburg, am Auslaufbauwerk	III. Quartal
	Co-60	1205	18	Weser	KKW Würgassen, am Auslaufbauwerk	11.12.
	Sr-90	5	0,27	Elbe	KKW Brunsbüttel, am Auslaufbauwerk	12.2.
	Cs-137	1203	383	Schollenesee	Schollene	13.8
	Pu-238	8	0,047	Elbe	KKW Brunsbüttel, am Auslaufbauwerk	12.2.
	Pu-239/240	8	0,25	Elbe	KKW Brunsbüttel, am Auslaufbauwerk	12.2.
	Sonstige	4951	-	-	-	-

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

GEWÄSSER Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwert 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	2000	2001
RHEIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	12		1,4	6,0	2,5	2,6
		Koblenz, km 590,3	12		2,5	4,6	3,6	4,9
		Wesel, km 814,0	12		3,2	4,6	3,7	6,5
	Sr-90	Weil, km 172,97	4		0,0009	0,010	0,005	0,0051
		Koblenz, km 590,3	3		0,0034	0,014	0,008	0,0040
		Wesel, km 814,0	4		0,0036	0,0089	0,0064	0,0044
	Cs-137	Weil, km 172,97	11	8	0,0017	<0,0048	<0,0026	0,0026
		Koblenz, km 590,3	11	3	<0,0014	<0,0036	0,0024	0,0028
		Wesel, km 814,0	12	8	<0,0019	0,0049	<0,0026	0,0019
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	4		0,48	4,41	2,36	9,1
		Koblenz, km 590,3	4		0,22	3,16	1,63	1,41
		Wesel, km 172,97	1		2,81	2,81	2,81	0,46
	Co-60	Weil, km 172,97	4	2	<0,23	0,91	<0,47	1,51
		Koblenz, km 590,3	11	10	<0,14	0,77	<0,57	<0,44
		Wesel, km 814,0	4	4	<0,69	<0,89	nn	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	4		5,55	16,7	9,28	12,4
		Koblenz, km 590,3	11		4,78	14,3	11,4	14,2
		Wesel, km 814,0	4		11,0	22,3	16,7	15,4
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	10		0,33	1,35	0,73	0,69
		Worms, km 445,0-446,6	7		0,52	1,95	1,07	0,33
		Koblenz, km 591,3	9		0,36	0,69	0,54	0,30
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	-		-	-	-	0,38
	Co-60	Weil, km 170,3	22	14	0,22	0,67	<0,38	<0,16
		Worms, km 445,0-446,6	35	31	0,15	<0,63	<0,35	0,45
		Koblenz, km 591,3	9	8	<0,15	0,54	<0,37	<0,25
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	11	11	<0,25	<0,71	nn	<0,19
	Cs-137	Weil, km 170,3	22		7,34	12,4	10,2	6,6
		Worms, km 445,0-446,6	35		0,99	16,2	8,07	8,8
		Koblenz, km 591,3	9		11,0	14,3	12,2	21,1
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	11		3,65	20,0	13,9	13,6
NECKAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12		2,0	15,9	8,6	11,7
		Rockenau, km 61,4	11		4,1	9,3	7,2	9,7
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	3		0,0022	0,0071	0,0045	0,0038
		Rockenau, km 61,4	3		0,0048	0,0050	0,0050	0,0047
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	9	6	<0,0014	0,0051	<0,0026	<0,0019
		Rockenau, km 61,4	9	6	<0,0020	0,0031	<0,0025	0,0013
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4		9,43	11,7	10,2	13,6
		Rockenau, km 61,4	4		5,86	8,79	7,07	9,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	16		4,78	27,0	10,1	15,3
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	12		4,82	20,9	11,1	9,9
		Guttenbach, km 72,0-77,0	14		2,82	13,7	8,1	8,3

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwert 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	2000	2001
MAIN								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12		1,6	11,3	3,5	10,0
		Eddersheim, 15,3	12		1.2	6,0	2,8	3,6
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	3		0,0027	0,0060	0,0040	0,0038
		Eddersheim, km 15,3	3		0,0034	0,0069	0,0053	0,0033
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	7	0,0020	0,014	<0,005	0,0030
		Eddersheim, km 15,3	12	6	<0,0020	0,0063	0,0039	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	2		37,2	41,1	39,2	32,6
		Garstadt, km 323,7	4		21,3	26,8	23,7	16,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	3		10,5	22,0	15,8	11,5
		Garstadt, km 316,2-324,8	9		1,41	94,9	19,6	13,1
MOSEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12		11,0	33,6	24,2	22,6
		Lehmen, km 20,83	11		5,0	14,5	9,9	11,6
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4		0,0021	0,0040	0,0029	0,0030
		Lehmen, km 20,83	-					0,0046
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	11	7	<0,0014	0,0043	<0,0020	0,0027
		Lehmen, km 20,83	6	5	<0,0014	0,0060	<0,0024	0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	4		1,17	7,21	4,61	1,15
		Trier, km 196,0	1		0,95	0,95	0,95	0,30
	Co-60	Perl, km 241,96	10	4	<0,61	4,71	2,84	1,18
		Trier, km 196,0	11	11	<0,10	<1,36	nn	<0,26
	Cs-137	Perl, km 241,96	10		11,5	30,3	17,7	20,9
		Trier, km 196,0	11		9,73	20,4	13,8	13,5
		Lehmen, km 20,83	-					4,70
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 239,7-242,0	1		0,43	0,43	0,43	0,07
		Trier, km 184,1-196,1	-					-
		Koblenz, km 4,05	-					0,28
	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	20	18	<0,18	0,60	<0,32	n.n
		Trier, km 184,1-196,1	24	23	<0,84	<0,77	<0,44	n.n
		Koblenz, km 4,05	9	7	<0,17	<0,49	<0,33	<0,16
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	20		0,97	17,2	6,6	9,1
		Trier, km 184,1-196,1	24		3,64	141	18,4	14,3
		Koblenz, km 4,05	9		6,97	153	40,7	36
SAAR								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	8		1,1	1,8	1,4	1,6
	Sr-90	Kanzem, km 5,0	3		0,0057	0,018	0,010	0,0036
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	7	7	<0,0019	0,0083	<0,0038	0,0016
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	9		9,73	23,9	18,4	22,9
DONAU								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Ulm, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12		1,4	2,0	1,7	2,4
		Vilshofen, km 2249,	12		1,4	2,8	2,2	3,7
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	3		0,0049	0,0057	0,0054	0,0047
		Vilshofen, km 2249,0	4		0,0025	0,0075	0,0054	0,0072
	Cs-137	Ulm, km 2490,8	4	4	<0,0053	<0,0095	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	11	<0,0014	0,0033	<0,0021	<0,0029
		Vilshofen, km 2249,0	11	6	<0,0020	0,0046	<0,0026	<0,0028

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwert 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	2000	2001
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	3		106	155	124	145
		Regensburg, km 2381,3	4		41,0	55,1	50,1	53
		Vilshofen, km 2249,0	4		41,3	56,3	46,1	58,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	3		73,0	130	107	125
		Regensburg, 2400,1-2379,1	13		1,67	79,3	33,3	46,7
		Straubing, km 2320,93	2		53,4	63,5	58.5	74,4
		Jochenstein, km 2202,7	4		13,5	16,7	13,5	12,5
ISAR								
0berflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4		1,2	1,5	1,4	2,1
		Plattling, km 9,1	4	3	<5,2	19,8	<8,9	<12,4
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	4	<0,0004	<0,0011	nn	0,0008
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0037	<0,0064	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4		19,1	22,3	20,6	23,2
		Plattling, km 9,1	3		61,8	73,6	65,9	82,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4		27,7	34,0	32,0	34,9
		Plattling, km 9,1	3		5,05	14,2	10,0	9,4
EMS								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12		1,6	27,9	7,2	10,2
		Terborg, km 24,7	12		1,4	9,4	3,2	5,6
	Co-60	Geeste, km 106,3	11	11	<0,0010	<0,0017	nn	nn
		Terborg, km 24,7	10	3	<0,0015	0,0074	0,0041	0,0042
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4		0,0014	0,0080	0,0051	0,0042
		Terborg, km 24,7	3		0,0032	0,015	0,010	0,012
	Cs-137	Geeste, km 106,3	11	7	<0,0020	0,0038	<0,0025	0,0032
		Terborg, km 24,7	10		<0,0061	0,048	0,022	0,021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	0,23	<1,0	nn	nn
		Terborg, km 24,7	4		0,43	0,64	0,53	0,65
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4		20,5	32,3	25,5	26,1
		Terborg, km 24,7	4		3,57	4,72	4,33	3,45
WESER / JADEBUSEN								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12		1,1	1,7	1,4	2,00
		Rinteln, km 163,2	12		1,3	17,2	3,9	4,0
		Langwedel, km 329,4	12		1,4	5,7	2,4	3,2
		Blexen, km 63,3	12		1,7	6,4	3,1	4,8
	Sr-90	Höxter, km 69,0	4		0,0028	0,0064	0,0044	0,0044
		Rinteln, km 163,2	4		0,0036	0,0093	0,0058	0,0043
		Langwedel, km 329,4	4		0,0018	0,0053	0,0043	0,0052
		Blexen, km 63,3	4		0,0033	0,012	0,007	0,0073
	Cs-137	Höxter, km 69,0	12	3	0,0020	0,0072	0,0038	0,0019
		Rinteln, km 163,2	12	3	0,0022	<0,0071	0,0039	0,0034
		Langwedel, km 329,4	12	3	0,0019	0,0070	0,0038	0,0047
		Blexen, km 63,3	12	-	0,0044	0,023	0,008	0,0091
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	4	<0,35	<0,69	nn	nn
		Rinteln, km 163,2	3	3	<0,38	<0,87	nn	nn
		Langwedel, km 329,4	4	4	<0,37	<0,83	nn	nn
		Wilhelmshaven/Jadebusen	3	1	1,60	<2,58	<2,04	1,76
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4		12,2	17,0	13,8	12,9
		Rinteln, km 163,2	3		8,83	15,5	12,9	10,0
		Langwedel, km 329,4	4		13,5	24,3	18,7	16,4
		Wilhelmshaven/Jadebusen	3		5,73	15,2	9,4	6,60

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwert 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	2000	2001
ELBE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	11		1,3	3,1	2,0	2,1
		Geesthacht, km 586,0	12		1,2	1,9	1,6	1,8
		HH (Bunthaus), km 609,8	4		0,92	1,5	1,2	1,1
		Cuxhaven, km 724,5	6		2,1	2,9	2,5	3,6
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3		0,0050	0,013	0,0081	0,0079
		Geesthacht, km 586,0	3		0,0043	0,0061	0,0053	0,0093
		HH (Bunthaus), km 609,8	4		0,0048	0,0063	0,0058	-
		Cuxhaven, km 724,5	2		0,0039	0,0063	0,0051	0,0029
	Cs-137	Dresden, km 58,0	10	6	<0,0022	0,0046	<0,0028	<0,0013
		Geesthacht, km 586,0	12	11	<0,0016	0,0050	<0,0025	0,0028
		HH (Bunthaus), km 609,8	4	1	<0,0017	0,0084	0,0044	0,0033
		Cuxhaven, km 724,5	4	1	<0,0021	0,0078	0,0054	0,0039
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	9		23,1	35,1	28,2	30,3
		Geesthacht, km 586,0	4		12,2	32,4	24,1	22,2
		Wedel, km 642,0	4		5,39	13,6	9,27	6,84
		Cuxhaven, km 724,5	2		0,86	26,2	13,5	1,69
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	10		21,1	44,6	33,9	31,4
		HH (Bunthaus), km 609,8	4		32,9	43,5	38,4	51,1
ODER								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	10		1,2	1,7	1,4	1,6
		Hohensaaten, km 667,5	11		1,1	1,5	1,3	1,5
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4		0,0068	0,011	0,009	0,0082
		Hohensaaten, km 667,5	4		0,0059	0,012	0,009	0,010
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	9	5	<0,0023	0,0071	<0,0035	0,0025
		Hohensaaten, km 667,5	11	2	<0,0023	0,0087	0,0046	0,0045
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	8		22,1	36,8	29,5	-
		Hohensaaten, km 667,5	9		18,1	50,2	27,3	27,2
SPREE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<4,1	<4,2	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	10		0,98	1,6	1,2	1,5
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	3		0,0042	0,010	0,007	0,0074
	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	1	0,0018	<1,10	0,0022	0,0020
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	10	6	<0,0015	0,0037	<0,0026	<0,0008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	9		17,1	41,6	32,7	42,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	2		18,5	19,6	19,1	19,5
HAVEL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12		0,93	1,2	1,1	1,4
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4		0,0042	0,016	0,0075	0,0078
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	10	3	<0,0022	0,011	0,0060	0,0048
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	9		54,8	194	79,8	80,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11		14,5	77,1	47,5	39,9

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwert 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	2000	2001
SAALE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	11		1,0	3.2	1.4	1,6
		Camburg, km 187,0	4	4	<3,4	<3.9	nn	<3,6
	Sr-90	Merseburg, km 104,5	3		0,0068	0,012	0,009	0,0062
		Camburg, km 187,0	2		0,0057	0,0065	0,0061	0,0053
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	8	7	<0,0016	0,0059	<0,0027	0,0015
		Camburg, km 187,0	4	4	<0,0061	<0,0065	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	10		12,5	19,8	15,1	13,3
		Camburg, km 187,0	2		27,9	33,2	30,6	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	8		10,0	17,1	14,1	13,1
PEENE								
Oberflächenwasser (Bq/l).	H-3	Anklam, km 96,1	8		0,93	1,2	1,1	1,3
	Sr-90	Anklam, km 96,1	3		0,0044	0,0098	0,0070	0,0068
	Cs-137	Anklam, km 96,1	7	4	<0,0022	0,0075	<0,0033	0,0014
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	7		37,1	57,5	43,8	38,2
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	8		32,9	47,8	42,4	46,8
TRAVE								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Travemünde, km 26,9	6		1,5	1,9	1,6	2,0
	Sr-90	Travemünde, km 26,9	1		0,011	0,011	0,011	0,0040
	Cs-137	Travemünde, km 26,9	5		0,012	0,022	0,015	0,034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Travemünde, km 26,9	1		4,42	4,42	4,42	55,0
NORD-OSTSEE-KANAL								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12		1,4	2,0	1,6	2,1
	Sr-90	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4		0,0022	0,0053	0,0039	0,0046
	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	12		0,0064	0,058	0,0025	0,029
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kiel-Holtenau, Einmündung Nord-Ostsee-Kanal	4		17,8	77,3	48,1	38,5

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

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2002	2001
BADEN-WÜRTTEMBERG / Bodensee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Langenargen	3 3	3 3	<8,0 <0,0076	<8,0 <0,0091	nn nn	nn nn
BAYERN / Chiemsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seeon-Seebruck	4 4 4	 3	0,84 0,0036 <0,0002	1,2 0,0050 0,0005	1,0 0,0041 <0,0003	1,8 0,0045 0,0004
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4		50,0	104	72,3	81,3
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	5		12,9	71,3	46,8	36,4
Starnberger See								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Starnberg	3 3 3	 	1,7 0,0079 0,0024	2,3 0,0099 0,0027	2,0 0,0091 0,0026	3,3 0,0090 0,0025
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	4		252	307	280	327
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	5		34,6	54,0	45,0	45,6
BERLIN / Müggelsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	PE-Stelle 41035	4 4 4	4 	<4,1 0,0049 0,0016	<4,2 0,0056 0,0039	nn 0,0052 0,0025	nn 0,0048 0,0033
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4		1,2	15,0	6,23	4,43
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4		17,7	87,0	50,9	82,5
Stössensee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Siemenswerder	4 4 4	4 	<4,1 0,0050 0,0019	<4,2 0,0065 0,0028	nn 0,0059 0,0023	nn 0,0047 0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4		3,1	11,3	6,5	6,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4		79,0	140	100	92,0
BRANDENBURG / Stechlinsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Neuglobsow	4 4 4	4 	<5,7 0,019 0,0070	<6,4 0,021 0,010	nn 0,020 0,0093	nn 0,023 0,0088
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Neuglobsow	4		12,0	23,0	18,6	18,5
Neuendorfer See								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Alt-Schadow	4 4 4	4 3	<5,9 0,0050 <0,0040	<6,2 0,0070 0,0060	nn 0,0063 <0,0047	nn 0,0050 nn
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Alt-Schadow	4		0,20	3,0	1,3	2,08

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2002	2001
HESSEN / Marbach-Talsperre								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<10	<10	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0069	<0,0077	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4		18,0	21,7	19,9	23,3
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4		17,9	27,7	22,0	24,8
MECKLENBURG-VORPOMMERN / Borgwallsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	4	<3,6	<3,8	nn	3,6
	Cs-137		4	3	<0,0041	<0,0064	<0,0054	nn
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Lüssow	4		8,82	10,5	9,42	9,59
Schweriner See								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<3,8	<4,3	nn	nn
	Sr-90		4		0,0050	0,0080	0,0063	0,0068
	Cs-137		4		0,0089	0,016	0,013	0,017
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schwerin	4		22,5	54,8	32,0	29,4
NIEDERSACHSEN / Sösetalsperre								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4		0,95	1,5	1,2	1,2
	Sr-90		4		0,0024	0,0031	0,0028	0,0034
	Cs-137		4	4	<0,0007	<0,0015	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4		39,9	50,0	43,5	52,5
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4		46,0	110	71	63,5
Steinhuder Meer								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4		1,1	1,4	1,2	1,1
	Cs-137		4		0,0032	0,011	0,0067	0,0098
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4		260	320	300	423
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4		42	83	68	171
NORDRHEIN-WESTFALEN / Möhne-Staussee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<5,0	<6,0	nn	nn
	Sr-90		1	1	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0036	<0,0097	nn	nn
Dreilägerbach-Talsperre								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Roetgen	4	4	<10	<10	nn	nn
	Cs-137		4	2	<0,0002	0,0011	<0,0005	0,0004
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Roetgen	4		6,82	8,64	7,79	8,5
RHEINLAND-PFALZ / Laacher See								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<1,5	<2,9	nn	<2,5
	Cs-137		4		0,035	0,041	0,039	0,042
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Maria Laach	4		65,0	130	104	102
SACHSEN / Talsperre Pöhl								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	2	3,2	<9,0	<5,6	nn
	Cs-137		4	2	0,0016	<0,0026	<0,0022	<0,0024

(Fortsetzung Tabelle)

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Proben-entnahmeort	Anzahl 2002		Aktivitätskonzentration			
					Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2002	2001
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Thoßfell	4		5,98	17,9	12,1	10,8
SACHSEN-ANHALT / Arendsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4 4	4	<5,0 0,090	<5,0 0,11	nn 0,10	nn 0,083
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Arendsee	4		69,0	79,3	69,0	75,6
Schollener See								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollene	4 4	4	<5,0 0,025	<5,0 0,054	nn 0,041	nn 0,030
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schollene	4		105	383	244	380
SCHLESWIG-HOLSTEIN / Schaalsee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Seedorf	4 4 4	4	<10 0,010 0,0013	<10 0,012 0,020	nn 0,011 0,012	nn 0,013 0,015
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seedorf	4		184	243	212	205
Wittensee								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Gr. Wittensee	4 4	4 2	<10 <0,0090	<10 0,011	nn <0,010	nn 0,012
Sediment Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4		12,0	16,1	13,3	18,8
THÜRINGEN / Talsperre Schmalwasser								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3 Cs-137	Tambach-Dietharz	4 4	3 4	<3,2 <0,0060	4,1 <0,0066	<3,8 nn	3,6 nn

nn: nicht nachgewiesen / nachweisbar

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

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

IIn diesem Kapitel wird der Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide im Jahr 2002 beschrieben. Grundlage der Bewertung sind drei Überwachungsfahrten mit dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie zahlreiche Wasserproben, die regelmäßig auch von anderen Schiffen des Bundes an festgelegten Positionen entnommen werden. Schwerpunktmäßig werden die Radionuklide Tritium, Cäsium-137 bzw. -134, Strontium-90, Plutonium-239,240, Plutounium-238 und Americium-241 untersucht. Auf Grund des eingeleiteten Laborneubaus und unzureichender Laborprovisorien sind jedoch zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes noch nicht alle Proben des Jahres 2002 analysiert, so dass der Beitrag dieses Jahr einen geringeren Umfang aufweist.

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

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

Seit Beginn der siebziger Jahre bestimmten die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See die Aktivitätskonzentration langlebiger künstlicher Radionuklide in der Nordsee. Auf Grund der vorherrschenden Meeresströmungen konnten diese Einleitungen auch in großen Entfernungen entsprechend der Transportzeit der kontaminierten Wassermassen 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 sowie den Einstrom kontaminierten Nordseewassers aus dem Skagerrak und Kattegat durch die Beltsee 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. Dies gilt auch für Versenkungen radioaktiver Abfälle im Nordost Atlantik, in der Barents- und Karasee, sowie für das gesunkene russische Atom-U-Boot "*Komsomolets"* in der Norwegensee.

Die Einleitungen aus den Wiederaufbereitungsanlagen La Hague und Sellafield lagen in den 70er Jahren erheblich höher. Seit vielen Jahren führten internationale Anstrengungen dazu, dass die Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen stark reduziert wurden. Dies führt auch im Wasser der Nordsee zu geringen Konzentrationen der meisten künstlichen Radionuklide. So nahm auch bis Ende der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an Cs-137 in der mittleren Nordsee mit einer durch die Strömung bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab. Eine Ausnahme bildet das Tritium. Da dieses Radionuklid aber praktisch in Meeresorganismen nicht angereichert wird, ist es für eine Strahlenexposition des Menschen oder der Meeresorganismen von geringerer Bedeutung.

In den Abbildungen 3.3.2-1 und 3.3.2-2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137 bzw. Sr-90 Aktivitätskonzentration an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Der Fallout von Tschernobyl ist in der Nordsee praktisch nicht mehr nachzuweisen. Der Einfluss der WAA Sellafield ist auch nur noch in der äußeren Deutschen Bucht nachzuweisen. In der Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen atlantischen Meerwassers. Cäsium-134 ist im Wasser der Nordsee nicht mehr nachweisbar (NWG ca. 0,2 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.

Abbildung 3.3.2-3 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, 010°05'E) sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

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/m^3 bestimmt wurde. Die Abbildung 3.3.2-4 zeigt die Salzgehaltsabhängigkeit der Cs-137 und Sr-90-Aktivitätskonzentration in der Ostsee für die Jahre 1983 und 2001. Im Jahre 1983 – vor dem Fallout von Tschernobyl – nahmen die Konzentrationen für Cs-137 und in geringerem Maße auch für Sr-90 mit zunehmenden Salzgehalt zu, da der Eintrag aus der Nordsee erfolgte; ab 1986 drehte sich diese Abhängigkeit um, da die höchsten Werte auf Grund des Tschernobyl Fallouts in der nördlichen Ostsee gemessen wurden, wo der Salzgehalt geringer ist. In den Abbildungen sind die Tiefenproben für Cs-137 gesondert dargestellt. Sie unterscheiden sich jedoch in der Korrelation nur unwesentlich von den Oberflächenproben. Dies zeigt die Durchmischung kontaminierter Oberflächenwasser mit dem Tiefenwasser.

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.

Durch den im Jahresmittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragenen 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.

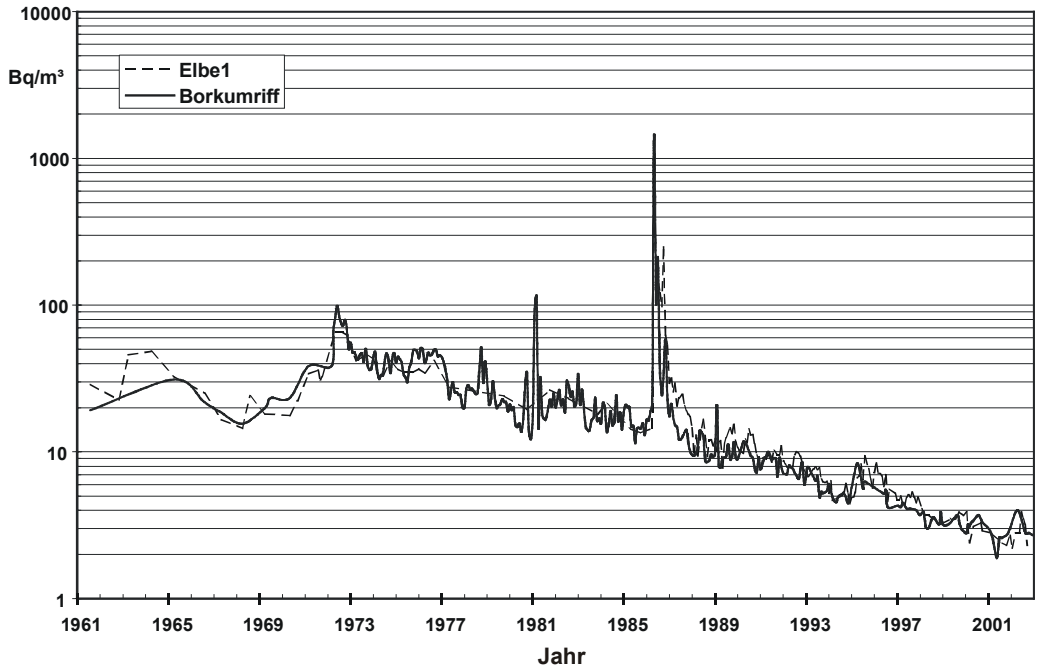
Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 liegt in der westlichen Ostsee etwa zwischen 12 und 60 Bq/m³. Die Konzentrationen nehmen nach Osten und Norden nach wie vor zu – in Richtung des Schwerpunktes des Tschernobyl-Fallouts. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, liegt sie immer noch über derjenigen der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser 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

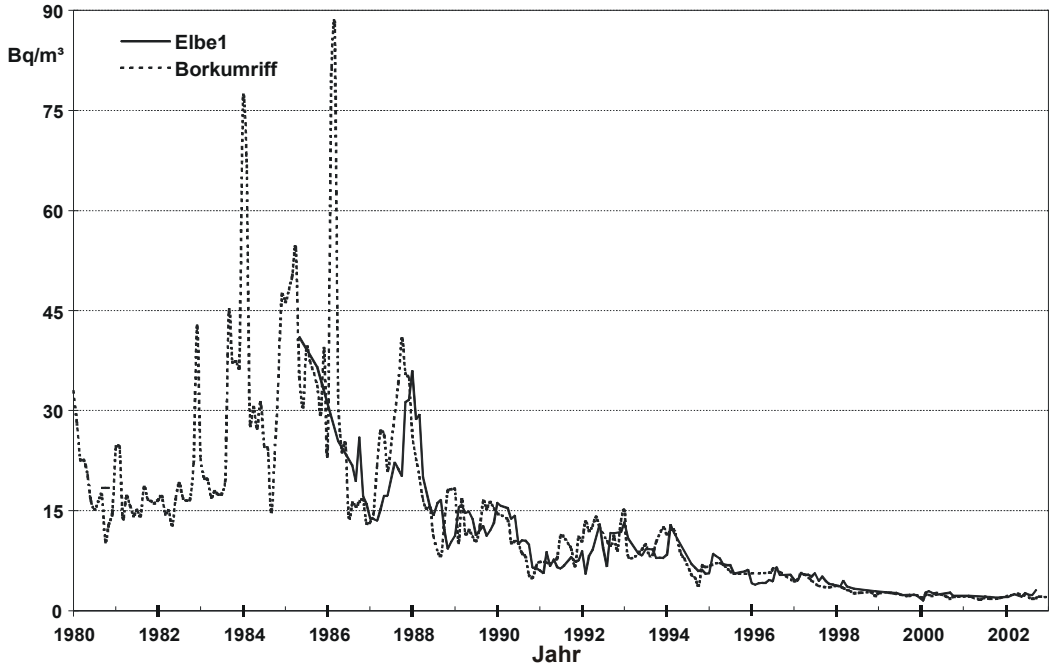
Das Sediment ist eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich die radioaktiven Nuklide durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese 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 ist 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.

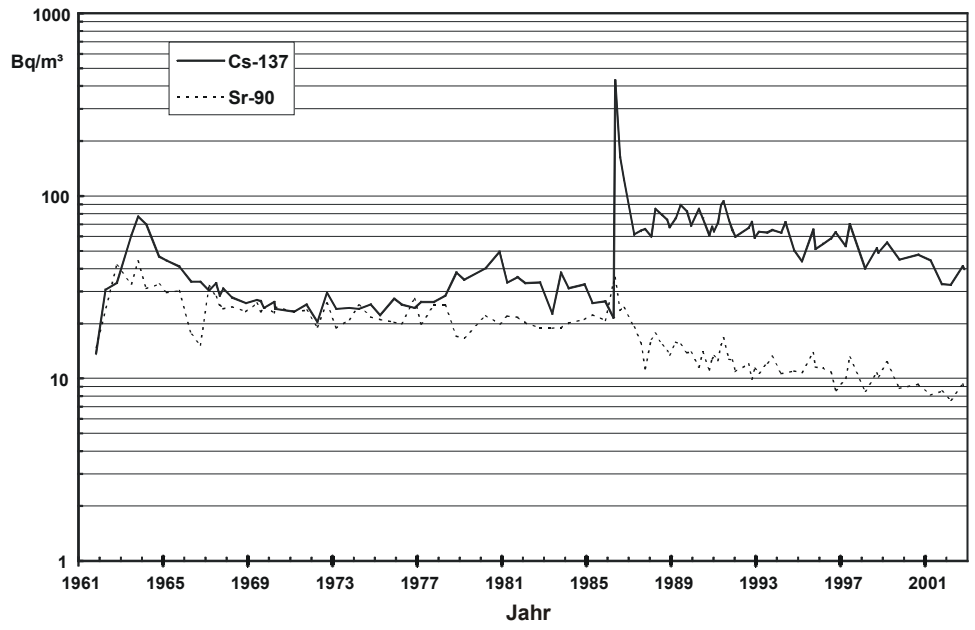
Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Infolge der kontinuierlichen Sedimentation findet sich heutzutage die höchste Konzentration nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Lokalität in Tiefen von zwei bis acht cm.



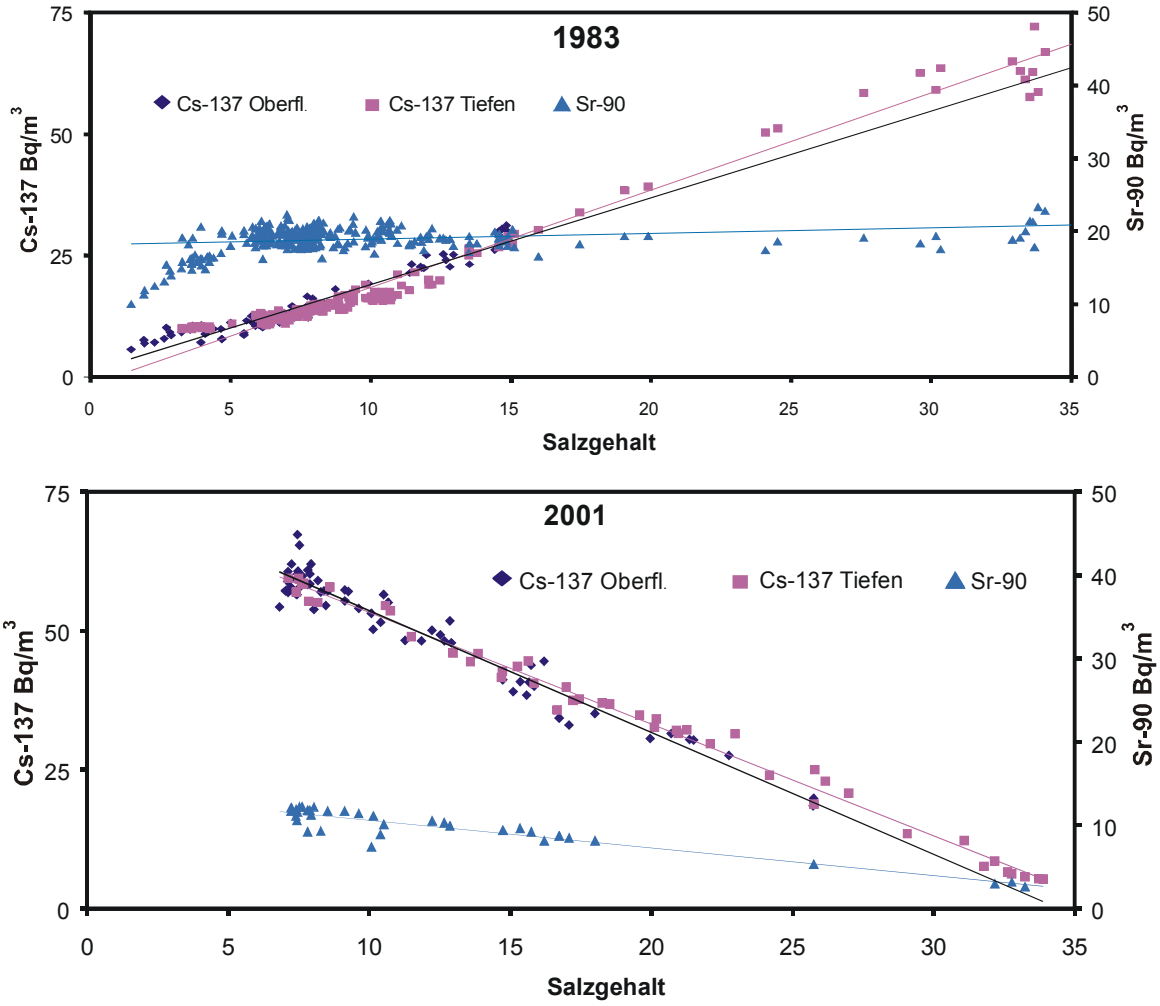
BSH	Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 (Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961 *(Temporal trend of the activity concentration of Cs-137 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1961)*	**3.3.2-1**



BSH	Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Sr-90 (Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1980 *(Temporal trend of the activity concentration of Sr-90 (Bq/m^3) at two positions in the German Bight since 1980)*	**3.3.2-2**



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



BSH	Salzgehaltsabhängigkeit der Cs-137 und Sr-90-Aktivitätskonzentration in der Ostsee für die Jahre 1983 und 2001 in PSU = Practical Salinity Units, entspricht in etwa Promille *(Salinity correlation of the Cs-137 and Sr-90 activity concentration in water of the Baltic Sea for the years 1983 and 2001, respectively in PSU = Practical Salinity Units)*	**3.3.2-4**

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

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

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 2002 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 3.4.1-1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 65 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für Cäsium-137 liegen alle unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) zwischen 0,46 mBq/l und 21 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen (geforderte NWG 10 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt <4,7 mBq/l (2001: <4,4 mBq/l).

In 31% der gemessenen Proben konnte Strontium-90 mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,90 mBq/l bis 14 mBq/l (2001: 0,90 bis 8,0 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 2 mBq/l (2001: < 2 mBq/l).

Tritium wurde in 7 Proben in Konzentrationen von 0,85 Bq/l bis 2,5 Bq/l (2001: 1,0 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 73 Trinkwasser- und 50 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cäsium-137 liegen mehr als 93% der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,085 mBq/l bis 97 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,42 mBq/l und 100 mBq/l (2001: 0,074 und 15 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 5,9 mBq/l (2001: 6,0 mBq/l).

In 57% der untersuchten Proben konnte Strontium-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,75 mBq/l und 8,0 mBq/l (2001: 0,37 und 41 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 3,7 mBq/l (2001: 3,1 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 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 Trinkwasserverzehr von 700 l Ingestionsdaten von 0,00091 bzw. 0,00016 mSv 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	58	28	1700	300	< 160
	Cs-137	118	118				< 4,7
	Sr-90	58	40	0,90	14		2,0
	H-3	8	1	850	2500	1600	1300
Trinkwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	263	139	14	1200		< 140
	Cs-137	263	246	0,42	100		< 5,9
	Sr-90	79	34	0,75	8,0	3,7	3,7

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.

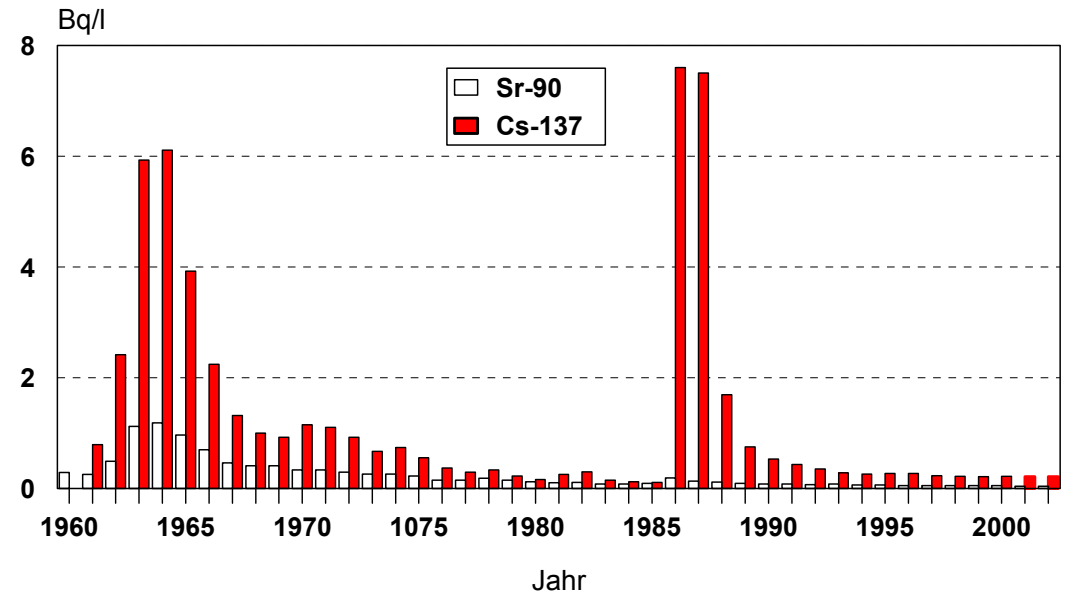
3.4.2 Milch und Milchprodukte
(Milk and milk products)

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 2001 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 worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, daher konnte bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden. 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 2002.

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: 0,1 bis 1,6 Bq/kg).



BAfM	Jahresmittelwerte der Sr-90 und Cs-137-Aktivitäten der Rohmilch in der Bundesrepublik Deutschland (*Annual mean values of Sr-90 and Cs-137 activities of raw milk in the Federal Republic of Germany)*	3.4.2-1

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-	2000	36	0,08	91	< 0,16
Württemberg	2001	36	0,07	93	< 0,14
	2002	35	0,07 (0,02 - 0,11)	83	< 0,15 (0,03 - 0,52)
Bayern	2000	104	0,07	272	< 0,27
	2001	106	0,06	274	< 0,27
	2002	92	0,07 (0,02 - 0,27)	260	< 0,32 (0,03 - 2,80)
Berlin	2000	12	0,02	24	< 0,24
	2001	12	0,03	24	< 0,11
	2002	12	0,03 (0,01 - 0,04)	24	< 0,07 (<0,02 - 0,21)
Brandenburg	2000	16	0,04	40	< 0,32
	2001	16	0,04	40	< 0,37
	2002	16	0,03 (0,01 - 0,04)	42	< 0,30 (<0,08 - 2,15)
Bremen	2000	12	< 0,03	12	< 0,54
	2001	12	< 0,03	12	0,34
	2002	12	< 0,02 (<0,01 - 0,05)	12	< 0,41 (0,02 - 1,16)
Hamburg	2000	9	0,03	12	< 0,12
	2001	8	0,04	12	< 0,12
	2002	12	0,03 (0,02 - 0,06)	11	< 0,13 (<0,07 - <0,22)
Hessen	2000	9	0,04	41	< 0,11
	2001	8	0,07	34	< 0,10
	2002	14	< 0,04 (<0,01 - 0,08)	35	< 0,11 (<0,03 - 0,21)
Mecklenburg-	2000	46	0,05	67	< 0,23
Vorpommern	2001	45	0,03	69	< 0,19
	2002	43	0,03 (0,01 - 0,06)	67	< 0,17 (0,07 - 1,08)
Niedersachsen	2000	123	0,05	228	< 0,29
	2001	131	0,04	226	< 0,25
	2002	126	0,04 (0,02 - 0,06)	219	< 0,21 (<0,02 - 0,69)
Nordrhein-Westfalen	2000	44	< 0,06	132	< 0,14
	2001	43	< 0,05	126	< 0,13
	2002	44	< 0,05 (<0,001- 0,35)	134	< 0,14 (0,02 - 0,38)
Rheinland-Pfalz	2000	19	0,04	59	< 0,15
	2001	4	0,04	35	< 0,26
	2002	21	0,04 (0,03 - 0,05)	67	< 0,20 (<0,02 - 0,72)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Sr-90 (Bq/l)		Cs-137 (Bq/l)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	2000	10	< 0,02	10	< 0,20
	2001	11	< 0,02	12	< 0,20
	2002	11	< 0,03 (<0,02 - 0,06)	11	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	2000	10	0,03	20	< 0,09
	2001	12	0,04	24	< 0,13
	2002	12	0,03 (0,03 - 0,04)	24	< 0,09 (<0,06 - <0,12)
Sachsen-Anhalt	2000	12	< 0,03	40	< 0,21
	2001	12	< 0,02	38	< 0,14
	2002	12	< 0,03 (<0,02 -0,04)	24	< 0,26 (<0,09 -0,72)
Schleswig-Holstein	2000	48	0,05	108	< 0,19
	2001	44	0,04	104	< 0,14
	2002	36	0,05 (0,03 -0,07)	96	< 0,13 (0,03 -0,86)
Thüringen	2000	24	0,02	36	< 0,08
	2001	21	0,02	33	< 0,09
	2002	25	0,03 (0,02 -0,05)	37	< 0,08 (0,01 -0,15)
Bundesrepublik	2000	534	< 0,05	1192	< 0,22
(gesamt)	2001	521	< 0,04	1156	< 0,21
	2002	523	< 0,04 (<0,001- 0,35)	1146	< 0,20 (0,01 - 2,80)

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	1146	< 0,9	< 0,01	2,80	0,01
Käse	2	< 0,20	< 0,02	0,52	< 0,34
Ziegenkäse	1	<0,20	-	< 0,27	-
Importe					
Käse	107	< 0,40	< 0,02	0,62	< 0,05
Frischkäse	3	-	-	< 0,11	< 0,08
Schmelzkäse	2	< 0,18	< 0,08	< 0,31	< 0,09
Schafskäse	14	< 0,30	< 0,07	< 0,38	< 0,07
Ziegenkäse	3	< 0,27	< 0,14	0,31	< 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) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) erhalten wurden. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) ergänzt. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen (REI) von den Messstellen der Bundesländer und den Betreibern erhobenen Messdaten werden in Kapitel II 1.4.4 in zusammengefasster Form dargestellt.

Bei der Auswertung wurde im Allgemeinen nicht nach Fischarten unterschieden. Da die spezifischen Cäsium-137-Aktivitäten im Fisch im Wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis Cäsium-134/Cäsium-137 im Fisch im Jahr 2002 ein Wert zwischen 0,0040 und 0,0029 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 2002 wurden im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG Messungen von γ–Strahlern (an 445 Proben) und Strontium-90 (an 63 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 2002 zusammengefassten Cs-137-Werte durchgeführt.

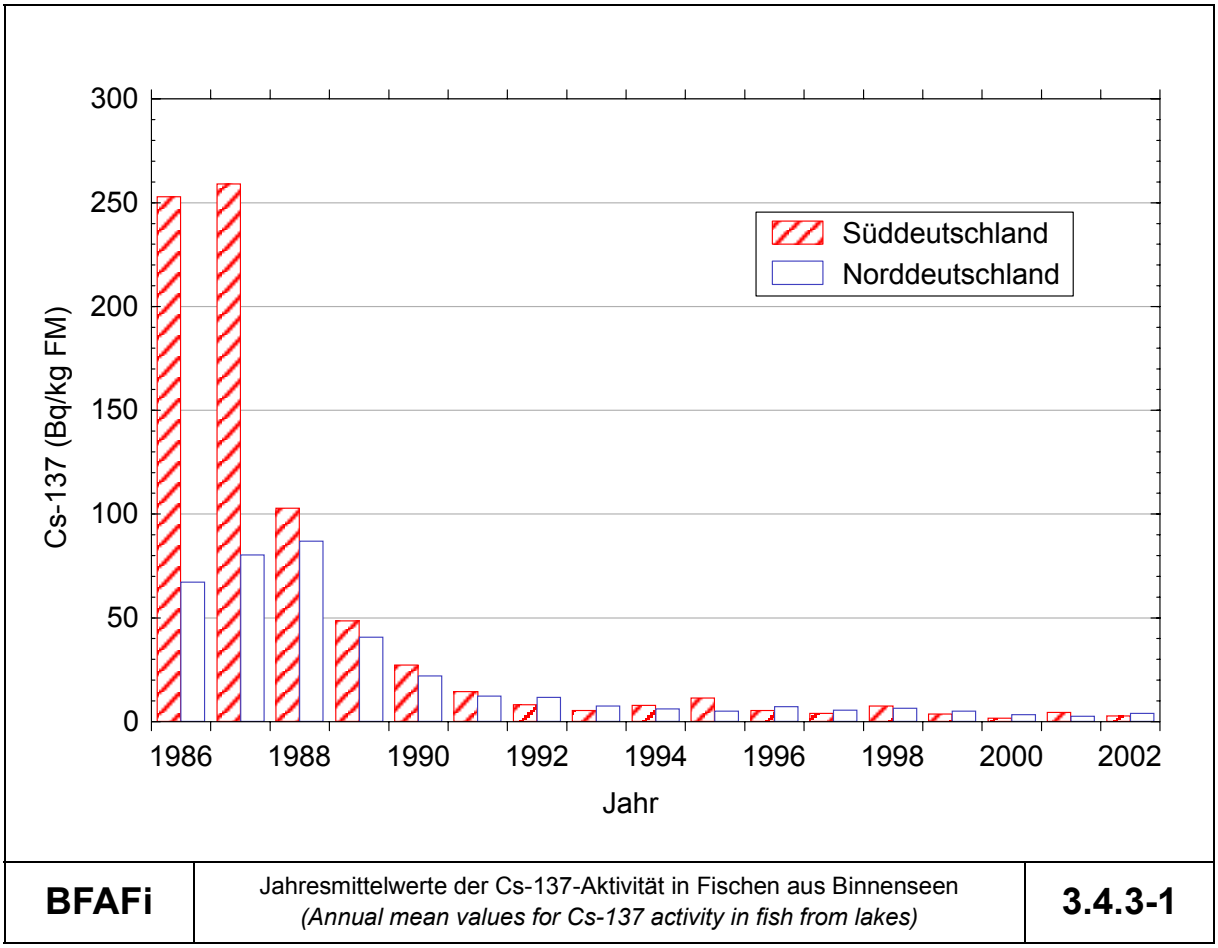
Tabelle 3.4.3-1 zeigt für 2002 im Vergleich zwischen Süddeutschland (der Hauptanteil der Daten stammt aus Bayern), Mitteldeutschland und Norddeutschland die mittleren Cs-137-Aktivitäten in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen sowie aus Fließgewässern. Werte für nicht spezifizierte Gewässer sind in 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 0,0031 (Süddeutschland) und <0,003 (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 und der relativ niedrigen Probenanzahlen zu tun.

Im Vergleich zwischen Süd- und Norddeutschland zeigen die Abbildungen 3.4.3-1 bis 3.4.3-3 die zeitliche Entwicklung der mittleren Cs-137-Aktivität in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen und aus Fließgewässern seit 1986. Die in Binnenseefischen ab 1988 beobachtete zeitliche Abnahme der Cs-137-Aktivität setzte sich ab etwa 1993 praktisch nicht weiter fort. In den Fließgewässern setzte die Abnahme zumindest schon ab 1987 ein. Bis 2002 ist keine nennenswerte Abnahme gegenüber 1993 mehr festzustellen.

Die mittleren Cs-137-Aktivitäten der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren im Jahr 2002 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 (2002)
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2002)
Messungen der Bundesländer

Gewässer	Region	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität / Bq/kg FM		
Binnenseen	Süddeutschland	45	1	0,094	60	2,7
	Mitteldeutschland	1	1	<0,11	<0,11	<0,11
	Norddeutschland	55	0	0,20	36	3,8
Fischteiche	Süddeutschland	27	5	0,082	1,1	0,23
	Mitteldeutschland	27	7	<0,13	5,6	0,31
	Norddeutschland	12	0	0,20	11	0,71
Fließgewässer	Süddeutschland	10	1	0,090	1,4	0,39
	Mitteldeutschland	28	10	<0,1	5,2	0,22
	Norddeutschland	8	1	<0,14	1,5	0,86
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	4	1	0,19	0,49	0,25
	Mitteldeutschland	12	5	0,13	0,31	0,15
	Norddeutschland	0	0			



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

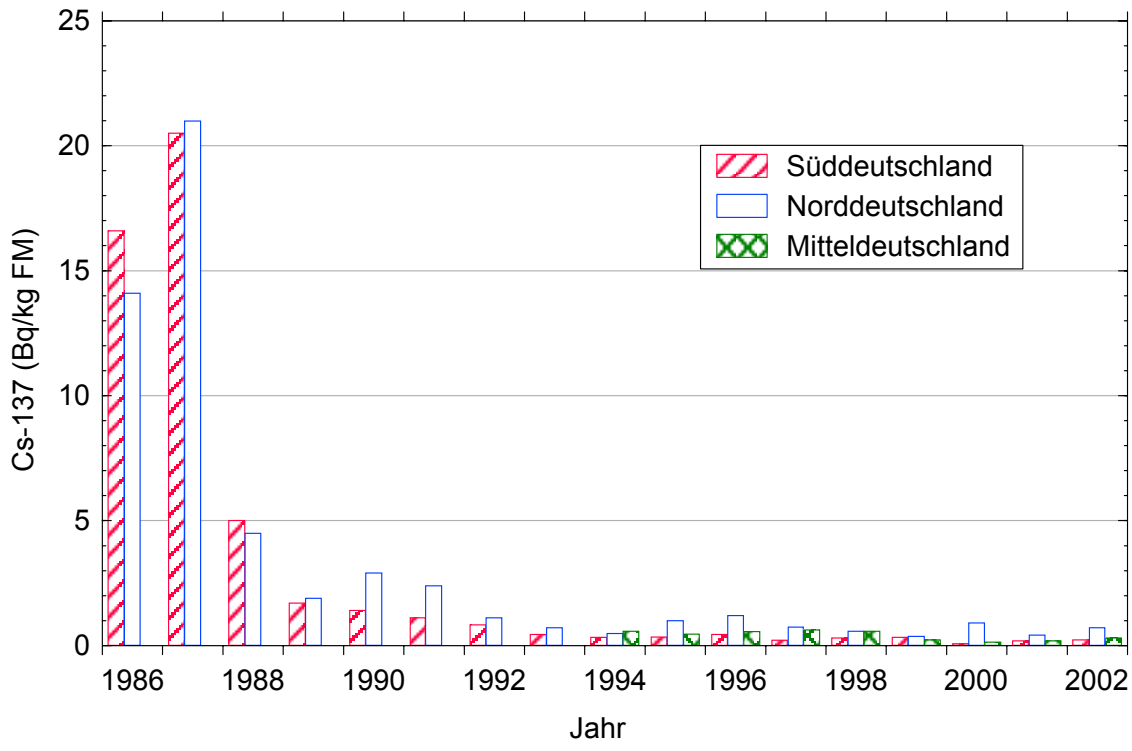
Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden seit 1990 gelegentlich höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abb. 3.4.3-2), was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

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.

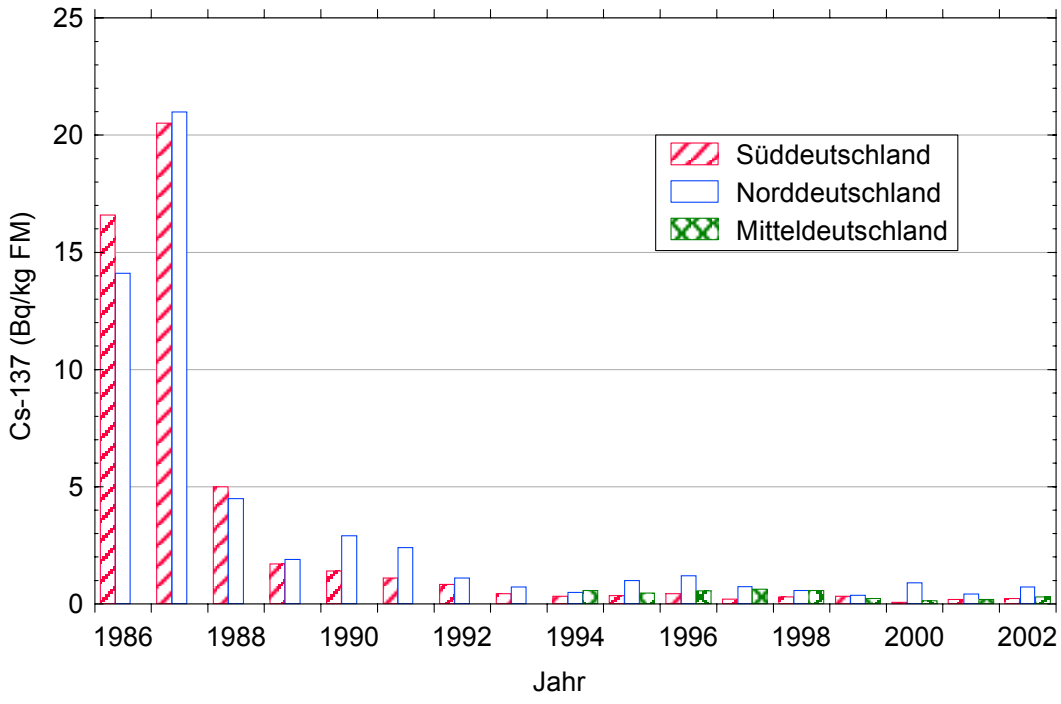
Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Aktivitäten (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 3.4.3-2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Werte ergibt, dass bis 2000 (vgl. Abb. 3.4.3-4) Forellen geringfügig niedriger kontaminiert waren als Karpfen, in 2001 und 2002 jedoch nicht mehr.

Tabelle 3.4.3-2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2002)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2002)
Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

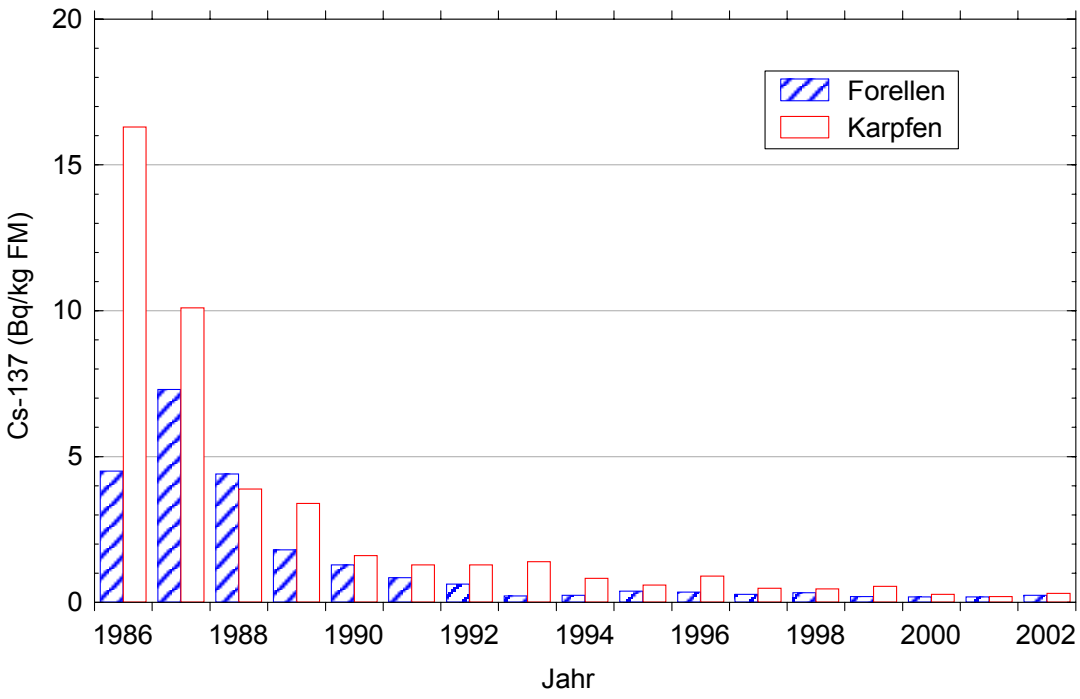
Fisch	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Forellen	43	8	0,082	1,4	0,25
Karpfen	43	10	<0,10	11	0,31



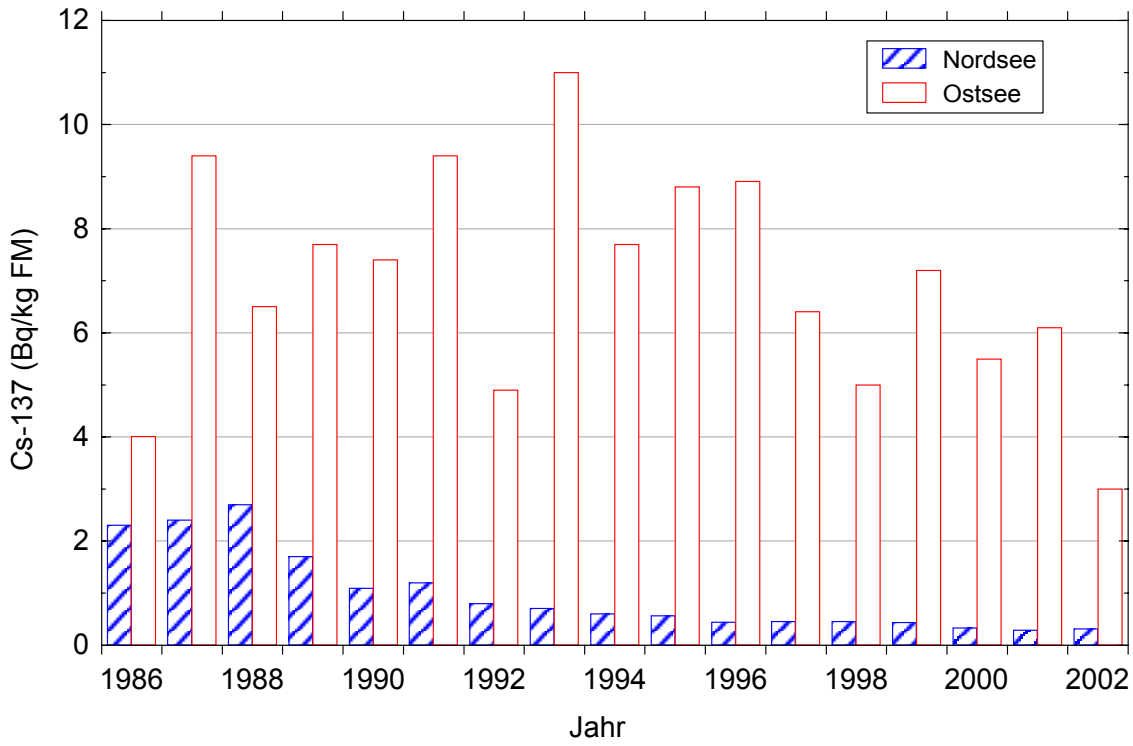
BFAFi	Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen *(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from fish farms)*	3.4.3-2



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



BFAFi	Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Karpfen und Forellen *(Annual mean values for Cs-137 activity in carp and trout)*	3.4.3-4



BFAFi	Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Nord- und Ostsee *(Annual mean values for Cs-137 activity in fish from the North and Baltic Seas)*	3.4.3-5

In Tabelle 3.4.3-3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätswerte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2002 die meisten Cs-137-Werte unter maximal 0,73 Bq/kg, im Mittel bei etwa 0,30 Bq/kg (2001: 0,29 Bq/kg).

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zur mittleren Cs-137-Aktivität schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig die Cs-137-Aktivität im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abb. 3.4.3-5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherer Cs-137-Aktivität aus der östlichen Ostsee (2002: maximal 18 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 (2002)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North Sea and the Baltic Sea - year 2002)
Messungen der Bundesländer und, im Falle von Fischen, auch der Leitstelle

Gewässer	Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Nordsee	Fische	33	0	0,12	0,73	0,30
	Garnelen	15	12	0,086	0,13	0,090
	Miesmuscheln	14	9	0,086	0,27	0,093
Ostsee	Fische	27	0	0,37	18	3,0

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelenfleisch wiesen eine mittlere Cs-137-Aktivität von 0,09 Bq/kg (2001: 0,09 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln betrug sie ebenfalls etwa 0,09 Bq/kg (2001: 0,09 Bq/kg); vgl. Tab. 3.4.3-3.

Die im Jahr 2002 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 3.4.3-4) lagen bei 0,4 Bq/kg (2001: 1,0 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 (2002)
(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish, crustaceans and fishery products - year 2002)
Messungen der Bundesländer,

Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Süßwasserfisch	26	7	<0,1	1,9	0,42
Seefisch	99	22	<0,1	11	0,26
Krusten- u. Schalentiere	13	8	<0,1	0,83	0,085
Fischerzeugnisse	8	6	<0,13	0,51	0,095

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Sr-90-Analysen sind in Tabelle 3.4.3-5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, dass die Sr-90-Aktivität bei Binnenseen nur etwa 1,7 mal so groß war wie bei Fließgewässern und Fischteichen. Bei Fischen aus Binnenseen hat sich der mittlere Sr-90-Wert gegenüber dem Vorjahr (2001: 0,034 Bq/kg FM) nicht geändert. In Fischen aus Nord- und Ostsee sowie im Fleisch der Garnelen und Miesmuscheln aus der Nordsee wurden ganz ähnliche, niedrige Sr-90-Werte gefunden.

Tabelle 3.4.3-5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2002)
(Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2002)
Messungen der Bundesländer

Pröobenart	Gewässer	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Sr-90-Aktivität (Bq/kg FM)		
Fisch	Binnenseen	14	0	0,010	0,19	0,034
	Fischteiche	6	1	<0,013	0,051	0,030
	Fließgewässer	12	6	<0,004	0,12	0,011
	Meere	5	1	<0,0099	0,035	0,018
Garnelen	Nordsee	13	7	<0,02	0,11	0,020
Miesmuscheln	Nordsee	10	4	<0,02	0,055	0,030

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 führt auch in diesem Jahr in Nahrungsmitteln zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen (siehe Tabellen 3.4.4-1 - 3.4.4-7). 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 sowie Wildbeeren (Tabelle 3.4.4-12) und Blütenhonig (Tabelle 3.4.4-13). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

Die Messwerte für Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung können in diesem Bericht 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	2001	38	<0,17	(<0,05 - 0,28)	8	0,11	(0,08 - 0,15)
	2002	41	<0,12	(<0,02 - 0,25)	9	0,12	(0,07 - 0,22)
Bayern	2001	43	<0,18	(<0,05 - 0,48)	5	0,21	(0,14 - 0,32)
	2002	43	<0,29	(<0,06 - 1,60)	5	0,34	(0,18 - 0,53)
Berlin	2001	1	<0,07		1	0,18	
	2002	3	<0,13	(<0,08 - <0,20)	1	0,24	
Brandenburg	2001	16	<0,12	(<0,07 - 0,20)	1	0,32	
	2002	17	<0,14	(<0,06 - 0,30)	1	0,44	
Bremen	2001	2	<0,05	(<0,02 - <0,07)	-		
	2002	2	<0,05	(<0,04 - 0,06)	-		
Hamburg	2001	5	0,09	(<0,07 - <0,10)	-		
	2002	4	<0,10	(<0,09 - <0,11)	1	0,14	
Hessen	2001	8	< 0,13	(<0,09 - <0,16)	-		
	2002	10	< 0,12	(<0,09 - <0,14)	-		
Mecklenburg-	2001	32	<0,13	(<0,08 - <0,18)	2	0,19	(0,18 - 0,20)
Vorpommern	2002	33	<0,14	(<0,11 - <0,17)	2	0,20	(0,18 - 0,23)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)		Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen	2001	40	<0,13 (<0,07 - 0,29)	4	0,10 (< 0,02 - 0,14)
	2002	41	<0,14 (<0,04 - 0,41)	6	0,19 (0,12 - 0,32)
Nordrhein-Westfalen	2001	39	<0,11 (<0,04 - 0,20)	3	0,30 (0,17 - 0,54)
	2002	37	<0,12 (<0,07 - <0,20)	1	< 0,09
Rheinland-Pfalz	2001	15	0,19 (<0,06 - 0,37)	-	
	2002	25	<0,25 (<0,05 - 0,71)	1	0,19
Saarland	2001	5	<0,17 (<0,02 - 0,23)	1	0,02
	2002	3	<0,20 (<0,20 - <0,20)	1	0,17
Sachsen	2001	10	<0,10 (0,04 - <0,14)	3	0,17 (0,13 - 0,22)
	2002	10	<0,10 (<0,08 - <0,12)	3	0,17 (0,12 - 0,24)
Sachsen-Anhalt	2001	14	<0,12 (<0,09 - 0,19)	4	0,08 (0,03 - 0,13)
	2002	11	<0,17 (<0,10 - 0,49)	3	0,14 (0,04 - 0,27)
Schleswig-Holstein	2001	9	<0,14 (0,11 - <0,19)	1	0,18
	2002	36	<0,12 (<0,07 - 0,20)	4	0,18 (0,13 - 0,22)
Thüringen	2001	22	<0,12 (<0,09 - <0,15)	1	0,05
	2002	22	<0,13 (<0,09 - <0,15)	1	0,05
Bundesrepublik	2001	300	<0,13 (<0,02 - 0,37)	34	0,20 (< 0,02 - 0,61)
(gesamt)	2002	338	<0,16 (<0,02 - 1,60)	39	< 0,19 (0,04 - 0,53)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Importe	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	2001	1	<0,10
	2002	3	<0,10 (<0,1 - <0,11)
Frankreich	2001	2	0,15 (0,09-<0,20)
	2002	4	<0,15 (<0,08 - <0,20)
Schweden	2001	-	
	2002	1	<0,12
Spanien	2001	-	
	2002	1	0,17
Türkei	2001	4	<0,20) (<0,05 - <0,14
	2002	5	<0,11 (<0,04 - <0,23)
USA	2001	1	<0,04
	2002	-	
Ungarn	2001	1	<0,20
	2002	1	<0,17

- Messung / Angabe nicht erforderlich

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

Produkt		Cs-137 (Bq/kg FM)			Sr-90 (Bq/kg FM)		
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Gerste	2001	103	<0,14	(<0,04 - 0,27)	10	0,19	(0,12 - 0,33)
	2002	120	<0,15	(<0,03 - 0,40)	13	0,15	(0,03 - 0,24)
Hafer	2001	18	<0,66	(<0,10 - 4,26)	3	0,29	(0,23 - 0,36)
	2002	19	<0,23	(<0,08 - 1,38)	2	0,24	(0,23 - 0,25)
Mais	2001	1	<0,08		-		
	2002	1	<0,10		-		
Reis	2001	10	<0,14	(0,04 - 0,32)	-		
	2002	12	<0,15	(<0,04 - 0,25)	-		
Roggen	2001	176	<0,19	(0,03 - 2,94)	13	0,27	(0,06 - 0,89)
	2002	173	<0,20	(<0,03 - 2,05)	16	0,21	(0,05 - 0,54)
Sonstige	2001	18	<0,24	(0,06 - 0,77)	2	0,15	(<0,01 - 0,29)
	2002	22	<0,24	(<0,06 - 1,04)	2	0,16	(0,07 - 0,26)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland		Cs-137 (Bq/kg FM)		
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	2001	8	<1,12	(<0,25 - 2,95)
	2002	6	<0,64	(<0,22 - 1,11)
Bayern	2001	8	0,51	(0,20 - 0,79)
	2002	8	1,24	(0,20 - 4,63)
Berlin	2001	2	<0,18	(<0,13 - 0,23)
	2002	3	<0,38	(<0,17 - 0,56)
Brandenburg	2001	3	1,20	(0,40 - 2,10)
	2002	3	15,2	(1,80 - 38,0)
Bremen	2001	4	0,93	(0,07 - 2,60)
	2002	a)		
Hamburg	2001	4	<0,72	(<0,14 - 1,47)
	2002	3	2,01	(0,57 - 3,72)
Hessen	2001	1	<0,13	
	2002	1	<0,14	
Mecklenburg-Vorpommern	2001	6	1,34	(0,45 - 2,39)
	2002	7	<1,13	(<0,09 - 2,01)
Niedersachsen	2001	9	0,88	(0,10 - 1,43)
	2002	9	<0,69	(<0,15 - 1,20)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland		Cs-137 (Bq/kg FM)	
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)
Nordrhein-Westfalen	2001	21	<0,51 (<0,12 - 1,89)
	2002	17	<1,41 (<0,05 - 9,81)
Rheinland-Pfalz	2001	3	<0,63 (0,40 - 0,93)
	2002	3	0,93 (0,52 - 1,16)
Saarland	2001	8	<0,27 (<0,20 - 0,39)
	2002	3	<0,26 (<0,20 - 0,37)
Sachsen	2001	5	0,28 (0,10 - 0,58)
	2002	5	0,30 (0,06 - 0,86)
Sachsen-Anhalt	2001	3	<0,43 (<0,11 - 0,90)
	2002	3	0,63 (0,43 - 0,81)
Schleswig-Holstein	2001	-	
	2002	1	0,52
Thüringen	2001	2	<0,11 (<0,10 - <0,11)
	2002	3	<0,48 (<0,10 - 0,83)
Bundesrepublik	2001	87	<0,66 (0,77 - 2,95)
(gesamt)	2002	75	<1,51 (<0,05 - 38,0)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Bundesland		Cs-137 (Bq/kg FM)	
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2001	34	<0,35 (<0,10 - 2,79)
	2002	35	<0,62 (<0,10 - 13,3)
Bayern	2001	64	<0,52 (0,07 - 4,95)
	2002	67	<0,71 (<0,10 - 4,49)
Berlin	2001	7	<1,40 (<0,20 - 2,70)
	2002	5	0,15 (0,10 - 0,25)
Brandenburg	2001	32	<2,76 (<0,10 - 13,0)
	2002	31	<1,84 (0,10 - 7,80)
Bremen	2001	5	0,74 (0,09 - 2,45)
	2002	9	1,45 (0,04 - 10,1)
Hamburg	2001	8	<1,55 (0,07 - 6,89)
	2002	6	<0,38 (<0,09 - 0,61)

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland		Cs-137 (Bq/kg FM)	
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)
Hessen	2001	4	<0,24 (<0,16 - 0,32)
	2002	9	<0,16 (<0,09 - 0,26)
Mecklenburg-Vorpommern	2001	35	<1,44 (<0,06 - 6,36)
	2002	33	<1,77 (<0,08 - 19,3)
Niedersachsen	2001	27	<1,26 (0,10 - 11,0)
	2002	27	<0,74 (<0,09 - 2,57)
Nordrhein-Westfalen	2001	33	<0,34 (0,06 - 2,87)
	2002	38	<0,17 (<0,07 - 0,62)
Rheinland-Pfalz	2001	11	<0,32 (<0,10 - 0,75)
	2002	10	<0,39 (<0,11 - 0,97)
Saarland	2001	15	<0,22 (<0,20 - 0,48)
	2002	5	<0,24 (<0,20 - 0,40)
Sachsen	2001	29	<0,36 (<0,10 - 1,68)
	2002	29	<0,95 (<0,07 - 11,5)
Sachsen-Anhalt	2001	24	<0,48 (<0,07 - 3,89)
	2002	24	<0,17 (<0,08 - 0,40)
Schleswig-Holstein	2001	5	<0,41 (<0,09 - 1,57)
	2002	24	<0,76 (<0,09 - 7,93)
Thüringen	2001	24	<0,12 (<0,08 - 0,37)
	2002	22	<0,16 (<0,08 - 0,51)
Bundesrepublik	2001	357	<0,81 (<0,06 - 13,0)
(gesamt)	2002	374	<0,77 (0,04 - 19,3)

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2001	17	<0,19 (<0,19 - 0,28)
	2002	20	<0,33 (<0,10 - 2,68)
Bayern	2001	35	<0,33 (<0,10 - 1,26)
	2002	36	<0,39 (<0,10 - 2,33)
Berlin	2001	6	<0,35 (<0,08 - 0,60)
	2002	7	<0,36 (<0,09 - 0,80)
Brandenburg	2001	26	<0,42 (<0,09 - 2,90)
	2002	26	<0,27 (<0,08 - 0,66)
Bremen	2001	6	0,63 (0,10 - 2,08)
	2002	6	<0,13 (0,07 - 0,24)
Hamburg	2001	10	<0,17 (<0,08 - 0,27)
	2002	6	<0,20 (<0,11 - 0,38)
Hessen	2001	4	<0,13 (<0,12 - <0,17)
	2002	9	<0,15 (<0,09 - 0,28)
Mecklenburg - Vorpommern	2001	34	<0,22 (0,05 - 0,64)
	2002	33	<0,25 (0,07 - 0,64)
Niedersachsen	2001	52	<0,24 (<0,07 - 1,42)
	2002	54	<0,25 (<0,10 - 1,63)
Nordrhein-Westfalen	2001	67	<0,18 (<0,07 - 1,20)
	2002	67	<0,15 (<0,05 - 0,34)
Rheinland-Pfalz	2001	9	<0,29 (<0,10 - 0,45)
	2002	9	<0,19 (<0,13 - 0,27)
Saarland	2001	9	<0,21 (<0,20 - 0,31)
	2002	5	<0,30 (<0,20 - 0,72)
Sachsen	2001	23	<0,21 (0,10 - 0,69)
	2002	23	<0,21 (0,06 - 1,42)
Sachsen-Anhalt	2001	36	<0,27 (<0,08 - 1,56)
	2002	36	<0,23 (<0,08 - 0,74)
Schleswig-Holstein	2001	13	<0,20 (<0,09 - 0,78)
	2002	11	<0,14 (<0,09 - 0,20)
Thüringen	2001	20	<0,14 (<0,08 - 0,26)
	2002	21	<0,18 (0,11 - 0,89)
Bundesrepublik (gesamt)	2001	367	<0,25 (0,05 - 2,90)
	2002	369	<0,23 (<0,05 - 2,68)

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	2001	10	<0,18 (<0,02 - 0,56)
	2002	14	<0,62 (<0,06 - 5,84)
Ente	2001	22	<0,16 (0,06 - <0,48)
	2002	16	< 0,18 (0,07 - 0,40)
Gans	2001	14	<0,15 (<0,08 - 0,47)
	2002	18	< 0,14 (<0,05 - 0,27)
Pute	2001	56	<0,15 (<0,03 - 0,65)
	2002	42	<0,13 (<0,08 - <0,22)
Huhn/Hähnchen	2001	118	<0,18 (0,04 - 0,81)
	2002	125	<0,17 (<0,03 - <0,43)
Hühnereier	2001	1	<0,10
	2002	-	

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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	2001	8	37,3 (0,25 - 75,2)
	2002	8	< 26,1 (< 0,12 - 53,4)
Hirsch	2001	33	< 17,9 (0,14 - 114)
	2002	8	13,1 (0,09 - 49,0)
Känguru	2001	-	
	2002	1	< 0,08
Reh	2001	169	< 33,8 (0,12 - 638)
	2002	141	< 42,0 (0,14 - 677)
Feldhase	2001	2	< 0,20 (< 0,14 - 0,25)
	2002	3	< 7,99 (< 0,18 - 23,6)
Wildschwein	2001	253	< 73,8 (< 0,05 - 1270)
	2002	445	< 213 (< 0,11 - 1780)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden)

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

Bundesland	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)	Sr-90 (Bq/kg FM) N	Sr-90 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	2001	8	< 0,13 (< 0,04 - < 0,20)	-	
	2002	9	< 0,12 (< 0,03 - < 0,21)	1	0,03
Bayern	2001	34	< 0,21 (< 0,10 - 0,56)	3	0,09 (0,06 - 0,12)
	2002	36	< 0,20 (0,08 - 0,61)	3	0,08 (0,05 - 0,10)
Berlin	2001	2	< 0,07 (< 0,05 - 0,09)	1	0,02
	2002	2	< 0,06 (< 0,04 - < 0,08)	1	0,01
Brandenburg	2001	12	< 0,14 (< 0,09 - 0,40)	-	
	2002	13	< 0,11 (< 0,07 - 0,20)	1	0,02
Bremen	2001	2	0,05 (0,03 - 0,07)	-	
	2002	2	0,46 (0,09 - 0,84)	-	
Hamburg	2001	2	< 0,12 (< 0,10 - < 0,12)	-	
	2002	2	< 0,13 (< 0,12 - < 0,13)	-	
Hessen	2001	3	< 0,13 (< 0,10 - < 0,16)	-	
	2002	5	< 0,12 (< 0,06 - < 0,14)	1	0,04
Mecklenburg-Vorpommern	2001	13	< 0,09 (< 0,04 - < 0,14)	1	0,02
	2002	12	< 0,10 (< 0,04 - 0,28)	1	0,02
Niedersachsen	2001	42	< 0,15 (< 0,05 - 0,32)	4	< 0,03 (< 0,02 - 0,05)
	2002	41	< 0,18 (< 0,04 - 0,58)	4	< 0,03 (0,02 - 0,06)
Nordrhein-Westfalen	2001	21	< 0,14 (< 0,05 - 0,24)	5	< 0,05 (0,02 - 0,16)
	2002	16	< 0,15 (< 0,08 - < 0,20)	5	< 0,05 (< 0,01 - 0,13)
Rheinland-Pfalz	2001	3	< 0,30 (< 0,25 - 0,34)	-	
	2002	6	< 0,19 (< 0,04 - 0,55)	2	0,04 (0,04 - 0,04)
Saarland	2001	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
	2002	2	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)	-	
Sachsen	2001	10	< 0,11 (< 0,07 - 0,18)	1	0,03
	2002	10	< 0,11 (< 0,08 - 0,22)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	2001	11	< 0,18 (< 0,08 - 0,48)	2	0,03 (0,02 - 0,03)
	2002	9	< 0,16 (< 0,12 - 0,32)	2	< 0,02 (< 0,02 - 0,02)
Schleswig-Holstein	2001	1	0,10	-	
	2002	6	< 0,13 (0,12 - < 0,15)	1	0,05
Thüringen	2001	6	< 0,11 (< 0,09 - < 0,14)	1	0,02
	2002	6	< 0,11 (< 0,09 - < 0,13)	-	
Bundesrepublik (gesamt)	2001	173	< 0,15 (0,03 - 0,56)	18	< 0,04 (< 0,02 - 0,16)
	2002	177	< 0,16 (< 0,03 - 0,84)	23	< 0,04 (< 0,01 - 0,13)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4-4-10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr
(Fresh vegetables, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)	Sr-90 (Bq/kg FM) N	Sr-90 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	2001	569	< 0,19 (< 0,02 - 12,2)	61	< 0,18 (< 0,02 - 0,83)
	2002	710	<0,21 (< 0,01 - < 3,80)	74	< 0,17 (< 0,02 - 1,09)
Fruchtgemüse	2001	196	< 0,15 (< 0,03 - 0,55)	7	0,08 (0,04 - 0,17)
	2002	224	< 0,14 (< 0,01 - 0,36)	11	0,09 (0,01 - 0,29)
Sprossgemüse	2001	239	< 0,13 (< 0,02 - < 0,39)	21	0,11 (0,01 - 0,56)
	2002	260	< 0,15 (< 0,02 - < 1,50)	14	0,08 (0,03 - 0,24)
Wurzelgemüse	2001	173	< 0,16 (< 0,04 - 0,93)	11	< 0,13 (< 0,02 - 0,40)
	2002	186	< 0,18 (0,03 - 2,02)	16	0,18 (0,03 - 0,47)
Hülsenfrüchte	2001	1	< 0,13	-	
	2002	2	< 0,36 (< 0,10 - 0,63)	-	
Kräuter	2001	14	< 0,71 (< 0,07 - 2,92)	-	
	2002	7	< 0,19 (< 0,15 - < 0,20)	3	0,67 (0,09 - 1,00)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	2001	9	< 0,40 (< 0,17 - 1,52)
	2002	8	< 1,83 (0,19 - 8,50)
<u>Waldröhrenpilze</u>			
Maronenröhrling	2001	52	263 (2,30 - 1500)
	2002	42	286 (16,5 - 1310)
Steinpilz	2001	61	56,3 (0,54 - 663)
	2002	48	55,1 (0,82 - 330)
sonstige Waldröhrenpilze	2001	44	< 91,9 (0,28 - 414)
	2002	35	105 (0,65 - 505)
<u>sonstige Waldpilze</u>			
Keulen- und Korallenpilze	2001	9	30,4 (1,90 - 203)
	2002	8	14,7 (1,00 - 37,0)
Pfifferling	2001	84	91,2 (0,86 - 645)
	2002	54	< 78,4 (< 0,74 - 357)
Riesenbovist	2001	1	< 0,24
	2002	1	< 0,24
Wildblätterpilze	2001	68	< 55,6 (< 0,17 - 610)
	2002	119	< 53,4 (< 0,13 - 1400)
Wildschlauchpilze	2001	-	
	2002	1	50,2
Wildstachelpilze	2001	2	133,8 (17,5 - 250)
	2002	8	< 90,6 (< 0,98 - 220)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)	Sr-90 (Bq/kg FM) N	Sr-90 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Erdbeeren und sonstige	2001	117	< 0,13 (< 0,04 - 0,35)	8	0,11 (0,02 - 0,33)
	2002	122	< 0,14 (< 0,04 - 0,77)	7	0,08 (0,01 - 0,23)
Exotische Früchte	2001	9	< 0,11 (< 0,02 - < 0,20)	-	
	2002	10	< 0,19 (< 0,09 - 0,54)	-	
Kernobst	2001	178	< 0,13 (< 0,02 - 0,34)	12	0,04 (0,01 - 0,21)
	2002	195	< 0,13 (< 0,01 - 0,47)	17	< 0,03 (0,01 - 0,12)
Rhabarber	2001	23	< 0,15 (< 0,07 - < 0,20)	3	0,15 (0,07 - 0,27)
	2002	22	< 0,17 (< 0,02 - 0,99)	2	0,14 (0,12 - 0,15)
Steinobst	2001	124	< 0,13 (< 0,03 - 0,47)	12	0,06 (0,03 - 0,15)
	2002	113	< 0,15 (< 0,02 - 2,47)	12	< 0,04 (< 0,01 - 0,11)
Strauchbeeren	2001	29	< 0,15 (< 0,04 - 0,44)	5	0,09 (0,05 - 0,18)
	2002	29	< 0,21 (< 0,07 - 0,83)	3	0,08 (0,07 - 0,10)
Wildbeeren	2001	15	16,76 (0,21 - 80,9)	-	
	2002	18	< 30,0 (< 0,27 - 192)	-	
Zitrusfrüchte	2001	11	< 0,10 (0,02 - < 0,22)	-	
	2002	11	< 0,09 (< 0,01 - 0,23)	2	0,01 (0,01 - 0,01)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-13 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
(Other foodstuffs, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	2001	13	< 0,58 (< 0,07 - 3,30)
	2002	10	< 7,22 (< 0,12 - 58,2)
Blütenhonig	2001	35	< 49,5 (< 0,09 - 382)
	2002	21	< 39,4 (< 0,06 - 303)
Honigtauhonig u. Mischung	2001	-	
	2002	3	12,0 (2,90 - 22,5)
Kaffee	2001	3	< 0,40 (< 0,35 - < 0,46)
	2002	3	< 0,21 (< 0,19 - 0,25)
Tee, schwarz	2001	-	
	2002	3	< 0,94 (< 0,50 - 1,72)
Teeähnliche Erzeugnisse	2001	3	< 5,74 (< 0,35 - 11,1)
	2002	2	< 1,40 (< 1,38 - 1,43)
Ölsamen	2001	9	< 0,19 (< 0,12 - 0,38)
	2002	7	< 0,14 (< 0,09 - 0,26)
Schalenobst	2001	10	< 0,71 (< 0,05 - 4,00)
	2002	6	< 0,73 (< 0,16 - 1,49)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

Tabelle 3.4.4-14 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland
(Arithmetic annual mean values of the specific activities of Sr-90 and Cs-137 in selected foodstuffs - domestic production)

Jahr	Strontium-90 (Bq/kg FM)			Cäsium-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweine-fleisch	Kalbfleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
1960	1,2	0,56	0,09	9,6	-	-	-	0,07	3,2
1961	0,85	0,15	0,07	-	-	-	2,2	5,6	2,2
1962	0,56	0,19	0,06	12	-	-	2,6	1,0	0,48
1963	5,6	0,22	0,67	18	13	31	18	4,1	7,0
1964	7,0	0,22	0,30	36	27	39	21	2,0	5,2
1965	3,3	0,33	0,26	18	19	23	9,2	0,85	2,3
1966	2,0	0,30	0,22	8,9	11	13	5,2	0,59	1,7
1967	1,5	0,26	0,11	6,7	5,2	7,4	3,0	0,37	1,7
1968	0,85	0,16	0,11	4,8	3,3	7,8	2,1	0,59	0,59
1969	0,92	0,19	0,06	4,1	3,1	4,8	1,8	0,59	0,59
1970	1,0	0,14	0,07	3,7	2,8	5,2	1,4	0,89	0,48
1971	1,1	0,13	0,07	2,9	2,7	3,6	3,5	0,81	0,52
1972	1,0	0,13	0,07	2,9	2,2	3,3	2,0	0,89	0,37
1973	0,63	0,20	0,07	2,2	1,0	2,8	0,41	2,0	0,35
1974	1,8	0,09	0,04	2,4	1,0	1,8	1,1	0,85	0,41
1975	0,56	0,09	0,05	1,8	1,7	1,7	1,6	0,85	0,25
1976	0,44	0,11	0,04	0,81	0,70	1,3	0,30	1,0	0,37
1977	0,70	0,06	0,05	0,74	0,70	0,89	0,81	0,15	0,18
1978	0,67	0,06	0,06	1,3	1,2	1,7	0,96	0,15	0,14
1979	0,41	0,08	0,04	0,85	0,96	0,92	0,37	0,15	0,21
1980	0,39	0,08	0,04	0,70	0,67	1,1	0,26	0,55	0,12
1981	0,47	0,19	0,06	0,87	0,72	1,2	0,61	0,14	0,15
1982	0,32	0,12	0,04	1,2	0,81	1,1	0,19	0,40	0,18
1983	0,31	0,15	0,07	0,39	0,63	0,85	0,10	0,10	0,09
1984	0,31	0,07	0,10	1,2	0,32	0,43	0,06	0,05	0,07
1985	0,28	0,15	0,04	0,49	0,31	0,30	0,14	0,09	0,09
1986	0,23	0,12	0,13	50	19	41	7,1	2,9	12
1987	0,24	0,19	0,06	20	11	36	2,0	1,3	4,9
1988	0,54	0,20	0,06	7,4	3,9	10	0,91	1,2	1,4
1989	0,29	0,10	0,08	3,6	1,0	3,3	0,30	0,36	0,45
1990	0,24	0,08	0,05	1,6	0,70	1,9	0,23	0,23	0,25
1991	0,19	0,09	0,06	1,9	0,78	1,8	0,19	0,24	0,23
1992	0,19	0,07	0,05	1,8	0,84	1,4	0,16	0,27	0,18
1993	0,25	0,18	0,04	1,1	0,42	0,87	0,22	0,21	0,19
1994	0,21	0,08	0,03	0,88	0,29	0,99	0,14	0,31	0,17
1995	0,20	0,08	0,03 *	1,2	0,28	1,3	0,11	0,16	0,14*
1996	0,19	0,07	0,03 *	1,1	0,33	1,3	0,11	0,17	0,13*
1997	0,16	0,068	0,031 *	1,2	0,29	1,0	0,13	0,15	0,13*
1998	< 0,18	< 0,06	< 0,03 *	< 1,05	< 0,25	< 1,08	< 0,13	< 0,16	< 0,14 *
1999	< 0,20	< 0,04	< 0,07 *	< 1,05	< 0,22	< 0,96	< 0,12	< 0,14	< 0,12 *
2000	< 0,16	< 0,05	< 0,03 *	< 0,85	< 0,24	< 1,18	< 0,14	< 0,16	< 0,14 *
2001	< 0,20	< 0,04	< 0,04 *	< 0,81	< 0,25	< 0,66	< 0,13	< 0,15	< 0,13 *
2002	< 0,19	< 0,04	< 0,03 *	< 0,77	< 0,23	< 1,51	< 0,16	< 0,16	< 0,13 *

* Inland und Einfuhr
- Messung / Angabe nicht erforderlich

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche Cäsium-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2002 mit 0,26 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 in Bq/(a · p) lässt sich somit wie folgt abschätzen:

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

Tabelle 3.4.4-15 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung
(Intake of Cs-137 and Sr-90 activity with the whole diet)

Monat		Cs-137 Bq/(d • p) (d=Tag und p=Person)			Sr-90 Bq/(d • p) (d=Tag und p=Person)		
	Jahr	N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Januar	2001	96	< 0,21	(< 0,03 - 1,45)	17	< 0,10	(< 0,04 - 0,19)
	2002	92	< 0,22	(0,04 - 3,08)	18	< 0,09	(< 0,003 - 0,22)
Februar	2001	81	< 0,21	(< 0,04 - 1,10)	20	< 0,12	(< 0,02 - 0,38)
	2002	81	< 0,37	(0,03 - 6,14)	17	< 0,11	(< 0,002 - 0,20)
März	2001	81	< 0,19	(0,04 - 0,82)	18	< 0,10	(0,02 - 0,31)
	2002	87	< 0,21	(0,034 - 0,92)	21	< 0,09	(<0,003 - 0,20)
April	2001	82	< 0,22	(< 0,05 - 0,70)	19	< 0,13	(0,03 - 0,42)
	2002	93	< 0,23	(< 0,04 - 1,54)	19	0,10	(0,005 - 0,22)
Mai	2001	88	< 0,24	(0,01 - 1,87)	15	0,12	(0,01 - 0,24)
	2002	91	< 0,21	(0,04 - 1,80)	17	0,10	(0,005 - 0,19)
Juni	2001	83	< 0,20	(0,05 - 1,12)	20	0,10	(0,01 - 0,20)
	2002	89	< 0,22	(< 0,03 - 0,70)	21	0,11	(0,006 - 0,35)
Juli	2001	85	< 0,19	(0,04 - 0,56)	17	0,10	(0,01 - 0,20)
	2002	94	< 0,22	(0,04 - 1,15)	17	0,10	(0,05 - 0,17)
August	2001	88	< 0,20	(< 0,05 - 0,55)	15	< 0,10	(0,01 - 0,20)
	2002	94	< 0,25	(< 0,04 - 2,60)	20	0,11	(0,01 - 0,21)
September	2001	79	< 0,20	(0,03 - 0,46)	18	< 0,12	(< 0,04 - 0,32)
	2002	95	< 0,26	(0,03 - 2,36)	18	< 0,10	(< 0,02 - 0,20)
Oktober	2001	85	< 0,27	(0,02 - 3,40)	18	< 0,10	(0,01 - 0,21)
	2002	92	< 0,35	(< 0,04 - 5,20)	16	0,11	(0,02 - 0,23)
November	2001	88	< 0,30	(0,03 - 6,43)	14	0,13	(0,04 - 0,30)
	2002	82	< 0,36	(< 0,04 - 9,24)	17	< 0,14	(0,02 - 0,43)
Dezember	2001	73	< 0,18	(0,02 - 0,42)	14	< 0,11	(0,02 - 0,36)
	2002	79	< 0,28	(< 0,05 - 4,11)	16	< 0,12	(< 0,04 - 0,33)
Jahr (gesamt)	2001	1009	< 0,22	(0,01 - 6,43)	205	< 0,11	(0,01 - 0,42)
	2002	1069	< 0,26	(0,03 - 9,24)	217	< 0,11	(< 0,002 - 0,43)

Tabelle 3.4.4-16 Säuglings- und Kleinkindernahrung
(Baby and infant food)

Monat	Jahr	Cs-137 (Bq/kg FM) N	Cs-137 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)	Sr-90 (Bq/kg FM) N	Sr-90 (Bq/kg FM) Mittelwert (Bereich)
Januar	2001	19	< 0,51 (0,03 - 5,80)	7	< 0,03 (0,02 - 0,05)
	2002	24	< 0,26 (< 0,02 - 3,65)	11	< 0,05 (0,009 - 0,14)
Februar	2001	18	< 0,40 (< 0,08 - 4,35)	3	0,04 (0,01 - 0,06)
	2002	22	< 0,11 (< 0,001 - < 0,28)	6	< 0,04 (< 0,001 - 0,10)
März	2001	20	< 0,21 (< 0,05 - 1,66)	6	0,05 (0,02 - 0,07)
	2002	18	< 0,12 (< 0,04 - < 0,33)	3	0,05 (0,03 - 0,06)
April	2001	22	< 0,16 (< 0,01 - 1,24)	6	< 0,03 (0,002 - 0,04)
	2002	23	< 0,18 (< 0,03 - 1,53)	4	< 0,02 (0,01 - 0,03)
Mai	2001	22	< 0,21 (< 0,03 - 1,72)	3	< 0,03 (< 0,02 - 0,04)
	2002	18	< 0,12 (< 0,02 - < 0,41)	1	0,05
Juni	2001	18	< 0,12 (< 0,01 - 0,20)	5	0,11 (0,02 - 0,35)
	2002	21	< 0,15 (< 0,01 - 0,95)	3	0,04 (0,02 - 0,08)
Juli	2001	20	< 0,15 (0,03 - 0,93)	9	0,03 (0,01 - 0,04)
	2002	23	< 0,12 (< 0,03 - < 0,28)	10	< 0,04 (0,01 - 0,09)
August	2001	23	< 0,76 (< 0,03 - 14,1)	-	
	2002	19	< 0,11 (< 0,02 - 0,20)	4	0,07 (0,002 - 0,19)
September	2001	20	< 0,13 (0,05 - 0,21)	3	0,08 (0,04 - 0,11)
	2002	25	< 0,11 (< 0,02 - < 0,20)	4	0,05 (0,003 - 0,08)
Oktober	2001	14	< 0,16 (0,04 - 0,91)	3	0,03 (< 0,02 - 0,04)
	2002	18	< 0,23 (< 0,07 - 1,17)	3	< 0,02 (< 0,02 - 0,03)
November	2001	23	< 0,12 (< 0,02 - < 0,27)	4	0,04 (< 0,04 - 0,07)
	2002	23	< 0,43 (0,03 - 7,24)	3	0,04 (0,03 - 0,06)
Dezember	2001	18	< 0,19 (0,03 - 0,75)	1	0,03
	2002	19	< 0,10 (0,04 - < 0,20)	2	0,05 (0,04 - 0,06)
Jahr (gesamt)	2001	237	< 0,26 (< 0,01 - 14,1)	50	< 0,04 (0,002 - 0,35)
	2002	253	< 0,17 (< 0,001 - 7,24)	54	< 0,04 (< 0,001 - 0,19)

- Messung / Angabe nicht erforderlich bzw. nicht vorhanden

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

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

Die Leitstelle für Tabakerzeugnisse, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe sowie Gebrauchsgegenstände überwacht routinemäßig in größerem Umfang vor allem Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoffe für Arzneimittel dienen. Der Schwerpunkt der Überwachung liegt hierbei auf dem gammaspektrometrisch messbaren Nuklid Cäsium-137, einem Bestandteil des Falloutprodukts der oberirdischen Kernwaffenversuche und des Reaktorunfalls von Tschernobyl. Tabakerzeugnisse werden stichprobenartig überprüft und Bedarfsgegenstände auf Anfrage auf mögliche Kontaminationen untersucht.

Die im Überwachungszeitraum 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. Jedoch wurden in Islandmoos aus Polen 0,8 Bq/kg Trockenmasse (TM) bezogen auf Cäsium-134 und in Ginkgoblättern aus China 0,21 Bq/kg TM bezogen auf Kobalt-60 als Mittelwerte verschiedener Proben einer Jahresernte gefunden. Lokale Unterschiede, z. B. der Bodenbeschaffenheit oder -kontamination in den Anbaugebieten, können zu Schwankungen der Messergebnisse führen. Die spezifischen Aktivitäten von Cs-134, einem kurzlebigen Falloutprodukt des Reaktorunfalls von Tschernobyl ($T_{1/2}$ = 2 Jahre), lagen in den Proben meistens unterhalb der Nachweisgrenze, d. h. kleiner als 0,5 Bq/kg TM.

In Tabelle 1 sind Jahresmittelwerte der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel dienen, für 2002 zusammengefasst. Die Aktivitäten des natürlich vorkommenden Nuklids Kalium-40 liegen mit maximal etwa 1270 Bq/kg TM bei Spitzwegerich aus Polen und minimal bei etwa 182 Bq/kg TM bei Zimtrinde aus Indonesien sowie 90 Bq/kg TM bei polnischem Islandmoos im Rahmen der natürlichen Schwankungsbreite. Die Aktivitäten des Cäsium-137 variieren zwischen maximal 360 Bq/kg TM bei Islandmoos aus Polen und Werten nahe der Nachweisgrenze z. B. bei Fenchel aus Ungarn, Brennnesselblätter aus Bulgarien, Kamillenblüten aus Kroatien und Pfefferminzblättern aus Bulgarien.

Bei der Produktion des Arzneimittels aus der Pflanze wird der Gehalt an Cäsium-137 durch die notwendigen Arbeitschritte in der Regel reduziert. Die zusätzliche Strahlenexposition, resultierend aus der Anwendung von Arzneimitteln, deren pflanzliche Ausgangsstoffe u. U. kontaminiert waren, ist im Vergleich zu der natürlichen Strahlenexposition (in Deutschland durchschnittlich zwischen 2 und 3 mSv/Jahr) als sehr gering einzuschätzen.

Tabelle 3.4.5-1 Jahresmittelwerte für 2002 der Cäsium-137- und Kalium-40-Konzentrationen in verschiedenen Arzneimittelpflanzen bzw. Pflanzen, die als Ausgangsstoff für Arzneimittel dienen, mit Angabe des jeweiligen Herkunftslandes
(Annual mean value of the cesium-137 and potassium-40 concentrations in different medicinal plants and plants used as basic product for pharmaceuticals, and indication of their country of origin, in the year 2002)

Artikel	Ursprungsland	K-40 (Bq/kg TM)	Cs-137 (Bq/kg TM)
Ginkgoblätter	China	309 ± 6	0,3 ± 0,1
Knoblauchpulver	China	295 ± 4	NWG : 0,1
Kürbiskerne	Österreich	311 ± 4	0,1 ± 0,04
Lindenblüten	Bulgarien	553 ± 10	2 ± 0,2
Pfefferminzblätter	Bulgarien	745 ± 12	NWG : 0,3
Salbei	Türkei	481 ± 10	1 ± 0,2
Kamillenblüten	Kroatien	1162 ± 25	NWG : 0,7
Fenchel	Ungarn	532 ± 8	NWG : 0,2
Hagebuttenschalen	Chile	561 ± 7	0,3 ± 0,1
Islandmoos	Polen	86 ± 6	360 ± 5
Johanniskraut	Polen	433 ± 6	0,3 ± 0,1
Ringelblumenblüten	Ägypten	1081 ± 15	0,5 ± 0,2
Brennnesselblätter	Bulgarien	1192 ± 18	NWG : 0,5
Mateblätter grün	Brasilien	674 ± 8	0,3 ± 0,1
Gänsefingerkraut	Polen	536 ± 16	0,6 ± 0,01
Spitzwegerichkraut	Polen	1268 ± 16	0,8 ± 0,2
Thymian	Marokko	326 ± 5	0,8 ± 0,1
Thymian	Spanien	598 ± 7	2,3 ± 0,1
Lavendelblüten	Albanien	640 ± 10	0,6 ± 0,1
Zimtrinde	Indonesien	182 ± 3	0,6 ± 0,1
Wacholderbeeren	Bulgarien	295 ± 5	0,8 ± 0,1
Salbeiblätter	Türkei	670 ± 12	0,4 ± 0,2
Lorbeerblätter, ganz	Deutschland	258 ± 7	0,7 ± 0,2
Majoran, gerebelt	Ägypten	793 ± 17	0,7 ± 0,3
Pfeffer, schwarz, ganz	Brasilien	237 ± 31	0,3 ± 0,05

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

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

Diesem Bericht für das Jahr 2002 liegen die Messergebnisse aus 92 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, Cäsiums-134 und Cäsiums-137, Iod-131, Strontium-90 und den Uranisotopen. Sämtliche Zahlenwerte sind auf zwei signifikante Stellen gerundet.

K-40 sowie 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 2002 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 950 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1200 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 150 bzw. 100 Bq/kg TM (Vorjahr 170 bzw. 160 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: 46 Bq/kg TM; Maximalwert: 3800 Bq/kg TM, Vorjahr 42 bzw. 2300 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige Technetium-99m (Maximalwert: 2900 Bq/kg TM). Co-60 und 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 2002 zwischen 0,0015 und 0,029 Bq/l, bei einem Median von <0,032 Bq/l (2001: zwischen 0,0021 und 0,034 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl immer noch deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 3.5-1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher kontaminierten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2002 - wie in den früheren Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg), wobei mit 110 Bq/kg TM bzw. von 0,50 Bq/kg TM wieder niedrigere Werte für Cs-137 und Cs-134 auftraten als im Vorjahr. 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, 140 und 110 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 Thüringen. Die gleiche Entwicklung ist auch in höher kontaminierten Gebieten zu erkennen. Im Zeitraum von 1988 bis 2001 wurden im südlichen Bayern anfangs noch stark abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt, die sich allmählich einem konstanten Niveau annähern: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43, 38 und 37 Bq/kg TM; für das Jahr 2002 ergab sich erstmals ein leicht höherer Wert von 44 Bq/kg TM. Geringfügig höhere Cs-137-Gehalte zeigten sich 2002 auch im nördlichen Teil Bayerns, in Hamburg, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Brandenburg. Bei dem inzwischen erreichten sehr niedrigen Niveau der spezifischer Aktivität der Klärschlämme sind diese Erhöhungen ausschließlich durch die natürliche Streuung der Messwerte bedingt.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 0,5 : 1 betrug, hat sich auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertzeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2002, d. h. im Laufe von 16 Jahren auf etwa 0,0033 : 1 verschoben (Vorjahr 0,0045 : 1). In wenig belasteten Gebieten findet man häufig ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche der 60er Jahre relativ stärker bemerkbar macht, sofern Cs-134 überhaupt noch nachzuweisen ist.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 110 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von unter 20 Bq Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von zur Zeit ca. 20.000 Bq/m^2 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) um ein Vielfaches kompensiert wird.

Tabelle 3.5-1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2002
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sludge in the year 2002-
minimum, maximum, and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	19	1,4	1,4		<1,3
	Co-60	20	20				<0,047
	I-131	19	0	0,68	1,3	0,38	0,23
	Cs-137	20	20				<0,051
	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	8				<3,0
	Co-60	8	8				<0,093
	I-131	8	1	0,18	0,42	0,28	0,26
	Cs-137	8	8				<0,095
	Sr-90	4	4				<0,0014
	U-234	4	0	0,00066	0,0026	0,0013	0,001
	U-235	4	0	0,00007	0,00032	0,00021	0,00023
	U-238	4	0	0,00045	0,0023	0,0011	0,00082

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Niedersachsen	K-40	61	9	0,3	2,1	0,73	0,66
	Co-60	61	61				<0,025
	I-131	61	12	0,027	1,1	0,17	0,092
	Cs-137	61	59	0,014	0,026		<0,022
	Sr-90	6	6				<0,015
	U-234	3	2	0,016	0,016		<0,00044
	U-235	3	3				<0,00053
	U-238	3	2	0,0087	0,0087		<0,00044
Bremen	K-40	8	7	0,38	0,38		0,52
	Co-60	8	8				<0,025
	I-131	8	1	0,054	0,17	0,12	0,11
	Cs-137	8	7	0,022	0,022		0,023
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	4				<0,0059
	U-235	4	4				<0,0024
	U-238	4	4				<0,0021
Nordrhein-Westfalen	K-40	38	26	0,39	4,1		<1,0
	Co-60	38	38				<0,043
	I-131	26	3	0,03	0,36	0,14	0,15
	Cs-137	38	38				<0,043
	Sr-90	3	1	0,073	0,3	0,19	0,073
	U-234	4	0	0,0064	0,015	0,01	0,0094
	U-235	4	3	0,00055	0,00055		<0,0015
	U-238	4	0	0,0057	0,011	0,0072	0,0064
Hessen	K-40	15	13	0,64	0,7		<1,2
	Co-60	15	15				<0,045
	I-131	12	12				<0,25
	Cs-137	15	15				<0,051
	Sr-90	2	2				<0,1
	U-234	2	0	0,014	0,029	0,021	0,021
	U-235	2	2				<0,005
	U-238	2	0	0,0087	0,016	0,013	0,013
Rheinland-Pfalz	K-40	19	9	0,8	3,5	1,5	<0,94
	Co-60	19	19				<0,03
	I-131	19	2	0,051	0,56	0,19	0,12
	Cs-137	19	19				<0,031
	Sr-90	3	0	0,0017	0,0034	0,0024	0,0021
	U-234	3	0	0,014	0,018	0,016	0,015
	U-235	3	2	0,0015	0,0015		<0,001
	U-238	3	0	0,013	0,021	0,016	0,015
Baden-Württemberg	K-40	26	14	0,37	0,84		<0,81
	Co-60	26	26				<0,047
	I-131	26	16	0,056	1,0		<0,091
	Cs-137	26	26				<0,041
	Sr-90	4	3	0,0044	0,0044		<0,0075
	U-234	4	0	0,0022	0,006	0,004	0,0039
	U-235	4	4				<0,00062
	U-238	4	0	0,0021	0,0035	0,0028	0,0028
Bayern	K-40	36	35	1,2	1,2		<1,3
	Co-60	36	36				<0,086
	I-131	3	1	0,52	0,94	0,73	0,52
	Cs-137	36	36				<0,096
	Sr-90	4	0	0,0019	0,0052	0,0032	0,0029
	U-234	4	1	0,0042	0,016	0,012	0,0092
	U-235	4	3	0,0011	0,0011		0,0011
	U-238	4	1	0,0042	0,015	0,012	0,0098

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Saarland	K-40	8	8				<0,91
	Co-60	8	8				<0,027
	I-131	8	5	0,041	0,07		<0,034
	Cs-137	8	7	0,029	0,029		<0,032
	Sr-90	2	1	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
	U-234	2	0	0,0056	0,006	0,0058	0,0058
	U-235	2	1	0,00039	0,00039	0,00039	0,00039
	U-238	2	0	0,0044	0,0052	0,0048	0,0048
Berlin	K-40	16	0	0,7	1,2	0,87	0,87
	Co-60	16	16				<0,0012
	Cs-137	16	5	0,0015	0,0031	0,0019	<0,0018
	Sr-90	8	0	0,0035	0,011	0,0061	0,0042
	U-234	8	0	0,0029	0,0068	0,0047	0,0046
	U-235	8	2	0,0001	0,00062	0,00031	<0,0003
	U-238	8	0	0,0023	0,006	0,0042	0,0039
Brandenburg	K-40	19	0	0,6	1,0	0,84	0,88
	Co-60	19	19				<0,0095
	I-131	19	3	0,03	1,0	0,39	0,34
	Cs-137	19	17	0,01	0,02		<0,0095
	Sr-90	8	0	0,002	0,006	0,0041	0,004
	U-234	8	2	0,0002	0,003	0,0011	0,00065
	U-235	8	8				<0,0002
	U-238	8	2	0,0003	0,002	0,00083	<0,00055
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	18	0	0,45	1,4	0,73	0,73
	Co-60	19	19				<0,011
	I-131	16	0	0,039	0,76	0,19	0,14
	Cs-137	19	19				<0,0089
	Sr-90	4	3	0,002	0,002		0,002
	U-234	4	3	0,0094	0,0094		<0,005
	U-235	4	3	0,00055	0,00055		<0,002
	U-238	4	2	0,0022	0,014	0,0082	<0,0045
Sachsen	K-40	20	3	0,39	1,5	0,76	<0,76
	Co-60	20	20				<0,014
	I-131	16	1	0,022	0,33	0,15	0,13
	Cs-137	20	20				<0,013
	Sr-90	4	1	0,005	0,009	0,0067	<0,008
	U-234	4	1	0,013	0,064	0,034	0,019
	U-235	4	3	0,0078	0,0078		<0,0023
	U-238	4	1	0,0093	0,055	0,029	0,016
Sachsen-Anhalt	K-40	20	1	0,35	1,6	0,76	0,72
	Co-60	20	20				<0,0087
	I-131	17	1	0,019	0,51	0,13	0,07
	Cs-137	20	20				<0,0087
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	0	0,024	0,11	0,074	0,08
	U-235	4	0	0,0016	0,0041	0,0032	0,0035
	U-238	4	0	0,023	0,081	0,056	0,06
Thüringen	K-40	20	20				<2,2
	Co-60	20	20				<0,085
	I-131	3	0	0,18	0,25	0,21	0,2
	Cs-137	20	20				<0,091
	Sr-90	3	3				<0,0024
	U-234	4	0	0,016	0,046	0,025	0,018
	U-235	4	3	0,0015	0,0015		0,00091
	U-238	4	0	0,0082	0,025	0,014	0,011

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Bundesrepublik Deutsch-	K-40	352	172	0,3	4,1	0,82	0,9
land	Co-60	353	353				<0,034
	I-131	261	58	0,019	1,3	0,21	0,13
	Cs-137	353	336	0,0015	0,029		<0,032
	Sr-90	67	36	0,0017	0,3		0,0052
	U-234	66	17	0,0002	0,11	0,016	0,0061
	U-235	66	45	0,000071	0,0078		<0,00072
	U-238	66	16	0,0003	0,081	0,012	0,0047
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	43	110	67	60
	Co-60	20	20				<0,26
	I-131	20	1	1,6	47	21	21
	Cs-137	20	0	0,29	5,5	2,9	2,7
	Sr-90	4	0	3,7	5,0	4,4	4,4
	U-234	4	0	6,1	17	11	11
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	1	7,2	13	11	9,4
Hamburg	K-40	6	0	110	440	210	160
	Co-60	6	6				<4,3
	I-131	6	0	22	49	40	43
	Cs-134	6	6				<0,41
	Cs-137	6	0	2,5	7,7	4,0	3,0
	Sr-90	3	0	1,8	3,1	2,6	2,9
	U-234	3	0	13	18	15	15
	U-235	3	0	0,67	1,4	0,97	0,84
	U-238	3	0	11	16	13	12
Niedersachsen	K-40	39	1	43	640	200	130
	Co-60	39	39				<0,52
	I-131	39	0	1,2	3800	340	46
	Cs-134	39	39				<0,47
	Cs-137	39	1	0,92	25	7,4	4,7
	Sr-90	4	0	2,3	4,4	3,2	<3,1
	U-234	4	0	7,4	39	22	21
	U-235	4	2	0,69	1,4	1,0	0,69
	U-238	4	0	7,4	32	19	18
Bremen	K-40	8	0	6,3	450	280	340
	Co-60	8	8				<1,2
	I-131	8	0	1,1	110	38	19
	Cs-134	8	8				<1,5
	Cs-137	8	1	0,088	11	3,8	3,2
	Sr-90	4	1	0,22	1,6	0,74	0,33
	U-234	4	0	12	22	16	16
	U-235	5	5				<0,16
	U-238	5	0	12	18	14	16
Nordrhein-Westfalen	K-40	37	0	85	610	230	170
	Co-60	38	38				<0,32
	I-131	35	0	6,8	500	100	71
	Cs-134	20	20				<0,64
	Cs-137	38	0	2,2	14	7,5	7,0
	Sr-90	3	0	1,5	5,6	4,1	5,2
	U-234	4	0	34	40	38	39
	U-235	4	0	1,4	2,0	1,7	1,7
	U-238	4	0	25	35	31	32

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Hessen	K-40	15	0	120	300	170	150
	Co-60	15	15				<1,2
	I-131	10	2	34	140	70	44
	Cs-134	15	15				<0,94
	Cs-137	15	1	2,0	20	8,0	6,0
	Sr-90	3	3				<5,0
	U-234	3	0	36	150	93	97
	U-235	3	0	1,3	4,9	3,4	3,9
	U-238	3	0	28	94	61	62
Rheinland-Pfalz	K-40	19	0	94	280	180	160
	Co-60	19	19				<0,5
	I-131	19	3	0,86	210	53	13
	Cs-134	19	19				<0,49
	Cs-137	19	0	1,2	53	10	7,3
	Sr-90	4	0	1,9	3,4	2,7	2,7
	U-234	4	0	55	85	66	62
	U-235	4	0	1,3	1,8	1,6	1,7
	U-238	4	0	34	43	40	42
Baden-Württemberg	K-40	28	0	53	950	200	180
	Co-60	28	28				<1,1
	I-131	28	3	2,3	500	110	60
	Cs-134	3	1	0,22	0,79	0,5	0,79
	Cs-137	28	0	3,3	200	38	14
	Sr-90	4	0	1,2	1,5	1,3	1,3
	U-234	4	0	23	40	31	31
	U-235	4	1	0,71	1,7	1,1	<1,1
	U-238	8	0	15	68	32	33
Baden-Württemberg (West[b])	Co-60	18	18				<1,2
	Cs-137	18	0	3,3	88	17	9,8
	Sr-90	2	0	1,2	1,3	1,3	1,3
Baden-Württemberg (Ost[c])	Co-60	10	10				<1,1
	Cs-134	3	1	0,22	0,79	0,50	0,79
	Cs-137	10	0	11	200	76	62
	Sr-90	2	0	1,2	1,5	1,4	1,4
Bayern	K-40	34	0	78	590	300	330
	Co-60	34	34				<1,3
	I-131	29	0	2,7	180	52	44
	Cs-134	34	34				<1,4
	Cs-137	34	0	3,0	140	26	13
	Sr-90	4	0	4,0	5,4	4,7	4,6
	U-234	4	0	20	86	54	56
	U-235	7	0	1,0	9,2	4,5	3,7
	U-238	4	0	22	74	49	50
Bayern (Nord[b])	Co-60	19	19				<1,3
	Cs-134	19	19				<1,4
	Cs-137	19	0	4,9	21	11	10
	Sr-90	2	0	4,8	5,4	5,1	5,1
Bayern (Süd[c])	Co-60	15	15				<1,2
	Cs-134	15	15				<1,4
	Cs-137	15	0	3,0	140	44	37
	Sr-90	2	0	4,0	4,4	4,2	4,2

(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Klärschlamm (Bq/kg TM)							
Saarland	K-40	8	0	190	290	240	240
	Co-60	8	8				<0,48
	I-131	8	0	16	190	70	59
	Cs-134	8	8				<0,46
	Cs-137	8	0	3,3	13	7,7	7,6
	Sr-90	4	0	1,7	2,8	2,5	2,7
	U-234	2	0	89	130	110	110
	U-235	2	0	3,2	4,6	3,9	3,9
	U-238	2	0	71	99	85	85
Berlin	K-40	16	0	45	95	75	82
	Co-60	16	16				<0,37
	I-131	16	0	25	220	90	84
	Cs-134	16	16				<0,35
	Cs-137	16	0	1,2	5,2	2,7	2,6
	Sr-90	4	0	1,9	3,0	2,5	2,6
	U-234	4	0	9,2	18	13	13
	U-235	4	1	0,38	0,84	0,67	0,79
	U-238	4	0	7,8	16	12	11
Brandenburg	K-40	19	0	53	160	120	130
	Co-60	19	19				<0,17
	I-131	19	0	8,2	230	70	27
	Cs-134	19	19				<0,19
	Cs-137	19	0	1,4	23	5,1	3,0
	Sr-90	8	0	2,0	5,0	4,1	4,0
	U-234	8	0	19	32	24	24
	U-235	8	0	0,5	2,0	1,0	1,0
	U-238	8	0	10	29	21	22
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	19	0	72	160	120	130
	Co-60	19	19				<0,34
	I-131	19	0	1,3	1300	190	120
	Cs-134	19	19				<0,3
	Cs-137	19	0	0,87	15	4,3	3,0
	Sr-90	4	1	3,2	3,9	3,5	3,6
	U-234	4	0	17	31	25	26
	U-235	4	0	0,38	1,6	0,92	0,86
	U-238	4	0	18	27	23	24
Sachsen	K-40	19	0	29	190	130	130
	Co-60	19	19				<0,65
	I-131	19	0	12	460	140	72
	Cs-137	19	0	1,6	13	4,7	3,4
	Sr-90	4	0	1,2	2,6	1,9	2,0
	U-234	4	0	22	52	39	41
	U-235	4	2	1,3	6,0	3,7	<2,1
	U-238	4	0	16	43	33	38
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	100	390	170	140
	Co-60	20	20				<0,2
	I-131	20	0	1,5	270	66	55
	Cs-134	20	18	0,14	0,24		<0,21
	Cs-137	20	0	1,8	15	6,4	4,6
	Sr-90	4	0	1,3	2,8	2,1	2,1
	U-234	4	0	44	130	81	76
	U-235	4	0	2,0	5,4	3,4	3,2
	U-238	4	0	39	94	63	61

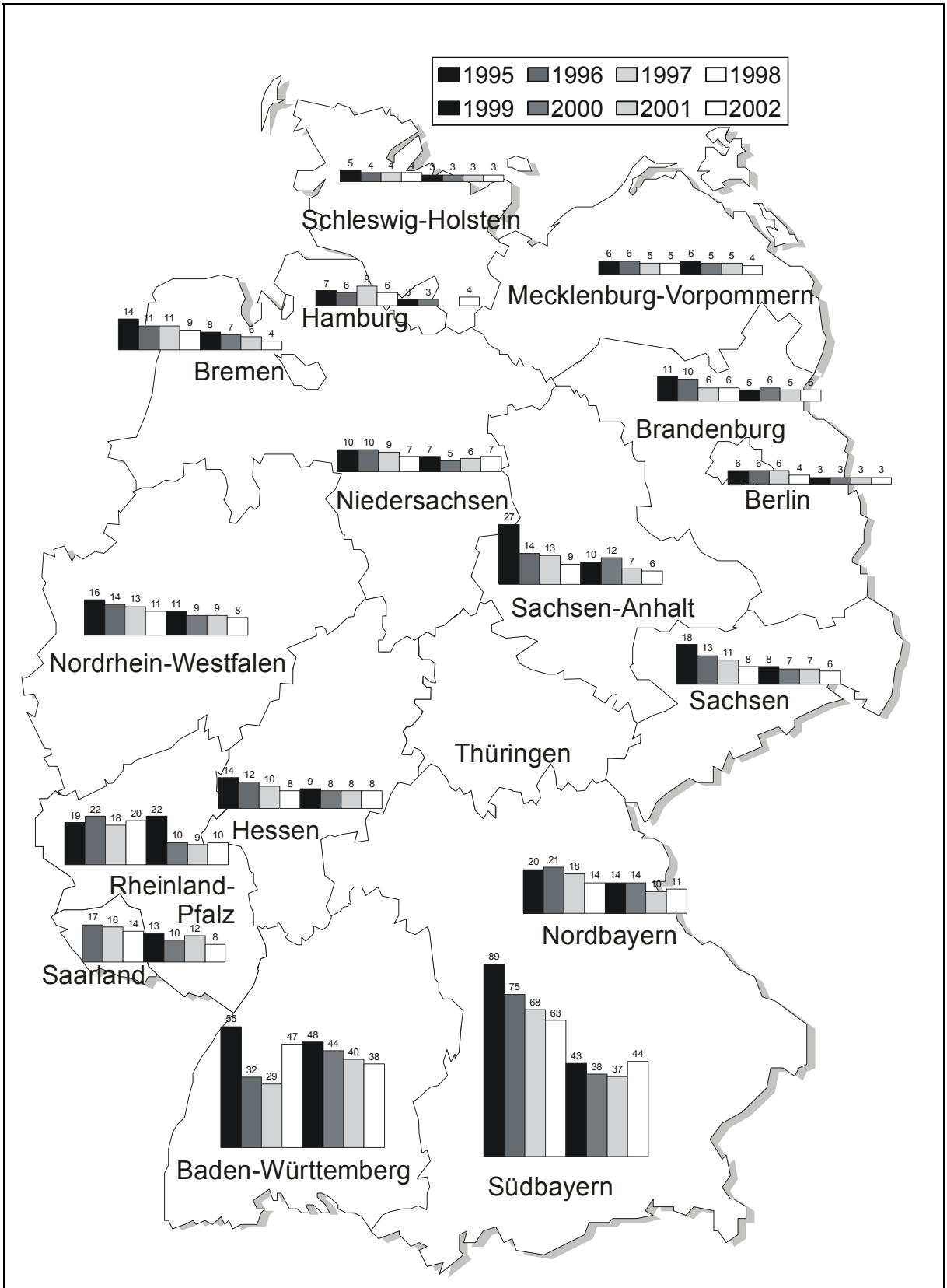
(Fortsetzung Tabelle)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal-	Maximal-	Mittel-	Mediane a)
		Gesamt	<NWG	werte a)	wert a)	werte a)	
Thüringen	K-40	19	0	100	370	210	210
	Co-60	19	19				<0,4
	I-131	13	0	3,3	72	33	30
	Cs-134	15	15				<0,35
	Cs-137	19	0	2,2	12	5,6	5,0
	Sr-90	3	0	1,2	1,6	1,4	1,4
	U-234	4	0	110	140	120	120
	U-235	18	0	1,3	4,6	3,2	3,3
	U-238	23	0	24	100	70	76
Bundesrepublik Deutschland	K-40	326	1	6,3	950	180	150
	Co-60	327	327				<0,46
	I-131	308	9	0,86	3800	120	46
	Cs-134	241	237	0,14	0,79		<0,45
	Cs-137	327	3	0,088	200	11	5,0
	Sr-90	64	5	0,22	5,6	2,9	2,8
	U-234	64	0	6,1	150	44	30
	U-235	82	15	0,38	9,2	2,4	1,8
	U-238	88	2	7,2	100	42	32
Bundesrepublik Deutschland (Nord[b])	Co-60	302	302				<0,44
	Cs-134	223	221	0,14	0,24		<0,43
	Cs-137	302	3	0,088	88	7,0	4,7
	Sr-90	60	5	0,22	5,6	2,9	2,8
Bundesrepublik Deutschland (Süd[c])	Co-60	25	25				<1,1
	Cs-134	18	16	0,22	0,79		<1,3
	Cs-137	25	0	3,0	200	57	42
	Sr-90	4	0	1,2	4,4	2,8	2,8

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



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

3.6 Reststoffe und Abfälle *(Residues and wastes)*

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

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2002 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 der 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 2002 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0033 : 1 (2001: 0,0045 : 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 3,1 Bq/l (2001: 2,9 Bq/l), der Median aller Werte beträgt <0,056 Bq/l (2001: <0,071 Bq/l). Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,07Bq/l bis 81 Bq/l, der Median bei 10 Bq/l (2001: 0,1 bis 92 Bq/l, Median: 12 Bq/l). Tritium wurde in 71% der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,0 und 860 Bq/l (2001: 2,0 bis 320 Bq/l) gefunden.

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

Südöstlich der Linie Konstanz – Eichstätt – Regensburg – Zwiesel sind die Werte für Cs-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.

Tabelle 3.6-1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2002
(Monitoring of residues and wastes in the year 2002)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal-werte[b)]	Maximal-werte[b)]	Mittel-werte[b)]	Mediane
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	104	62	0,012	3,1	a)	<0,049
Südlich *)	Cs-137	5	0	0,15	0,76	0,34	0,23
Alle Länder	K-40	109	12	0,07	81	15	10
	H-3	106	26	3,0	860	51	16
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	45	0	1,0	120	31	22
Südlich *)	Cs-137	2	0	110	290	200	200
Alle Länder	K-40	47	0	380	4500	1200	1200
	Co-60	47	47	a)	a)	a)	<0,38
	I-131	31	16	0,76	330	a)	1,7
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	49	0	0,19	34	4,8	2,0
Südlich *)	Cs-137	2	0	6,0	9,8	7,9	7,9
Alle Länder	K-40	51	0	100	3000	400	290
	I-131	30	21	0,082	8,4	a)	0,83
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	78	24	0,09	43	10	1,2
Südlich *)	Cs-137	4	0	2,1	3,5	2,8	2,8
Alle Länder	K-40	82	6	1,2	2100	340	28
	I-131	62	4	0,36	1700	160	9,1
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	27	22	0,077	1,8	a)	<0,086
Südlich *)	Cs-137	2	1	a)	a)	0,63	0,63
Alle Länder	K-40	28	10	0,56	79	15	5,1
	I-131	21	2	0,22	960	130	6,7
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	48	0	0,82	31	9,8	8,7
Südlich *)	Cs-137	3	0	11	54	37	45
Alle Länder	K-40	51	0	160	980	490	500

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

a) Daten lagen nicht vor

b) 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 Strahlenschutz und Gesundheit, 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 Fachbereichs Strahlenschutz und Gesundheit, Neuherberg, die Referenzgruppe München sowie der Messstelle in Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen nicht mehr regelmäßig ihre Referenzgruppen. Ein Trend für den Gehalt an Radiocäsium im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

In den Abbildungen 3.7-5 und 3.7-6 sind die bisher vorliegenden Ergebnisse von Referenzgruppenmessungen an verschiedenen Orten in Deutschland, getrennt für Frauen und Männer, zusammengefasst dargestellt. Es ist die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichte kumulierte Dosis aus inkorporiertem Radiocäsium angegeben. Dieser Dosiswert ergibt sich aus der fortlaufenden Summierung der monatlichen effektiven Dosen. Für Männer aus dem Raum München z. B. beträgt diese kumulierte Dosis für die 16 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,2 mSv.

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

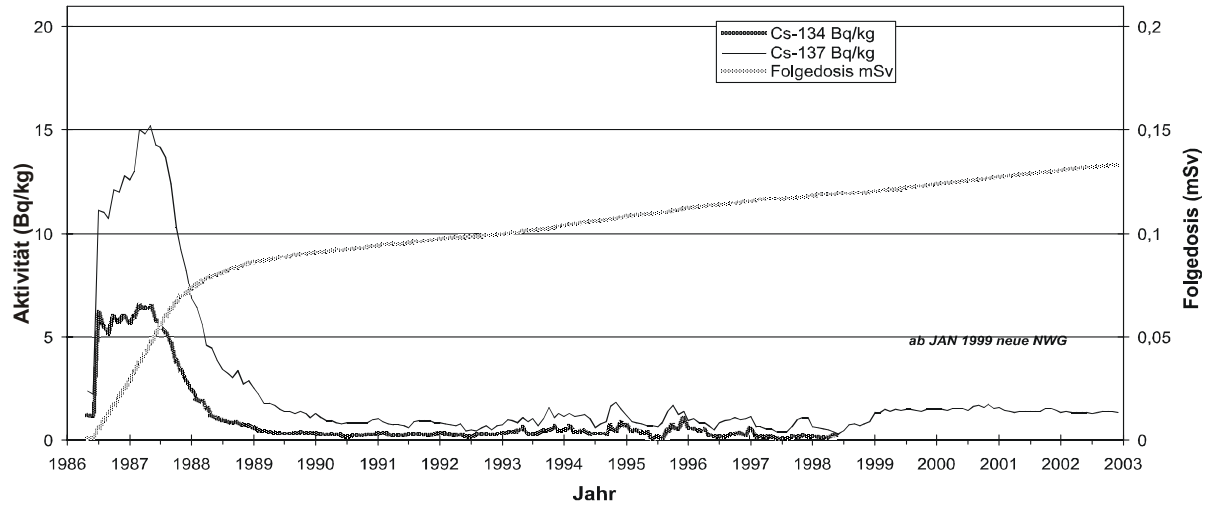
Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Anzahl d. Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Anzahl d. Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1991 a)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 b)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	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
2002	367	57	<1,3	245	62	<1,1
Januar	32	57	< 1,4	22	61	< 1,1
Februar	31	57	< 1,4	20	63	< 1,1
März	32	57	< 1,4	19	61	< 1,1
April	32	56	< 1,3	18	63	< 1,1
Mai	26	57	< 1,3	17	61	< 1,1
Juni	31	55	< 1,3	18	62	< 1,0
Juli	32	57	< 1,3	22	62	< 1,0
August	26	57	< 1,3	18	61	< 1,0
September	27	56	< 1,4	21	63	< 1,1
Oktober	31	55	< 1,4	24	60	< 1,0
November	33	56	< 1,4	24	61	< 1,0
Dezember	34	55	< 1,3	22	63	< 1,1

a) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen
b) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

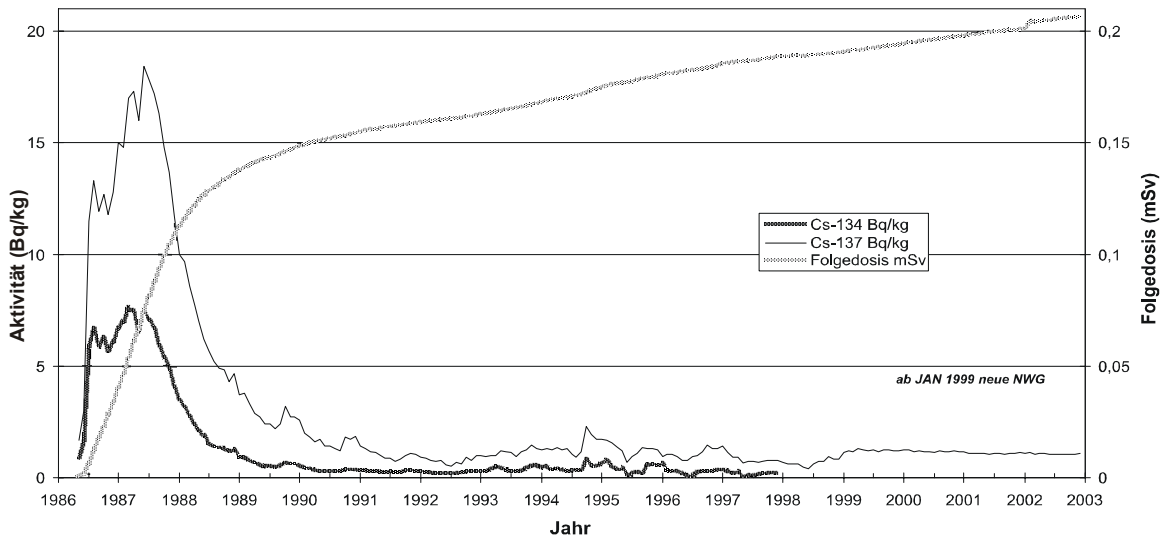
Tabelle 3.7-2 Jahres- und Monatsmittelwerte im Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)
Messstelle: Forschungszentrum Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Anzahl d. Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Anzahl d. Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
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
2002	86	50	0,22	86	60	0,31
Januar	7	51	0,29	8	61	0,31
Februar	10	52	0,20	7	57	0,41
März	6	47	0,24	8	56	0,30
April	9	50	0,23	6	62	0,38
Mai	7	42	0,22	7	62	0,35
Juni	10	49	0,15	7	60	0,21
Juli	8	51	0,22	10	61	0,27
August	10	49	0,22	7	57	0,31
September	5	50	0,34	7	58	0,27
Oktober	4	50	0,17	6	58	0,20
November	5	55	0,18	7	61	0,39
Dezember	5	51	0,17	6	62	0,27

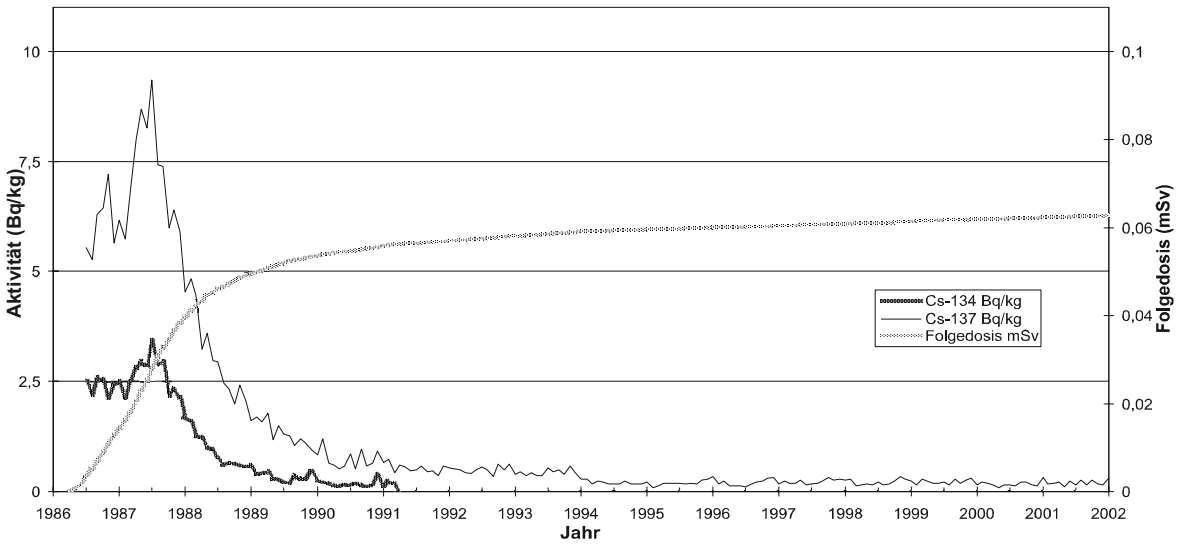
a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung
b) Mai 1996 keine Messungen



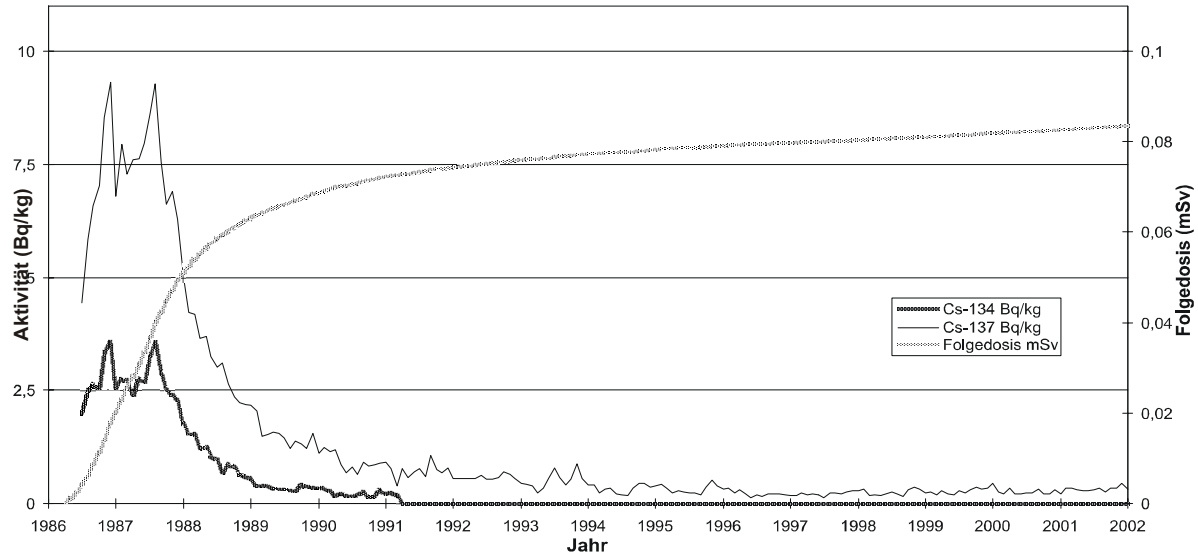
BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Frauen, München *(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure -Reference group: Women, Munich)*	3.7-1



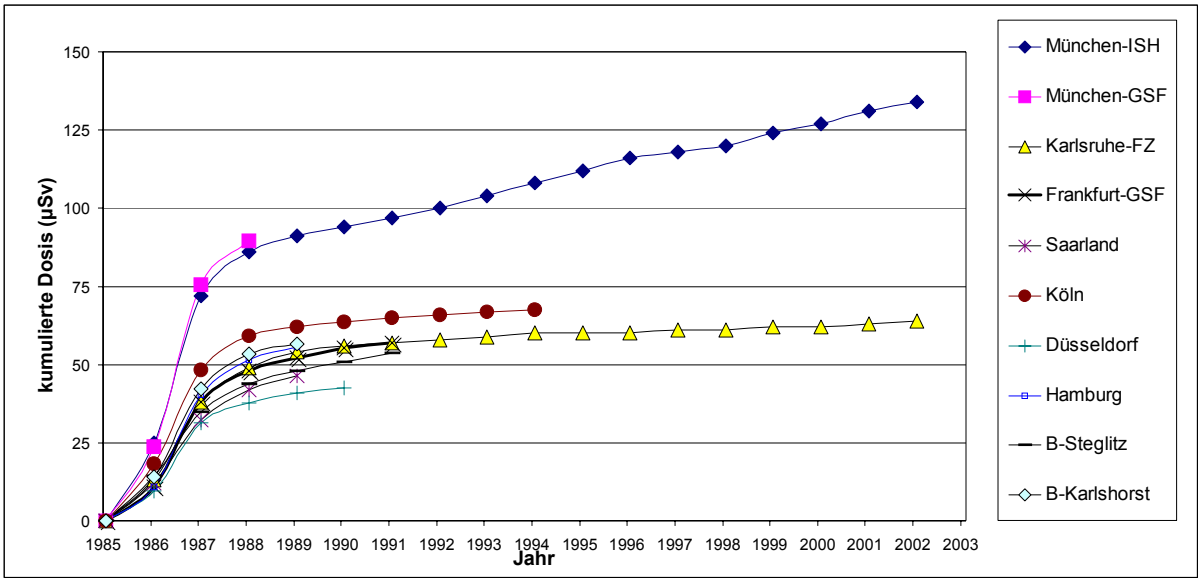
BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Männer, München *(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure -Reference group: Men, Munich)*	**3.7-2**



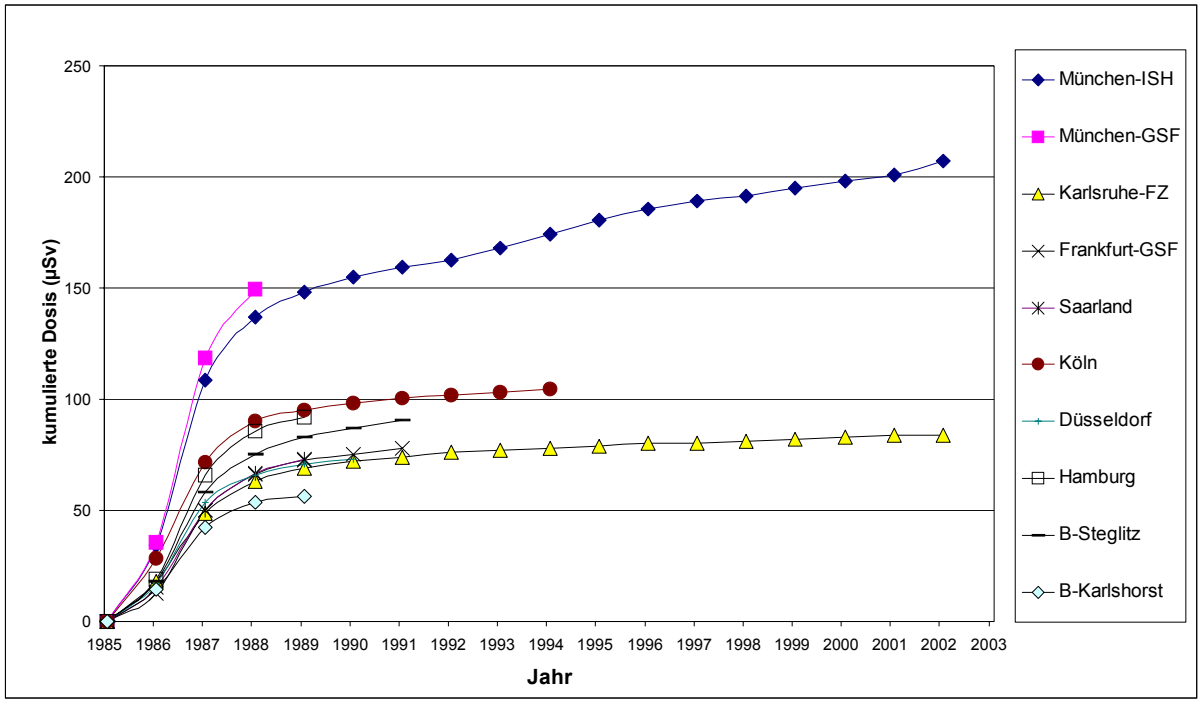
BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Frauen, Karlsruhe *(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure - Reference group: Women, Karlsruhe)*	**3.7-3**



BfS	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Männer, Karlsruhe *(Incorporated radiocesium and resulting radiation exposure - Reference group: Men, Karlsruhe)*	**3.7-4**



BfS	Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium Vergleich der Referenzgruppen: Frauen *(Radiation exposure from incorporated radiocesium - Comparison of reference groups: Women)*	**3.7-5**



BfS	Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium Vergleich der Referenzgruppen: Männer (Radiation exposure from incorporated radiocesium - Comparison of reference groups: Men)	**3.7-6**

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

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

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. Der Beitrag zur inneren Strahlenbelastung ist mit < 0,001 mSv/a gering. Unter Berücksichtigung eines Abschirmfaktors von 0,15 in Gebäuden kann die auf den Reaktorunfall zurückzuführende mittlere effektive Dosis durch Bodenstrahlung für das Jahr 2002 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).

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
2000-2002	< 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 ^{137}Cs verursacht

Im Jahr 2002 sind Grundnahrungsmittel durch Cs-137 aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die mittlere tägliche Cs-137 Zufuhr mit der Gesamtnahrung im Jahr 2002 wurde zu 0,26 Bq pro Tag und Person bestimmt (siehe Teil I, 3.4.4). Dies entspricht einer effektiven Dosis durch Ingestion von ca. 1,3 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 Waldbeeren, Fischen aus Binnenseen oder Blütenhonig wurden auch 2002 in einigen Proben Cs-137-Aktivitäten von bis zu einigen hundert Bq/kg gefunden, in Waldpilzen und Wild bis zu einigen tausend Bq/kg und darüber, jeweils bezogen auf die Frischmasse (siehe auch Teil I Tab. 3.4.4-8, 3.4.4-11 - 13). Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten häufig den Grenzwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens 57 Wildschweinproben aus dem Bayerischen Wald analysiert. Das Untersuchungsgebiet zählt zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands. Die Messungen ergaben spezifische Aktivitäten in Muskelfleisch zwischen 430 Bq/kg und 20.000 Bq/kg für Cäsium-137. Der Mittelwert lag bei 6.400 Bq/kg. Cäsium-137 wird von Schwarzwild

über das Futter aufgenommen. Eine besondere Rolle spielen dabei Hirschtrüffel, die sehr viel höher belastet sind als Speisepilze, und die von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen nur sehr geringe Kontaminationen. Individuelle Verzehrsgewohnheiten 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.

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2002 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 Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

Im Jahr 2002 wurden (wie in den Vorjahren) keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Tabelle 3.9-1 gibt einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche. Die entsprechenden Versuchsorte sind in Abbildung 3.9-1 dargestellt.

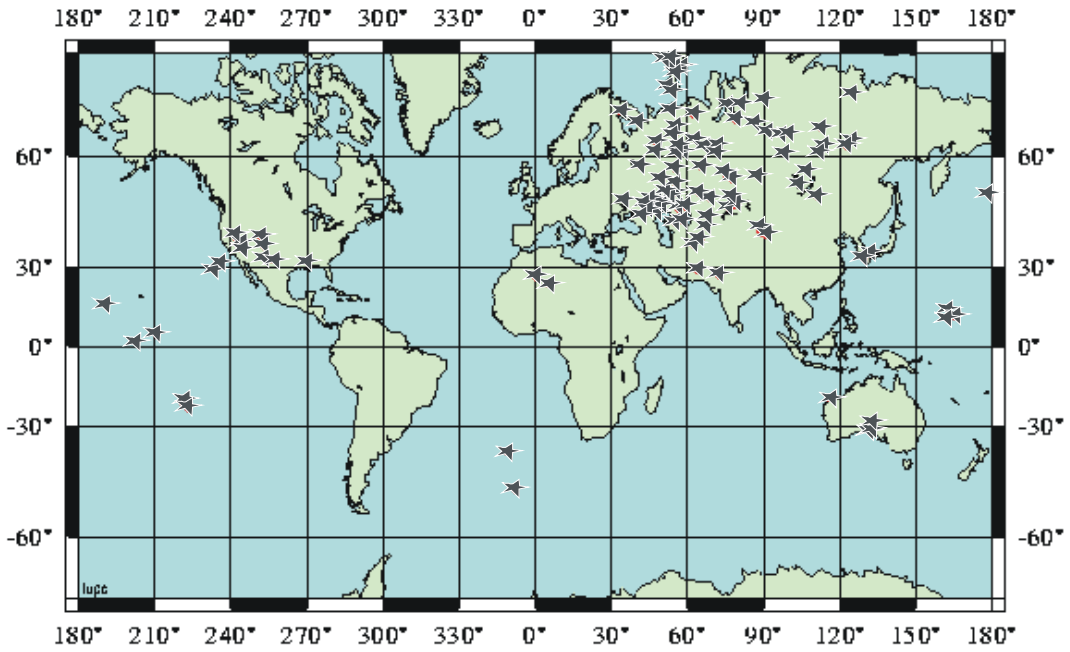
Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen "Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser" im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Strontium-90 und Cäsium-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Die mittlere effektive Dosis durch den Fallout der Kernwaffenversuche im Jahr 2002 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	-	-	-	-	-	-	-

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
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	-	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1	-
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	-	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-	-
1986	-	14	-	0	-	1	-	8	-	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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



BfS	Orte der bisher durchgeführten Kernexplosionen (nach BGR) *(Locations of nuclear explosions up to the present - data of BGR)*	**3.9-1**

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 Strahlenschutz und Umwelt, Berlin und Oberschleißheim, und von der Eigenüberwachung Endlager Morsleben, Salzgitter

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

Bearbeitet Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin und Oberschleißheim, 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 2002 folgende kerntechnische Anlagen:

- 19 Atomkraftwerke (Tabelle 1.1-1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22.365 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 165 TWh und einem Anteil von 28% an der Gesamt-Brutto-Stromerzeugung und von rund 33% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2002. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald, Hamm-Uentrop und Mülheim-Kärlich haben den Betrieb bereits 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 Brennelementeproduktion eingestellt.
- 7 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald für abgebrannten Brennstoff (ZAB) Lubmin, Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A), AVR-Behälterlager im Forschungszentrum Jülich, Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G), Zwischenlager im KKW Obrigheim, Transportbehälterlager im Zwischenlager Nord (ZLN) Rubinow und Standort-Zwischenlager Lingen.
- 3 Interimslager für abgebrannte Brennelemente: Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg und Biblis.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2002 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 StrlSchV geregelt. Für die Planung, die Errichtung, den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen sind hier Grenzwerte für die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus diesen Anlagen oder Einrichtungen jeweils bedingte Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr festgelegt. Für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert jeweils 0,3 Millisievert über Luft bzw. Wasser, 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 bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren).

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

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

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

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser der Atomkraftwerke, 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 2002 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 Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2002 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 2002 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 1.1-4 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten "Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community". Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden in den Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

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

Atomkraftwerk/Standort	Typ a)	elektr. Brutto-leistung (MW)	Bruttostrom-erzeugung 2002 *) (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	16	0	1960/1985	Main
MZFR Karlsruhe	D_2O-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	342	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	565	1972	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	749	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	1227	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	762	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	102	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	912	898	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1410	812	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	787	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1191	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	1011	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1199	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1305	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1236	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1458	1330	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	DWR	1302	0	1986/1988	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1361	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1475	1389	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1400	1354	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1197	1988	Neckar

a) SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D_2O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart

*) Daten aus Atomwirtschaft, atw 2/2003

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

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

*) im Dauerbetrieb

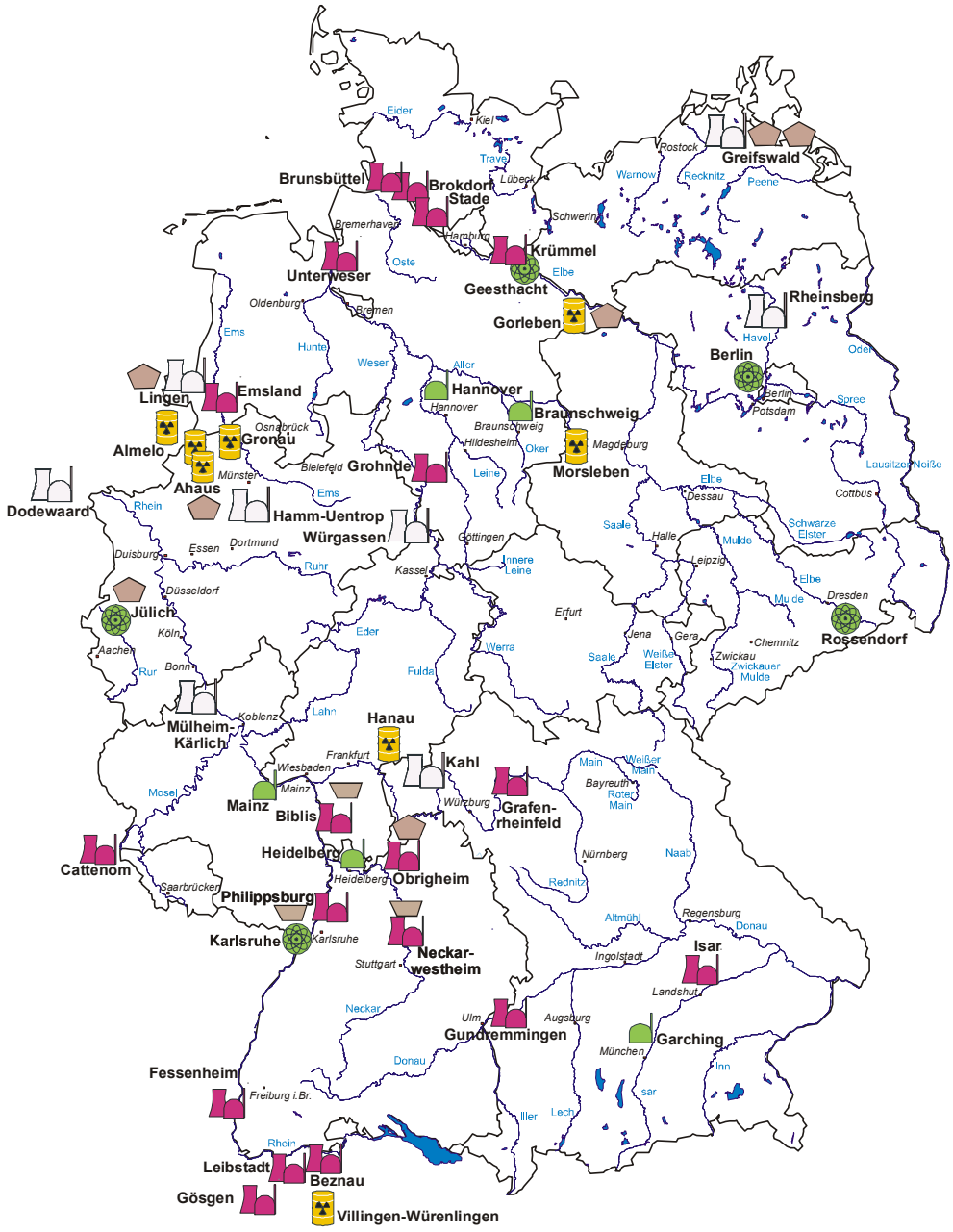
Tabelle 1.1-3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Ultimate disposal facilities for radioactive wastes in the Federal Republic of Germany)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar
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 1,37 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



BfS	Standorte kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im grenznahen Bereich (2002) *(Sites of nuclear facilities both within the Federal Republic of Germany and close to the German border – year 2002)*	**1.1-1**

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

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

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

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft der Atomkraftwerke im Jahr 2002 sind in Tabelle 1.2-1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Aerosole (Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide Jod-131, Kohlenstoff-14 ($^{14}CO_2$-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 2002 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 Gesamtableitungen für Edelgase und I-131 mit der Abluft und die Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2002 mit $1{,}8 \cdot 10^{13}$ Becquerel niedriger als 2001 mit $2{,}8 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2002 mit $3{,}3 \cdot 10^{8}$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $2{,}2 \cdot 10^{8}$ Becquerel. Diese jährlichen Schwankungen sind abhängig von den Betriebsbedingungen der Atomkraftwerke.

In Tabelle 1.2-5 sind die Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin im Jahr 2002 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 2002 mit insgesamt $3{,}5 \cdot 10^{6}$ Becquerel höher als 2001 mit $7{,}1 \cdot 10^{5}$ Becquerel.

Die für das Jahr 2002 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 Atomkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 1.2-1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Becquerel für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für 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 Atomkraftwerken im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2002)

Kernkraftwerk	Edelgase	Aerosole[a)]	Jod-131	$^{14}CO_2$	Tritium
	Aktivität in Bq				
Kahl [b)]	-	6,4 E+03	-	-	-
Rheinsberg [c)]	nn	6,3 E+05	-	-	nn
Gundremmingen A [d)]	-	2,8 E+05	-	-	3,2 E+09
Lingen [d)]	-	nn	-	6,7 E+08	1,7 E+08
Obrigheim	1,3 E+12	2,1 E+05	2,2 E+04	1,7 E+10	9,8 E+10
Stade	1,7 E+12	1,1 E+05	2,4 E+06	1,4 E+10	6,5 E+11
Würgassen [e)]	-	2,8 E+06	-	1,9 E+09	6,2 E+10
Greifswald [c)]	-	3,2 E+07	-	-	3,9 E+08
Biblis A	3,8 E+11	1,5 E+06	2,3 E+04	3,2 E+10	4,8 E+11
Biblis B	4,4 E+11	2,2 E+05	1,9 E+05	3,7 E+10	1,9 E+11
Neckar 1	4,4 E+11	3,0 E+05	7,4 E+04	4,9 E+09	1,2 E+11
Brunsbüttel	7,4 E+11	4,8 E+06	1,8 E+06	1,7 E+11	4,4 E+10
Isar 1	9,8 E+11	nn	6,9 E+06	3,1 E+11	6,7 E+10
Unterweser	3,0 E+12	7,3 E+05	nn	6,9 E+10	4,2 E+11
Philippsburg 1	6,6 E+10	3,5 E+06	6,1 E+06	5,5 E+11	3,5 E+10
Grafenrheinfeld	7,6 E+10	1,7 E+06	nn	2,6 E+11	2,5 E+11
Krümmel	1,2 E+12	7,5 E+06	2,6 E+08	9,8 E+10	3,8 E+10
Gundremmingen B und C	1,4 E+12	4,3 E+04	4,6 E+07	9,8 E+11	1,2 E+12
Grohnde	2,8 E+11	1,1 E+05	8,6 E+06	3,9 E+10	5,8 E+11
Hamm-Uentrop [f)]	-	nn	-	nn	2,0 E+08
Philippsburg 2	3,2 E+12	1,8 E+05	3,9 E+05	8,5 E+10	2,9 E+11
Mülheim-Kärlich [f)]	nn	nn	nn	3,0 E+10	nn
Brokdorf	1,7 E+12	nn	1,5 E+06	1,0 E+11	2,5 E+11
Isar 2	2,8 E+11	nn	nn	1,7 E+11	3,7 E+11
Emsland	1,5 E+11	2,3 E+04	nn	2,0 E+11	1,4 E+12
Neckar 2	3,5 E+11	5,3 E+04	nn	1,0 E+11	2,0 E+11

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

Tabelle 1.2-2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Atomkraftwerken im Jahr 2002
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2002)

Radionuklid	Kahl/ Rheinsberg	Gundremmingen A / Lingen	Obrigheim	Würgassen	Stade	Greifswald	Biblis A	Biblis B
	Aktivität in Bq							
Ar -41			5,8E+10		1,4E+12		2,7E+10	5,0E+10
Kr -85m							2,5E+07	2,5E+07
Kr--85							2,8E+11	3,3E+11
Kr -87								
Kr -88								
Kr -89							9,6E+07	
Xe-131m							9,0E+09	4,9E+08
Xe-133m							7,9E+07	2,1E+08
Xe-133			9,7E+11				3,8E+10	4,0E+10
Xe-135m							5,5E+08	1,3E+09
Xe-135			2,4E+11		3,1E+11		2,5E+10	2,4E+10
Xe-137								7,9E+07
Xe-138								2,6E+08

Radionuklid	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krümmel	Gundremmingen B, C
	Aktivität in Bq							
Ar -41	4,0E+11		1,5E+09	9,3E+10	3,1E+08	7,6E+10		1,8E+11
Kr-85m					2,1E+08		1,2E+09	3,7E+09
Kr -85	5,0E+09		8,7E+10	3,3E+10			1,7E+11	3,7E+11
Kr -87	1,0E+09		4,3E+07		6,5E+08		2,6E+09	4,5E+09
Kr -88			2,3E+11				1,5E+09	
Kr-89								4,1E+08
Xe-131m				6,9E+11			1,4E+10	2,4E+11
Xe-133m		6,5E+09					1,5E+10	1,1E+10
Xe-133	8,3E+09	4,9E+11	6,0E+10	1,3E+12	9,7E+09		7,3E+11	4,1E+11
Xe-135m	1,0E+08	7,5E+10	3,1E+11		2,6E+10		8,3E+10	3,5E+10
Xe-135	2,6E+10	1,7E+11	1,1E+11	8,4E+11	2,9E+10		2,2E+11	8,3E+10
Xe-137			1,3E+11					3,3E+10
Xe-138								

Radionuklid	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philippsburg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
	Aktivität in Bq							
Ar-41			3,6E+11		1,2E+11	7,0E+10	1,5E+11	6,0E+10
Kr -85m			6,3E+10		3,3E+09	9,9E+07		
Kr -85	9,3E+10		1,3E+11			1,9E+11		2,3E+11
Kr -87			1,7E+10			8,5E+07		8,3E+07
Kr -88			8,4E+10			3,3E+08		5,7E+08
Kr- 89						2,2E+08		
Xe-131m			4,7E+10			1,9E+10		6,0E+10
Xe-133m			6,4E+10			7,7E+08		1,1E+09
Xe-133	1,7E+11		2,0E+12		1,5E+12	5,1E+08		6,4E+08
Xe-135m			2,0E+09			1,1E+07		5,6E+07
Xe-135	1,6E+10		3,8E+11		3,8E+10	1,7E+08		9,1E+07
Xe-137						1,3E+08		4,6E+08
Xe-138						1,4E+08		

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 Atomkraftwerken im Jahr 2002 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 1.2-1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2002, expressed in becquerel - iodine-131: Table 1.2-2)

Radio-nuklid	Kahl	Rheins-berg	Gund-remmin-gen A	Lingen	Obrig-heim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
	Aktivität in Bq								
Cr-51									
Mn-54			3,8E+04						
Fe-59									
Co-57									
Co-58					6,4E+04				
Co-60	3,8E+03	8,4E+04	2,2E+05		8,5E+04	1,8E+06	6,4E+04	1,6E+07	1,6E+04
Zn-65									
Sr-89									
Sr-90		5,8E+04							
Zr-95									
Nb-95									
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					2,4E+04				
Sn-113									
Sb-124									3,7E+04
Sb-125									
Te-123m					3,4E+04				1,4E+06
Cs-134									
Cs-137	2,7E+03	3,3E+05	2,2E+04		2,9E+03	9,8E+05	4,7E+04	1,6E+07	
Ba-140									
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		1,2E+05							
Eu-154		4,0E+04							
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

Radionuklid	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krümmel	Gundremmingen B,C
	Aktivität in Bq								
Cr-51						6,4E+05	3,3E+04		
Mn-54			1,2E+06			3,1E+05	1,2E+04	2,4E+05	4,3E+04
Fe-59		6,0E+03							
Co-57									
Co-58		2,6E+04	2,2E+04			4,1E+04	6,2E+04	5,8E+04	
Co-60	3,5E+04	1,3E+05	3,0E+06		6,8E+05	1,9E+06	1,5E+06	1,3E+06	
Zn-65		1,0E+04	2,3E+05			5,2E+05		1,8E+05	
Sr-89						1,1E+04		2,6E+06	
Sr-90								2,4E+04	
Zr-95		3,1E+04					2,3E+04		
Nb-95		7,0E+04					6,5E+04		
Ru-103									
Ru-06									
Ag-110m									
Sn-113									
Sb-124		2,3E+04			4,5E+04				
Sb-125									
Te-123m	1,9E+05								
Cs-134								4,1E+04	
Cs-137			4,0E+05			1,6E+04	5,8E+03	3,1E+04	
Ba-140						2,2E+04		2,2E+06	
La-140			1,3E+04					9,0E+05	
Ce-141			9,4E+03						
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

Radio-nuklid	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
	Aktivität in Bq							
Cr-51								
Mn-54			3,8E+03					
Fe-59			6,4E+04					
Co-57								
Co-58			1,9E+04					
Co-60	1,1E+05		5,8E+03				1,3E+04	3,9E+04
Zn-65								
Sr-89								
Sr-90								
Zr-95								
Nb-95			1,8E+04				1,0E+04	1,4E+04
Ru-103			3,0E+03					
Ru-106			2,3E+04					
Ag-110m			1,2E+04					
Sn-113								
Sb-124								
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134								
Cs-137			1,4E+04					
Ba-140								
La-140								
Ce-141								
Ce-144			1,9E+04					
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, von Jod-131 und Aerosolen (ohne Jod-131, einschliesslich Strontium und Alphastrahler) mit der Abluft und Gesamt-Bruttostromerzeugung der Atomkraftwerke in den Jahren 1993 bis 2002
(Discharges of radioactive noble gases, of iodine-131 and aerosols (excluding iodine-131, including strontium and alpha sources with exhaust air from nuclear power plants (without research centres) in the years from 1993 to 2002)

Jahr	Edelgase	Jod-131	Aerosole	Bruttostromerzeugung
	Aktivität in Bq			in MWa
1993	2,8 E13	3,9 E08	3,1 E08	17526
1994	4,2 E13	8,0 E08	2,6 E08	17256
1995	9,8 E13	5,5 E08	5,2 E08	17596
1996	6,2 E13	3,4 E08	3,6 E08	18459
1997	3,8 E13	3,0 E08	3,7 E08	19451
1998	2,7 E13	1,8 E08	2,7 E08	18460
1999	1,9 E13	2,5 E08	1,4 E08	19374
2000	2,6 E13	2,2 E08	1,1 E08	19371
2001	1,5 E13	2,8 E08	7,4 E07	19552
2002	1,8 E13	3,3 E08	5,7 E07	18816*

*) Quelle: Atomwirtschaft 2/2003

Tabelle 1.2-5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2002)

Forschungszentrum	Edelgase	Aerosole a)	Jod-131	Jod-129	Kohlenstoff 14	Tritium
	Aktivität in Bq					
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	6,8 E11	3,7 E06 b)	6,9 E06	2,6 E06	2,8 E10	9,3 E11
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	5,2 E11	4,7 E06	1,0 E08	-	2,8 E11	5,1 E12
Forschungszentrum Rossendorf	9,2 E09	2,5 E06	nn	nn	3,9 E09	3,0 E10
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	1,6 E12	4,2 E04	1,5 E05	-	2,0 E08	1,1 E11
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	2,8 E11	5,6 E03	5,2 E05	-	2,3 E09	9,5 E10

a) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler
b) davon Alphastrahler: 1,1 E05 Bq
nn: nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 1.2-6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2002)

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
	Aktivität in Bq				
Braunschweig	-	<3,3 E05	-	3,9 E08	2,4 E08
Garching	nn	nn	nn	4,0 E07	1,1 E09
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	nn	4,3 E04	2,9 E03	-	3,9 E06
Mainz	1,2 E11	nn	nn	-	4,5 E06

- Messung / Angabe nicht erforderlich
nn: nicht nachgewiesen

Die Jahresableitungen von FRJ1, FRJ2, RFR, FRG1, FRG2 und BER II sind in den Ableitungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin enthalten (Tabelle 1.2-5). Der Forschungsreaktor Braunschweig wurde Ende 1995 endgültig abgeschaltet, 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 2002
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility in the year 2002)

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	3,16 E10
Kohlenstoff-14	9,3 E08
langlebige Aerosole	1,5 E06
Radon-Folgeprodukte	9,2 E09

Tabelle 1.2-8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α-Aktivität) mit der Abluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances - α-activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2002)

Betrieb	Aktivität in Bq
NUKEM GmbH (Hanau) *)	2,8 E06
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung *)	<1,2 E03
Betriebsteil Uran-Verarbeitung *)	<5,9 E05
ANF GmbH (Lingen)	<1,4 E04
URENCO D (Gronau)	4,7 E04

*) 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 Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

In den Tabellen 1.2-1 bis 1.2-3 sind die von den Atomkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2002 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2002 insgesamt 6,28 m^3 Abwasser abgeleitet.(Tabelle 1.3-4).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken (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 1,7 GBq bzw. 1,4 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 188 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 7,4 TBq.

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

Tabelle 1.3-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken in Deutschland im Jahr 2002 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water form nuclear power plants in Germany in the year 2002 - summation values, tritium and alpha sources)

Radionuklid	Spalt- und Aktivierungsprodukte außer Tritium	Tritium	α-Strahler
Atomkraftwerk			
Siedewasserreaktoren			
Kahl [1]	1,1 E+07	1,5 E+07	1,3 E+04
Lingen [1]	1,3 E+06	1,1 E+08	1,1 E+08
Würgassen [1]	4,9 E+07	1,8 E+10	5,5 E+05
Brunsbüttel	3,4 E+08	1,3 E+11	
Isar 1	6,1 E+07	3,5 E+11	
Philippsburg 1	2,0 E+08	4,6 E+11	
Krümmel	9,9 E+06	6,1 E+11	
Gundremmingen [2] (Block B und C)	7,3 E+08	5,9 E+12	
Druckwasserreaktoren			
Obrigheim	6,0 E+07	5,9 E+12	
Stade	1,4 E+07	3,3 E+12	
Biblis Block A	3,0 E+08	1,7 E+13	
Biblis Block B	2,2 E+08	1,5 E+13	
Neckar 1	4,6 E+05	1,2 E+13	
Unterweser	3,9 E+08	1,2 E+13	
Grafenrheinfeld	2,3 E+07	2,1 E+13	
Grohnde	2,4 E+07	1,8 E+13	
Philippsburg 2	3,9 E+08	1,6 E+13	
Mülheim-Kärlich [1]	3,0 E+07	1,4 E+10	
Brokdorf	4,8 E+06	1,8 E+13	
Isar 2	8,3 E+04	1,9 E+13	
Emsland	1,8 E+04	1,5 E+13	
Neckar 2	1,7 E+08	1,7 E+13	
Greifswald Block 1 bis 5 [1]	1,7 E+07	3,0 E+09	
Rheinsberg [1]	7,1 E+06	9,4 E+09	5,6 E+04

1) Anlage stillgelegt
2) Block A stillgelegt (geringfügige Ableitungen sind in den für Block B und C angegebenen Daten enthalten)
Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2002)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungs-produkte (Bq) (außer Tritium)	Tritium (Bq)	Alphastrahler (Bq)
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	1,7E+07	1,2E+12	1,5E+05
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	2,8E+08	4,4E+11	
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	1,7E+08	4,2E+09	6,9E+04
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	7,0E+05	7,0E+08	
FRM Forschungsreaktor München	1,3E+06	8,4E+08	
Forschungszentrum Rossendorf [1)]	1,2E+06	4,3E+10	6,8E+05

[1)] vormals ZfK Rossendorf

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances - alpha activity - with waste water from nuclear fuel production plants in the year 2002)

Betrieb	Alphastrahler (Bq)
NUKEM GmbH	1,3E+08
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung [1)]	
Betriebsteil Uran-Verarbeitung [1)]	4,8E+06
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	2,3E+03

[1)] Brennelementeproduktion eingestellt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 1.3-4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2002
(Discharges of radioactive substances with waste water from the final repository Morsleben in the year 2002)

Radionuklid	Jahresaktivitätsabgabe (Bq)
Tritium	nn *)
Nuklidgemisch (außer Tritium)	6,77 E02

*) Nachweisgrenze 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 und Niederschlag
(Air and prepicipation)

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

Gemäß der REI sind die Aktivitätskonzentrationen von gasförmigem Iod-131 und von aerosolpartikelgebundenen Radionukliden gammaspektrometrisch zu ermitteln. Die geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 2 mBq/m³ und für Co-60 bei 0,4 mBq/m³.

Die Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Iod-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.

Bezugsnuklid für die Überwachung der Aktivitätskonzentration der Luft ist Cobalt-60. Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 lagen 2002 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 1.4.1-2).

Die Veränderungen der Jahresmittelwerte der γ-Ortsdosisleistung (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	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
		Jod-131 (mBq/m³)							
HMI Berlin	2	<0,23	<0,22	< 0,20	<0,29	<0,31	<0,2	<0,31	<0,32
KKW Brunsbüttel	2	<0,22	<0,26	< 0,22	-	-	[<0,2][9]	<0,2	<0,15
KKW Brokdorf	2	<0,46	<0,54	< 0,55	-	-	<0,54	<0,43	<0,40
KKW Krümmel	3	<0,10	<0,40	< 0,40	-	-	<0,36	<0,36	<0,39
GKSS Geesthacht	1	<0,28	<0,24	< 0,50	-	-	[<0,43][6]	<0,45	<0,43
KKW Stade	1	<0,60	<0,53	< 0,42	[<0,38][9]	<0,37			
KKW Unterweser	2	<2,0	[<2,0][9]	< 2,00	[<2,00][9]	<2,00	<2,00	[<2,00][6,d]	<2,0
KKW Grohnde	3	<0,48	<0,43	< 0,45	<0,44	<0,47	-	[<0,69][9]	<0,65
KKW Emsland	2	[<0,38][3]	<0,43	< 0,33	<0,31	<0,37	-	[<0,31][9]	<0,32
KKW Würgassen	3	<1,43	*	*	*	*	*	*	*
KFA Jülich	3	<2,0	0,63**	0,33 **	0,63**	0,25**	0,76**	0,72**	0,68**
THTR Hamm-Uentrop	2	[<0,38]*	*	*	*	*	*	*	*
KKW Biblis	2	<1,2	<0,54	< 0,57	<0,50	<0,57	[<0,65][9]	[<0,76][9]	-
KKW Philippsburg	4	<0,74	<0,68	< 0,65	<0,62	<0,60	<0,62	<0,64	[<0,53][9]
KKW Obrigheim	3	<0,68	<0,80	< 0,78	<0,80	<0,79	<0,85	<0,86	<0,82
KKW Neckarwestheim	2	<0,74	<0,77	< 0,72	<0,68	<0,64	<0,60	<0,59	[<0,61] [9]
KfK Karlsruhe	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	<0,14	<0,35	< 0,36	<0,31	-	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,21	<0,48	< 0,49	<0,42	-	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	<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]	<0,08
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	< 0,40	<0,36	<0,18	*	*	-

N Zahl der Messstationen
[ ] ^{i} unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate
** Jahreswert von einer Messstelle, die Werte der anderen Messstellen lagen unterhalb der Nachweisgrenze
^{d} zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung
- keine Messwerte
* Messungen eingestellt

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	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
		Co-60 (mBq/m³)							
HMI Berlin	2	<0,02	<0,016	<0,02	<0,013	<0,016	<0,08	<0,02	<0,015
KKW Brunsbüttel	2	<0,09	<0,02	<0,10	-	-	[<0,06][6]	<0,06	<0,06
KKW Brokdorf	2	<0,20	<0,24	<0,23	-	-	[0,19][6]	<0,19	<0,19
KKW Krümmel	3	<0,02	<0,06	<0,08	-	-	[<0,08][6]	<0,07	<0,07
GKSS Geesthacht	1	<0,09	<0,06	<0,16	-	-	[<0,19][6]	<0,18	<0,14
KKW Stade	1	<0,31	<0,27	<0,25	[<0,22][9]	<0,21	-	-	-
KKW Unterweser	2	<0,4	[<0,4][9]	<0,40	[<0,4][9]	<0,40	<0,40	[<0,40][6,d]	<0,40
KKW Grohnde	3	<0,20	<0,12	<0,13	<0,12	<0,12	-	[<0,12][9]	<0,10
KKW Emsland	2	[<0,13][3]	<0,17	<0,16	<0,16	<0,18	-	[<0,18][9]	<0,18
KKW Würgassen	2	<0,30	<0,32	<0,15	<0,10	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10
KFA Jülich	3	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40
THTR Hamm-Uentrop	2	<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	<0,046	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	[<0,04][9]
KKW Obrigheim	3	<0,08	<0,076	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
KKW Neckarwestheim	2	<0,14	<0,15	<0,15	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	[<0,14][9]
KfK Karlsruhe	3	<0,007	<0,010	<0,006	<0,006	<0,008	<0,01	<0,01	[<0,01][9]
KKI Niederaichbach	3	<0,07	<0,19	<0,19	<0,19	-	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,05	<0,09	<0,10	<0,09	-	-	-	-
KRB Gundremmingen II	3	<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]*	<0,37
VKTA Rossendorf	3	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	[<0,02][9]	<0,02
KKR Rheinsberg	2	<0,02	<0,11	<0,11	<0,11	<0,14	<0,10	<0,09	<0,10
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	<0,30	<0,29	<0,18	<0,16	0,15	<0,20

- keine Messwerte
[ ][i] unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate
N Zahl der Messstationen
[#] Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten
[d] zeitweiser Defekt bei Probenahme/Messung
* 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	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
		nSv/h							
HMI Berlin	2	83	79	72	73	70	71	71	71
KKW Brunsbüttel	2	83	[90][9]	72	75	78	75	85	[83][6]
KKW Brokdorf	2	65	62	62	60	61	61	60	[60][3]
KKW Krümmel	3	66	[68][9]	63	71	68	53	56	[59][6]
GKSS Geesthacht	1	80	80	84	[80][9]	84	84	84	84
KKW Stade	1	165	196	60[x]	[50][9]	[85][11]			[77][9]
KKW Unterweser	2	54	[54][9]	90	[90][9]	83	87	[90][6]	90
KKW Grohnde	3	91	88	88	85	85		[88][9]	84
KKW Emsland	2	[75][3]	73	66	66	66		[65][9]	65
KKW Würgassen	3	105	104	*	*	*	*	*	*
KFA Jülich	12	63	59	55	64	64	61	59	58
THTR Hamm-Uentrop	2	83	92	92	90	90	89	88	87
KKW Biblis	3	73 - 128	93	85	88	88	[88][9]	[90][9]	-
KKW Philippsburg	4	99	112	109	105	105	105	100	[98][9]
KKW Obrigheim	2	73	78	75	73	72	70	70	82[MT]
KKW Neckarwestheim	2	54	58	61	58	56	56	56	[55][9]
KfK Karlsruhe	6	86	96	85	84	84	82	82	[81][9]
KKI Niederaichbach [a]	3	79	80	68	67	-	-	-	-
KKG Grafenrheinfeld [a]	3	117	118	97	109	-	-	-	-
KRB Gundremmingen II [a]	3	88	89	79	77	-	-	-	-
KKW Greifswald	20	71	54 - 81	70	72	71	71	77	81
VKTA Rossendorf	3	116	113	110	110	112	106	[109][9]	112
KKR Rheinsberg	4	-	110	105	101	100	99	99	98
KKW Mülheim-Kärlich	2						110	114	113

- keine Messwerte
x Ersatzwert Sonde NLÖ unweit defekter Sonde
* Messungen eingestellt
[ ][i] unvollständige Messreihe; mit i = Anzahl der Monate
[a] teilw. Überwachung durch unabhängige Sachverständige
N Zahl der Messstationen
MT Austausch des Messsystems

Niederschlag

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

Die geforderte Nachweisgrenze bezieht sich auf die Konzentrationsmessung und liegt für Co-60 bei 0,05 Bq/l. Die Monatsniederschlagshöhen liegen zwischen 10 und im Extremfall 200 Liter pro Quadratmeter.

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)	
			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240
Baden-Württemberg						
FZ Karlsruhe	2000	11	19,3	7	<0,18	<0,39
	2001	11	26,5	7	<0,26	<0,65
	2002	7	18,5 (5,2 - 45,0)	3	<0,10 (<0,02 - 0,25)	0,32 (0,06 -0,74)
					Sr-90	
	2000			3	2,6	
	2001			3	2,7 (1,8 - 3,8)	
	2002			3	0,8 (0,3 - 1,0)	
Kernkraftwerk Obrigheim	2000	8	11,3			
	2001	8	12,7			
	2002	8	11,4 (4,1 - 19,5)			
Kernkraftwerk Neckarwestheim	2000	8	10,3			
	2001	8	11,1			
	2002	4	13,3 (10,3 - 17,2)			
Kernkraftwerk Philippsburg	2000	8	14,4	a)		
	2001	8	14,6			
	2002	6	11,3 (4,8 - 24,0)			
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	2000	8	32,9			
	2001	8	30,5			
	2002	8	30,9 (17,8 - 42,0)			
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	2000	4	10,7			
	2001	4	9,6			
	2002	a)				

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)
			Cs-137		**Sr-90**
TRIGA	2000	2	b) 17,0; 18,0		
Heidelberg	2001	2	b) 11,9;14,0		
	2002	1	19,9		
Bayern					
Kernkraftwerk	2000	3	23,3		
Kahl	2001	a)			
	2002	a)			
Kernkraftwerk	2000	12	52,4		
Gundremmingen	2001	a)			
	2002	a)			
Kernkraftwerk	2000	12	49,3		
Isar	2001	a)			
	2002	a)			
Kernkraftwerk	2000	10	8,0		
Grafenrheinfeld	2001	a)			
	2002	a)			
Forschungsreaktor	2000	2	b) 38,0; 74,0		
München	2001	a)			
	2002	a)			
					Pu-238 / **Pu-239/240**
KWU	2000	4	21,0	2	<0,025 / 0,19 (N=4)
Erlangen	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
					U-235 / **U-238** / **Am-241**
	2000			4	< 0,23 / 6,1 / < 0,07
	2001			a)	
	2002	a)		a)	
					Pu-238 / **Pu-239/240**
KWU	2000	2	16,5	1	< 0,1 / 0,13
Karlstein	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
					U-235 / **U-238** / **Am-241**
	2000			2	b)0,1;0,37 / b)3,8;8,1 / a)
	2001			a)	
	2002	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität		**Sr-90**
SBWK	2000	a)			
Karlstein	2001	a)			
	2002	a)			

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)	
			Cs-137		**Sr-90**	
Berlin						
Forschungsreaktor	2000	8	16,8			
BER II	2001	8	14,2			
	2002	8	13,4 (7,0 - 20,8)			
Brandenburg						
Kernkraftwerk	2000	8	11,1			
Rheinsberg	2001	8	10,0 (5,7 - 13,0)			
	2002	8	8,3 (5,9 - 12,0)			
Hessen						
Kernkraftwerk	2000	10	9,4			
Biblis	2001	9	6,5 (3,1 - 8,9)			
	2002	a)				
			Gesamt-α-Aktivität in Bq/kg Asche		**Rest-ß-Aktivität in Bq/kg Asche**	**Pu-239/240 in Bq/kg Asche**
Nuklearbetriebe	2000	8	880	4		0,35
Hanau	2001	8	816)	3		<0,15
	2002	a)				
			Cs-137		**U-235**	
Mecklenburg-Vorp.						
	2000	29	10,8	18	0,9	
Kernkraftwerk	2001	28	11,2	18	0,9	
Greifswald	2002	29	7,1 (0,2 -20,0)	9	0,8 (0,4 - 2,0)	
Zwischenlager Nord	2000	42	<5,7			
	2001	42	4,8			
	2002	41	5,8 (0,3 - 22,0)			
					Sr-90	
Niedersachsen						
Kernkraftwerk	2000	14	11,0	a)		
Stade	2001	14	12,2	a)		
	2002	8	10,3 (4,0 - 22,0)	a)		
Kernkraftwerk	2000	12	20,5	a)		
Unterweser	2001	12	18,6 (6,5 - 43,0)	a)		
	2002	6	24,9 (10,3 - 49,4)			
Kernkraftwerk	2000	10	21,0	a)		
Grohnde	2001	10	18,3	a)		
	2002	4	11,5 (10,5 - 12,9)			
Kernkraftwerk	2000	10	26,3	a)		
Emsland	2001	8	17,0	a)		
	2002	10	19,1 (9,4 - 35,2)			

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)		
			Cs-137		**Sr-90**		
Zwischenlager	1999	22	29,6	4	0,8		
Gorleben	2000	22	36,6	4	0,7		
	2001	26	25,7	4	4,6		
	2002	a)		a)			
			Pu-238		**Pu-239/240**		
	2000	2	<0,037	2	<0,037		
	2001	2	<0,1	2	<0,1		
	2002	a)		a)			
			Cs-137		**Gesamt-α-Aktivität**		
FMRB	2000	8	36,7	a)			
Braunschweig	2001	8	20,8	a)			
	2002	6	15,1 (8,5 - 23,0)				
					Sr-90		
Schacht Konrad II c)	2000	4	16,8	a)			
	2001	6	18,2 (8,0 - 26,0)	a)			
	2002	a)		a)			
					U-234	**U-235**	**U-238**
Advanced	2000	a)	a)	2	5,7	<0,1	4,8
Nuclear Fuels	2001	12	15,2	2	2,7	<0,06	2,5
Lingen	2002	a)		a)			
			Pu-238		**Pu-239**		
	2000	2	<0,082	2	<0,082		
	2001	2	<0,096	2	<0,095		
	2002	a)		a)			
			Cs-137		**Sr-90**		
Nordrhein-Westfalen							
KFA Jülich	2000	10	8,6	6	1,3		
	2001	10	5,8	6	1,2		
	2002	8	< 7,2 (<0,3 - 11,0)	6	1,4 (0,4 - 2,3)		
Kernkraftwerk	2000	20	18,8				
Würgassen	2001	17	15,1				
	2002	20	16,3 (5,9 - 44,0)				
Kernkraftwerk	2000	8	18,7	a)			
Uentrop	2001	8	18,3	a)			
	2002	8	24,9 (6,0 - 42,5)				
			Cs-137		**Sr-90**		
Zwischenlager	2000	5	10,3	5	0,9		
Ahaus	2001	5	10,9	5	1,7		
	2002	5	11,3 (7,4 - 16,9)	5	0,6 (0,3 - 1,3)		
			U-238				
UAG Gronau	2000	10	<0,2				
	2001	10	<0,2				
	2002	10	<0,3 (<0,3 - <0,3)				

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert d) (Bereich)	
			Cs-137		Sr-90	
Rheinland-Pfalz	2000	8	11,3			
Kernkraftwerk	2001	8	16,4			
Mülheim-Kärlich	2002	6	7,9 (1,2 - 19,3)			
Kernkraftwerk	2000	a)		a)		
Cattenom	2001	a)		a)		
Frankreich	2002	a)		a)		
Sachsen						
Rossendorf	2000	16	8,6			
	2001	4	11,0 (8,5 - 16,0)			
	2002	a)				
Sachsen-Anhalt			-		**Sr-90**	**Gesamt-β-Aktivität**
Endlager Morsleben	2000	8	9,6	4	0,9	670
	2001	8	9,1	4	0,4	620
	2002	6	7,6 (2,8 - 12,0)	4	0,3 (0,3 - 0,4)	620 (560 - 690)
					Sr-90	
Schleswig-Holstein						
GKSS	2000	10	12,2	2	0,5	
Geesthacht	2001	10	14,4	2	0,5	
	2002	5	12,5 (6,9 - 18,0)	1	0,4	
Kernkraftwerk	2000	8	31,8	2	b) 1,0; 3,4	
Brunsbüttel	2001	8	32,8	2	b) 1,0; 3,5	
	2002	3	29,8 (12,5 - 51,8)	2	b) 0,9; 3,5	
Kernkraftwerk	2000	12	8,6	6	0,9	
Krümmel	2001	13	8,0	7	0,8	
	2002	6	8,1 (6,1 - 11,0)	3	1,1 (0,6 - 1,8)	
Kernkraftwerk	2000	16	19,7	8	2,7	
Brokdorf	2001	16	18,9	8	2,4	
	2002	8	19,3 (7,9 - 33,0)	4	2,3 (0,9 - 3,9)	

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

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 Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240
Baden-						
Württemberg	2000	6	1,2	4	<0,06	<0,03
FZ Karlsruhe	2001	6	1,0	4	<0,10	<0,08
	2002	2	1,1 (1,0 - 1,1)	a)		
					Sr-90	
Kernkraftwerk	2000	8	<0,4			
Obrigheim	2001	8	<0,5			
	2002	8	<0,9 (<0,2 - 3,2)			
Kernkraftwerk	2000	8	<0,5			
Neckarwestheim	2001	8	<0,3			
	2002	4	0,4 (0,2 - 0,5)			
Kernkraftwerk	2000	8	2,2	a)		
Philippsburg	2001	8	2,2	a)		
	2002	6	<1,1 (<0,2 - 4,2)	a)		
Kernkraftwerk	2000	8	1,7			
Beznau/Leibstadt	2001	8	1,5			
Schweiz	2002	8	1,5 (0,5 - 3,0)			
Kernkraftwerk	2000	4	<0,5			
Fessenheim	2001	4	2,5 (0,3 - 7,9)			
Frankreich	2002	a)				
TRIGA Heidelberg	2000	2	0,2			
	2001	2	0,5 (0,3 - 0,6)			
	2002	1	0,6			
Bayern						
Kernkraftwerk	2000	3	<0,8			
Kahl	2001	a)				
	2002	a)				
Kernkraftwerk	2000	12	<1,5			
Gundremmingen	2001	a)				
	2002	a)				
Kernkraftwerk						
Isar	2000	12	<1,6			
	2001	a)				
	2002	a)				
Kernkraftwerk	2000	10	<0,4			
Grafenrheinfeld	2001	a)				
	2002	a)				

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Forschungsreaktor	2000	2	b) <1,2; 4,9			
München	2001	a)				
	2002	a)				
			Cs-137		**Pu-238**	**Pu-239/240**
KWU Erlangen	2000	4	<1,3	2	b)<0,003;<0,005	<0,01 (N=4)
	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
KWU Karlstein	2000	2	b)0,4; 1,7	1	<0,1	<0,003
	2001	a)	a)	a)		
	2002	a)	a)	a)		
			Gesamt-α-Aktivität		**Sr-90**	
SBWK	2000	a)				
Karlstein	2001	a)				
	2002	a)				
			Cs-137			
Berlin						
Forschungsreaktor	2000	7	<1,3			
BERII	2001	8	<1,9			
	2002	7	<1,6 (<0,6 - 3,0)			
Brandenburg						
Kernkraftwerk	2000	8	4,4			
Rheinsberg	2001	8	6,2			
	2002	8	5,7 (0,8 - 14,0)			
Hessen						
Kernkraftwerk	2000	10	<0,4	a)		
Biblis	2001	10	<0,4	a)		
	2002	a)		a)		
			Gesamt-α-Aktivität in Bq/kg Asche		**Rest-ß-Aktivität in Bq/kg Asche**	**Pu-239/240 in Bq/kg Asche**
Nuklearbetriebe	2000	6	220	2		b)<0,05; <0,73
Hanau	2001	6	160	2		b)<0,02; 0,04
	2002	a)		a)		
			Cs-137		**Sr-90**	
Mecklenburg-Vorp.						
Kernkraftwerk	2000	20	<1,1			
Greifswald	2001	20	<0,6			
	2002	20	<0,7 (<0,1 - 2,7)			
Zwischenlager	2000	36	<1,2			
Nord	2001	36	<1,0			
	2002	36	<2,4 (0,1 - 14,0)			

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
Niedersachsen							
Kernkraftwerk	2000	14	<1,1				
Stade	2001	14	<0,8				
	2002	8	<0,5 (<0,2 - 1,5)				
Kernkraftwerk	2000	12	<0,9	a)			
Unterweser	2001	12	<1,3	a)			
	2002	a)		a)			
Kernkraftwerk	2000	10	<1,0	a)			
Grohnde	2001	10	0,4	a)			
	2002	4	<0,4 (<0,4 - 0,5)	a)			
Kernkraftwerk	2000	10	1,2				
Emsland	2001	10	1,5				
	2002	10	<1,3 (<0,3 - 3,4)				
Zwischenlager	2000	16	15,1	4	0,8		
Gorleben	2001	20	17,3	4	5,4		
	2002	a)		a)			
FMRB	2000	6	20,7				
Braunschweig	2001	6	4,4				
	2002	3	4,8 (1,0 - 11,0)				
			Cs-137		**Sr-90**		**Gesamt-α-Aktivität**
Schacht Konrad II c)	2000	4	0,7	a)			
	2001	6	<4,3	a)			
	2002	a)		a)			
					Pu-238		**Pu-239/240**
Advanced Fuels	2000	4	4,6	1	<0,078		<0,071
Lingen	2001	4	1,4 (0,7 - 2,5)	1	<0,02 (Bq/kgFM)		<0,02 (Bq/kgFM)
					U-234	**U-235**	**U-238**
	2002	a)		1	56 (Bq/kgFM)	1,5 (Bq/kgFM)	40 (Bq/kgFM)
Nordrhein-Westfalen					**Sr-90**		
KFA Jülich	2000	10	<0,4				
	2001	8	<0,6				
	2002	9	<0,3(<0,2 – 0,5)	1	0,8		
Kernkraftwerk	2000	12	<0,5				
Würgassen	2001	15	<0,9	4	0,32		
	2002	12	<0,6 (<0,2 - 1,6)				
Kernkraftwerk	2000	8	<2,7				
Uentrop	2001	8	1,4				
	2002	8	<2,3 (<0,3 - 6,0)				

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlagen	**Jahr**	**Aktivität in Bq/kg TM**				
		N	**Mittelwert (Bereich)**	**N**	**Mittelwert (Bereich)**	
Zwischenlager	2000	10	<1,8	9	2,1	
Ahaus	2001	9	<1,5	8	0,4	
	2002	10	1,2 (0,1 - 2,2)	9	1,3 (0,7 - 1,8)	
			U-238		**Uran Bq/kg TM**	**Fluor mg/kg TM**
UAG Gronau	2000	4	<0,3	12	<0,34	1,7
	2001	5	<0,2	12	<0,46	<2,0
	2002	3	<0,5 (<0,5-<0,5)	12	<0,29(<0,23-0,89)	<1,6(<1,5 - 3,0)
			Cs-137		**Sr-90**	
Rheinland-Pfalz						
Kernkraftwerk	2000	8	<0,7			
Mülheim-Kärlich	2001	8	<0,5			
	2002	6	<0,3 (<0,1 - <0,6)			
			.			
Kernkraftwerk	2000	a)		a)		
Cattenom	2001	a)		a)		
Frankreich	2002	a)		a)		
Sachsen-Anhalt					**Gesamt-β-Aktivität**	
Endlager	2000	8	<0,4	4	1070	
Morsleben	2001	8	<0,7	4	1180	
	2002	8	<0,5 (0,1 - 1,1)	4	1180 (1000 - 1400)	
Sachsen					**Sr-90**	
Rossendorf	2000	16	6,5			
	2001	4	14,8 (1,1 - 44,0)			
	2002	a)				
Schleswig-Holst.						
GKSS	2000	8	2,8			
Geesthacht	2001	8	2,2			
	2002	4	2,3 (1,6 - 3,4)			
Kernkraftwerk	2000	8	<0,4	a)		
Brunsbüttel	2001	8	<0,3	a)		
	2002	4	<0,4 (<0,3 - 0,6)	a)		
Kernkraftwerk	2000	8	0,5	6	2,7	
Krümmel	2001	9	<0,5	7	2,0	
	2002	4	0,5 (0,4 - 0,9)	3	2,7 (1,7 - 3,3)	
Kernkraftwerk	2000	14	<1,5	a)		
Brokdorf	2001	14	<0,6	a)		
	2002	7	0,9 (0,3 - 2,8)	a)		

a) Messwerte lagen nicht vor ;
b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll
c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt
d) Weicht die Anzahl einzelner Messungen in der letzten Spalte vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt

Tabelle 1.4.2-3 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen
(Radioactive contamination of milk from the close vicinity of nuclear power plants)

Bundesland kerntechnische Anlagen	Jahr	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)
			Sr-90		Cs-137		I-131
Baden-Württemberg							
FZ Karlsruhe	2001	2	0,04	2	<0,04	a)	
	2002	2	<0,03 (<0,006 - 0,05)	2	<0,04 (0,03 - <0,05)	a)	
Kernkraftwerk	2001	4	0,03	4	<0,05	10	<0,007 - <0,013
Obrigheim	2002	4	0,03 (0,02 - 0,05)	4	<0,04 (0,04 - <0,05)	10	<0,009 - <0,010
Kernkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,05	10	<0,008 - <0,012
Neckarwestheim	2002	4	0,03 (0,02 - 0,03)	2	<0,04 (<0,04 - <0,04)	10	<0,008 - <0,012
Kernkraftwerk	2001	4	0,03	4	<0,03	12	<0,005 - <0,011
Philippsburg	2002	4	0,03 (0,02 - 0,04)	3	<0,02 (<0,02 - <0,03)	11	<0,005 - <0,012
Kernkraftwerk	2001	5	0,05	5	<0,05	11	<0,007 - <0,016
Beznau/Leibstadt, Schweiz	2002	2	0,05 (0,04 - 0,07)	a)		6	<0,006 - <0,011
Kernkraftwerk	2001	4	0,03	4	<0,09	8	<0,004 - <0,012
Fessenheim, Frankreich	2002	1	0,02	1	<0,05	1	<0,007
Bayern							
Kernkraftwerk	2001	a)		a)		a)	
Gundremmingen	2002	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	a)		a)		a)	
Isar	2002	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	a)		a)		a)	
Grafenrheinfeld	2002	a)		a)		a)	
Brandenburg							
Kerkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,09	a)	
Rheinsberg	2002	4	0,02 (0,01 - 0,04)	4	<0,10 (<0,08 - <0,12)	a)	
Hessen							
Kernkraftwerk	2001	10	0,03	10	<0,09	25	<0,006 - <0,010
Biblis	2002	a)		a)		a)	
Mecklenburg - Vorpommern							
Kernkraftwerk	2001	6	0,03	6	<0,13	6	<0,09 - <0,14
Greifswald	2002	6	0,02 (0,01 - 0,03)	6	<0,29 (<0,10 - 1,10)	6	<0,11 - <0,12

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlagen	Jahr	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich)
			Sr-90		**Cs-137**		**I-131**
Niedersachsen							
Kernkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,07	12	<0,005 - <0,013
Stade	2002	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,07	12	<0,006 - <0,011
Unterweser	2002	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,07	12	<0,004 - <0,012
Grohnde	2002	a)		a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	4	0,02	4	<0,10	12	<0,005 - <0,015
Emsland	2002	4	0,02 (0,02 - 0,03)	4	<0,09 (0,07 - 0,13)	12	<0,005 - <0,012
Schacht Konrad II b)	2001	a)		6	<0,10		
	2002	a)		a)			
							I - 129 µBq/l
Zwischenlager	2001	12	0,03	24	0,36	2	17
Gorleben	2002	a)		a)		a)	
Nordrhein-Westfalen							**I - 131 Bq/l**
KFA Jülich	2001	2	0,04	2	<0,07	35	< 0,01 - <0,01
	2002	2	0,03 (0,02 - 0,03)	4	<0,06 (<0,03 - <0,09)	41	<0,002 - <0,01
Kernkraftwerk	2001	a)		a)			
Würgassen	2002	a)		a)			
Kernkraftwerk	2001	a)		a)			
Hamm-Uentrop	2002	a)		a)			
			Uran Bq/l		**Fluor mg/l**		
UAG Gronau	2001	12	<0,23	12	<0,42		
	2002	11	<0,23 (<0,23 - <0,23)	11	<0,42 (<0,42 - <0,42)		
			Sr-90		**Cs-137**		**I-131**
Rheinland-Pfalz							
Kernkraftwerk	2001	4	0,04	4	0,03	a)	
Mülheim-Kärlich	2002	4	0,09 (0,02 - 0,23)	4	<0,04 (<0,02 - 0,10)	a)	
Kernkraftwerk	2001	a)		a)		a)	
Cattenom Frankreich	2002	a)		a)		a)	
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	2001	a)		4	<0,13		
	2002	a)		4	<0,18 (<0,10 - <0,30)		
Sachsen							
Rossendorf	2001	2	b) 0,03; 0,03	4	<0,33	2	<0,05 - <0,07
	2002	a)		a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland kerntechnische Anlagen	Jahr	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich) Sr-90	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich) Cs-137	N	Mittelwert in Bq/l (Bereich) I-131
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	2001	4	0,05	4	<0,13	12	<0,006 - <0,009
	2002	2	0,04 (0,04 - 0,05)	2	<0,19 (<0,08 - 0,30)	8	<0,003 - <0,009
Kernkraftwerk	2001	4	0,04	4	0,08	32	<0,007 - <0,01
Brunsbüttel	2002	2	0,04 (0,04 - 0,05)	2	0,08 (0,05 - 0,12)	16	<0,007 - <0,01
Kernkraftwerk	2001	8	0,03	8	0,08	23	<0,008 - <0,01
Krümmel	2002	4	0,03 (0,01 - 0,08)	4	0,16 (0,03 - 0,36)	16	<0,008 - <0,01
Kernkraftwerk	2001	8	0,04	8	<0,07	24	<0,008 - <0,01
Brokdorf	2002	4	0,03 (0,03 - 0,04)	4	<0,06 (<0,03-0,12)	16	<0,008 - <0,01

a) Messwerte lagen nicht vor
b) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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 gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) aus dem Jahr 2002. In die Auswertung wurden insgesamt 3.585 (2001: 2.625) Einzelwerte von 267 (2001: 259) Probenentnahmestellen einbezogen; sie erfolgte entsprechend den Hinweisen in Teil I Abschnitt 3.3.1 dieses Berichts.

Die 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 am Auslaufbauwerk genommen wurden. Die Werte betrugen hier im Mittel bis zu 2.330 Bq/l (Ems, KKW Emsland). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die H-3-Konzentrationen aber wieder zurück (siehe auch Teil I Abschnitt 3.3.1). Die Nuklidgehalte anderer relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l oder waren wegen der Vorbelastung, 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. Dies gilt auch für Iod-131 (I-131), das meist von nuklearmedizinischen Anwendungen stammen dürfte. Einzelne Bestimmungen von Plutonium-238 (Pu-238) und Pu-239/240 an Wasserproben ließen wegen der niedrigen Werte (unter 0,0002 Bq/l) kaum Auswirkungen der jeweiligen Anlage im Vorfluter erkennen (Elbe/KKW Brunsbüttel).

In Sedimentproben aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die mittleren Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. In wenigen direkt an Auslaufbauwerken entnommenen Sedimentproben wurden geringfügig höhere mittlere Gehalte an Kobalt-60 (Co-60) gemessen: bis 16 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 (Ga) bis ca. 560 Bq/kg TM im Mittel im Hirschkanal/Forschungszentrum Karlsruhe gemessen; hier konnte zudem Americium-241 (Am-241) bis 6,4 Bq/kg TM nachgewiesen werden. Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und Pu-239/240 ergaben Gehalte bis höchstens 0,05 bzw. 0,25 Bq/kg TM (Elbe/KKW Brunsbüttel).

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

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in Oberflächenwasser ist aus radiologischer Sicht vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom in der Mosel auf mit Jahresmittelwerten bis ca. 24 Bq/l (siehe Teil I Abschnitt 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. 0,30 µSv/a. Für Kleinkinder (<= 1 a; 340 l/a Konsum) beträgt der entsprechende Wert 0,52 µSv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert von 300 µSv/a nach § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 zu 0,1 bzw. 0,17% ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-60 von 16 Bq/kg TM konnten an Sedimentproben aus der Weser gemessen werden. Für den Fall, dass derartiges Sohlenmaterial gebaggert und an Land gelagert werden würde, lässt sich die auf dem sensitiven Expositionspfad ”Aufenthalt auf Spülfeldern” zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Erwachsene (> 17 a) für Standardbedingungen zu ca. 5 µSv/a abschätzen. Sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 47 StrlSchV von 300 µSv/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 Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	3	3	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	3	3	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	3	3	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	3	3	<0,015	<0,023	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	3	3	<0,018	<0,041	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	3	3	<0,017	<0,027	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	3	3	<0,014	<0,017	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	3	3	<0,015	<0,041	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	3	3	<0,017	<0,023	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	nach KKW Leibstadt	0	0				0,41
	Co-60	vor Aare-Einmündung	2	2	<0,49	<0,58	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	2	2	<0,61	<0,72	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	2	2	<0,42	<0,47	nn	
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	0	4,66	6,59	5,63	9,0
		vor KKW Leibstadt	2	0	7,1	16,5	11,8	7,9
		nach KKW Leibstadt	2	0	5,2	7,42	6,31	7,6
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Weil	9	8	<8,0	<8,0	nn	nn
		Breisach	9	9	<8,0	<10,0	<8,2	nn
	Co-60	Weil	9	9	<0,014	<0,032	nn	nn
		Breisach	9	9	<0,013	<0,034	nn	nn
	Cs-137	Weil	9	8	0,012	<0,026	<0,019	nn
		Breisach	9	9	<0,010	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co 60	Grissheim, km 206,5	a)					nn
		Breisach, km 232,0	a)					nn
	Cs-137	Grissheim, km 206,5	a)					3,9
		Breisach, km 232,0	a)					4,2
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächenwasser (Bq/l)	H-3	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	a)					nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	a)					<26,7
	Co-60	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	a)					nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	a)					nn
	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	a)					nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	a)					nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gα	Hirschkanal	3	0	490	630	563	
	Gβ	Hirschkanal	3	0	1200	1400	1270	1250
	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	a)					8,9
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	a)					6,2
		Hirschkanal	3	0	140	160	153	353
	Pu-238	Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	a)					0,07
	Pu-239/240	Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	a)					0,29
	Am-241	Hirschkanal	3	0	6,0	6,4	6,2	-

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	9	9	<8,0	<8,9	nn	nn
wasser (Bq/l)		am Auslaufbauwerk	9	4	<8,9	130	46,8	<9,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,018	<0,020	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	2	2	<0,014	<0,017	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,012	<0,019	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	2	2	<0,011	<0,015	nn	nn
Sediment	Co-58	vor Auslaufbauwerk	-	0				3,40
(Bq/kg TM)		am Auslaufbauwerk	2	0	1,49	5,0	3,25	4,13
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<1,02	<2,08	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	3	0	4,91	6,15	5,53	7,30
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	12,9	19,2	16,1	16,3
		am Auslaufbauwerk	3	0	12,9	25,1	19,4	20,0
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächen-	H-3	am Auslaufbauwerk	a)					nn
wasser (Bq/l)	Co-60	am Auslaufbauwerk	a)					nn
	Cs-137	am Auslaufbauwerk	a)					nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	a)					nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	a)					nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	a)					6,00
		nach Auslaufbauwerk	a)					13,0
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	3	0	4,5	6,3	5,2	5,8
wasser (Bq/l)		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	3	0	5,6	6,2	5.9	5,9
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	3	3	<0,020	<0,030	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	3	3	<0,020	<0,030	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	3	3	<0,020	<0,020	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	3	3	<0,020	<0,020	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 596,5	2	2	<1,02	<2,08	nn	nn
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2	0	1,1	1,3	1,2	1,35
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 596,5 bzw. 604,5	2	0	12,9	19,2	16,1	13,0
		nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2	0	11,0	13,0	12,0	14,0
NECKAR / KKW Neckarwestheim								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk I und II	2	2	<8,0	<8,0	nn	nn
wasser (Bq/l)		am Auslaufbauwerk I und II	2	0	74,0	90,0	82,0	28,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk I und II	2	2	<0,020	<0,024	nn	nn
		am Auslaufbauwerk I und II	2	2	<0,015	<0,023	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk I und II	2	2	<0,016	<0,021	nn	nn
		am Auslaufbauwerk I und II	2	2	<0,014	<0,019	nn	nn
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,58	<0,62	nn	-
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,54	<0,67	nn	-
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	4,48	6,57	5,48	6,5
		nach Auslaufbauwerk	2	0	5,43	11,4	8,42	5,3
NECKAR / KKW Obrigheim								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	3	3	<8,0	<8,0	nn	<8,5
wasser (Bq/l)		am Auslaufbauwerk	3	0	18,0	35,0	24,0	16,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,017	<0,024	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,016	<0,021	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,017	<0,022	nn	<0,016
		am Auslaufbauwerk	3	3	<0,014	<0,019	nn	nn

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<0,55	<0,65	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,81	<0,84	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	0,42	0,53	0,47	1,06
		nach Auslaufbauwerk	2	0	9,2	10,0	9,6	12,5
MAIN / KKW Grafenrheinfeld								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	a)					
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	a)					
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	a)					
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	a)					
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	a)					
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	a)					
KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächen-	Gα	Ablauf Kläranlage Hanau	a)					0,13
wasser (Bq/l)	Sr-90	Kinzig, Hanau	a)					nn
	Cs-137		a)					nn
	U-234		a)					0,010
	U-235		a)					nn
	U-238		a)					<0,0054
	Pu-238		a)					nn
	Pu-239/240		a)					nn
Sediment (Bq/kg GR) (GR = Glührückstand)	Gα	Kinzig, vor Einleitung	a)					
		Doppelbiergraben	a)					
		Kinzig, nach Einleitung	a)					
		Doppelbiergraben	a)					
		Doppelbiergraben	a)					
	Cs-137	Kinzig, Hanau	a)					4,81
	U-234	Doppelbiergraben	a)					
	U-235		a)					
	U-238		a)					
	Pu-238		a)					
	Pu-239/240		a)					
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächen-wasser (Bq/l)		keine Werte / s. a. Teil I Abschnitt 3.3.1	a)					
Sediment (Bq/kg TM)		keine Werte / s. a. Teil I Abschnitt 3.3.1	a)					
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	a)					
		Staustufe Faimingen, km 2546,0	a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	a)					
		Staustufe Faimingen, km 2546,0	a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	a)					
		Staustufe Famingen, km 2546,0	a)					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	a)					
		Staustufe Faimingen, km 2548,5	a)					

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faiminge, km 2548,5	a) a)					
ISAR / KKW Isar 1 und 2								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a) a)					
	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a) a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a) a)					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a) a)					
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0	a) a)					
ISAR / Forschungsreaktor München								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a) a)					
	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a) a)					
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a) a)					
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a) a)					
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6	a) a)					
EMS / KKW Emsland								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 0	<10,0 130	<10,0 6700	nn 2330	nn 3220
	Co-60	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 4	<0,0065 <0,0071	<0,014 <0,012	nn nn	nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 4	0,0052 <0,0074	<0,012 <0,011	nn nn	nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4 4	4 4	<0,22 <0,66	<0,37 <0,69	nn nn	nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4 4	0 0	6,6 50,0	23 54	13,2 52	12,0 61,0
WESER / KKW Würgassen								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 4	<10,0 <10,0	<10,0 <10,0	nn nn	nn nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 4	<0,050 <0,050	<0,050 <0,050	nn nn	nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4 4	4 4	<0,050 <0,050	<0,050 <0,050	nn nn	nn nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2 am Auslaufbauwerk, km 49,6 Wehrden, km 60,2	2 2 2	2 0 2	<1,30 13 <1,0	<2,10 18 <2,0	nn 16 nn	nn 34,5 nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2 am Auslaufbauwerk, km 49,6 Wehrden, km 60,2	2 2 2	0 0 0	16 20 13	20 32 23	18 26 18	19,0 38,5 13,0

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
WESER / KKW Grohnde								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
wasser (Bq/l)		am Auslaufbauwerk	4	1	<10,0	410	206	74,7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0066	<0,019	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0059	<0,012	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0057	<0,017	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0063	<0,010	nn	nn
Sediment	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,28	<0,59	nn	nn
(Bq/kg TM)		Hameln, km 135	4	4	<0,48	<0,64	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	0	1,5	13	9,1	17,0
		Hameln, km 135	4	0	16	19	18	19,0
UNTERWESER / KKW Unterweser								
Sediment	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	1	<0,23	0,76	0,54	0,92
(Bq/kg TM)		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	0,51	0,77	0,62	0,57
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	0	4,9	11,0	7,5	9,1
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	0	5,6	11,0	8,3	8,6
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächen-	H-3	Selhausen	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
wasser (Bq/l)		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	Co-60	Selhausen	2	2	<2,30	<3,0	nn	nn
(Bq/kg TM)		Jülich-Süd	2	2	<1.40	<4,9	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	0	13	18	16	20,5
		Jülich-Süd	2	0	28	36	32	25,5
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächen-	Gα	Retentionsanlage	4	1	<0,060	0,090	0,076	<0,065
wasser (Bq/l)		unterhalb der Straßenkreuzung	12	12	<0,060	<0,060	nn	nn
Sediment	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<1,30	<2,30	nn	nn
(Bq/kg TM)		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<1,20	<2,20	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2	0	29	61	45	84
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	0	31	34	33	34,0
	Uran	Retentionsanlage	a)					0,79
		unterhalb der Straßenkreuzung	a)					0,92
AHAUSER AA / MOORBACH / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächen-	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
wasser (Bq/l)	Rβ		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	Co-60	Moorbach	4	4	<2,0	<5,0	nn	nn
(Bq/kg TM)		Ahauser Aa	4	4	<2,0	<4,0	nn	nn
	Cs-137	Moorbach	4	0	27	37	34	38,5
		Ahauser Aa	4	0	36	68	54	56,0
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächen-	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
wasser (Bq/l)		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,020	<0,042	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,027	<0,042	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,023	<0,045	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,019	<0,049	nn	nn

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	1	1	<0,87	<0,87	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	1	1	<0,98	<,98	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	1	1	<0,49	<0,49	nn	1,07
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	1	1	<0,73	<0,73	nn	nn
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<6,5	<6,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<6,5	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<0,0072	<0,015	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0070	<0,012	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<0,0080	<0,016	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0079	<0,015	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,8	4	4	<0,82	<1,00	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582,9	4	4	<0,73	<1,00	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,8	4	0				2,28
		nach Auslaufbauwerk, km 582,9	4	0	0,62	1,30	0,85	0,81
ELBE / KKW Brokdorf								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	6	6	<0,78	<1,20	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	6	<0,91	<1,40	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	6	2	<0,81	18,0	6,98	4,20
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	2	<0,92	4,50	2,95	<2,14
ELBE / KKW Stade								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	3	<10,0	18,0	<12,0	<13,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<0,0055	<0,010	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	3	<0,0051	<0,010	<0,0071	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<0,0050	<0,0089	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0099	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,13	<0,41	nn	<0,32
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	4	<0,33	<0,51	nn	0,45
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	0	1,70	13,0	5,13	5,6
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	0	6,40	11,0	9,35	10,5
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Elbe, km 690	4	4	<5,7	<6,1	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	5,7	<6,1	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<5,8	<6,1	nn	nn
	Co-60	Elbe, km 690	4	4	<0,0069	<0,011	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<0,0069	<0,0074	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<0,0074	<0,0079	nn	nn
	Sr-90	Elbe, km 690	4	0	0,0049	0,0052	0,0050	0,0050
		Elbe, km 693	2	0	0,0049	0,0052	0,0051	0,0049
		Elbe, km 698	2	0	0,0051	0,0051	0,0051	0,0050
	Cs-137	Elbe, km 690	4	4	<0,0074	<0,011	nn	<0,0098
		Elbe, km 693	2	2	<0,0080	<0,0081	nn	0,011
		Elbe, km 698	2	2	<0,0084	<0,0089	nn	nn
	Pu-238	Elbe, km 690	1	1	<0,00009	<0,00009	nn	nn
	Pu-239/240	Elbe, km 690	1	1	<0,0001	<0,00001	nn	0,00008

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässer Umweltmedien	Nuklid	Ort, Fluss-km	Aktivitätskonzentration					
			N	<NWG	Einzelwerte 2002		Jahresmittelwerte	
					Min.Wert	Max.Wert	2002	2001
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	4	4	<1,3	<1,4	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<1,2	<1,5	nn	nn
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	4	4	<1,1	<2,0	nn	nn
	Cs-137	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	4	0	0,95	5,80	3,9	2,20
		am Auslaufbauwerk	4	0	4,9	7,0	5,6	4,20
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	4	1	<1,3	10	<4,6	1,60
	Pu-238	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	0	0,0093	0,0093	0,0093	0,0057
		am Auslaufbauwerk	1	0	0,047	0,047	0,047	0,034
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	0	0,0025	0,0025	0,0025	0,019
	Pu-239/240	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	0	0,062	0,062	0,062	0,042
		am Auslaufbauwerk	1	0	0,025	0,025	0,025	0,18
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	0	0,013	0,013	0,013	0,11
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<5,0	<4,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<5,0	<5,6	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0017	<0,0022	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0018	<0,0024	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	0,0080	0,0090	0,0087	0,0077
		nach Auslaufbauwerk	4	0	0,0060	0,010	0,0083	0,0086
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	1	<0,15	0,20	<0,18	0,15
		nach Auslaufbauwerk	2	1	<0,16	0,20	<0,18	0,25
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	0	20	22	21	21,5
		nach Auslaufbauwerk	2	0	2,7	7,7	5,2	6,65
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	3	2,5	4,4	3,3	<3,3
		nach Auslaufbauwerk	12	4	2,7	5,5	3,6	<3,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0043	<0,0071	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	12	12	<0,0062	<0,0078	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	0	0,0052	0,028	0,019	0,023
		nach Auslaufbauwerk	12	0	0,023	0,038	0,028	0,031
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,14	<0,33	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,14	<0,19	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	0	4,96	22,8	12,8	6,70
		nach Auslaufbauwerk	4	0	3,21	8,27	5,38	5,25
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<3,0	<4,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<3,0	<4,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,005	<0,006	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,18	<0,18	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1	0	7,7	7,7	7,7	8,5
ELBE/KALTER BACH/DITTERSBACH / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächen-wasser (Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<5,7	<7,1	nn	nn
		Kalter Bach	4	0	34,0	910	295	36,0
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<5,8	nn	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<5,8	nn	nn	nn
	Co-60	Dittersbach	2	2	<0,0023	<0,0025	n.n	
		Kalter Bach	4	0	0,014	0,043	0,023	0,018
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<0,0025	<0,0028	nn	
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<0,0024	<0,0024	nn	
	Cs-137	Kalter Bach	3	0	0,0046	0,016	0,0091	0,016
	Co -60	Kalter Bach	2	0	2,2	3,5	2,9	1,80
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dittersbach	2	0	3,0	7,2	5,1	9,10
		Kalter Bach	2	0	12,0	13,0	12,5	19,0
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2	0	3,4	4,8	4,2	6,4

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 2002 wurden für 19 kerntechnische Anlagen γ-spektrometrische Messungen (vor allem Cäsium-137) an 82 Fischfleischproben und 8 Wasserpflanzenproben, sowie für 2 Anlagen Strontium-90-Messungen an 15 Fischfleischproben durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 9 Süßwasserfischarten, von Mischungen verschiedener Süßwasserfischarten inkl. “Friedfisch” und “Raubfisch”, 4 marine Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie nicht arten-spezifiziert 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 worden. In Fließgewässern wurde Cäsium-134 im Fisch nicht mehr nachgewiesen. Für die niedrigen Cs-137-Gehalte in Fischen ist 2002 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich ein etwa 10-prozentiger Rückgang zu verzeichnen. Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden. Cs-134 wurden auch in Fischen aus diesen Seen nicht mehr nachgewiesen. 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 2002 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
***(Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2002 -** within the framework of ambient surveillance for nuclear plants)*
Pu-239 steht für die Summe Pu-239 + Pu-240)

Gewässser	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	0,20	0,44	0,34
	KKK Krümmel	Cs-137	4	0	0,21	0,27	0,24
	PKA Gorleben	Cs-137	3	0	0,21	0,53	0,22
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,18	0,68	0,28
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	4	<0,0052	0,055	0,0044
		Cs-137	6	0	0,17	0,83	0,32
	KKB Brunsbüttel	Sr-90	9	9	<0,0091	<0,016	<0,012
		Cs-137	11	0	0,25	0,74	0,31
		Pu-239					
Ems	KKE Emsland	Cs-137	8	0	0,18	1,4	0,55
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-137	4	0	1,3	14	5,8

(Fortsetzung Tabelle)

Gewässser	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Griebnitzsee	HMI Berlin	Cs-137	1	0	1,4	1,4	1,4
Isar	KKI 1/2 Isar		a)				
	FRM		a)				
Main	KKG Grafenrheinfeld		a)				
	VAK Kahl		a)				
Neckar	GKN	I-131	1	1	<0,13	<0,13	<0,13
	Neckarwestheim	Cs-137	3	0	0,094	0,20	0,15
	KWO Obrigheim	Cs-137	4	3	<0,10	0,13	<,07
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	1	0	0,20	0,20	0,20
	Biblis		a)				
	Fessenheim (Frankreich)		a)				
	KKP Philippsburg	Cs-137	2	0	0,11	0,15	0,13
	Mülheim-Kärlich	Cs-137	2	0	0,16	0,16	0,16
Rheinniede-rungskanal	FZK Karlsruhe		a)				
Rur	FZ Jülich	Cs-137	3	0	0,24	0,55	0,28
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-137	5	0	7,1	47	40
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	3	0	7,5	11	11
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,044	0,083	0,059
	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,13	0,41	0,22
Wasserpflanzen (Bq/kg TM)							
Ahauser Aa	Ahaus	I-131	1	0	8,4	8,4	8,4
		Cs-137	1	0	0,25	0,25	0,25
Moorbach	Ahaus	Cs-137	1	0	0,19	0,19	0,19
Isar	FRM Garching		a)				
	KKI 1/2 Isar		a)				
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Sr-90	6	0	0,41	3,6	2,3
		Cs-137	6	0	1,6	25	7,2

a) Daten lagen nicht vor

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

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischen Anlagen sind im Jahr 2002 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1.4.5-1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze, der Minimal- und der Maximalwert sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 128 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

Für Cäsium-137 liegen 4 Messwerte zwischen 0,29 mBq/l und 8,3 mBq/l. Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 23 mBq/l (2001: < 25 mBq/l).

Die Werte für die Strontium-90-Aktivitätskonzentrationen (57% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 0,89 mBq/l und 12 mBq/l (2001: 0,90 bis 6,1 mBq/l). Der Median liegt bei 3,4 mBq/l (2001: < 1,6 mBq/l).

Die berichtete Gesamt-α-Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,024 Bq/l und 0,22 Bq/l (2001: 0,034 bis 4,4 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von 0,061 Bq/l (2001: 0,16 Bq/l).

Die Rest-β-Aktivitätskonzentration wurde in 12 Proben gemessen. Alle Werte lagen unterhalb der gefundenen Nachweisgrenzen (2001: alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze). Der Median aller Werte beträgt < 0,10 Bq/l (2001: < 0,10 Bq/l).

In 23% der untersuchten Wasserproben wurde Tritium im Konzentrationsbereich von 0,51 Bq/l bis 280 Bq/l nachgewiesen (2001: 0,46 Bq/l bis 410 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei < 9,0 Bq/l (2001: < 9,7 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 280 Bq/l (2001: 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 Kobalt-60-Kontaminationen von bis zu 0,32 Bq/l (2001: 0,44 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten Tritium- und Co-60-Werte im Grundwasser sind auf eine Kontamination des Untergrundes auf dem Betriebsgelände infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes weisen Tritium-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5,0 Bq/l auf.

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

Trinkwasser

Im Jahr 2002 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen Messwerte von 14 Reinwasser- und 18 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für Cäsium-137 wurde kein Messwert oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,086 mBq/l bis 60 mBq/l (2001: 0,35 mBq/l bis 60 mBq/l) ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei < 16 mBq/l (2001: < 20 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für Strontium-90 liegen zwischen 0,31 mBq/l und 5,4 mBq/l (2001: 0,33 bis 13 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 3,0 mBq/l (2001: 2,5 mBq/l).

Die Gesamt-α-Aktivität ist natürlichen Ursprungs. Der Messwert liegt bei 65 mBq/l (2001: 34 mBq/l bis 100 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte lag 2001 bei 73 mBq/l.

In 26 Proben (von 77 gemessenen Proben) wurde Tritium in Konzentrationen zwischen 0,79 Bq/l und 78 Bq/l (2001: 0,82 bis 78 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei < 5,8 Bq/l (2001: < 8,0 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 2002
(Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in 2002 -
groundwater and drinking water)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt b)	Anzahl <NWG	Minimal-wert a)	Maximal-wert a)	Mittel-werte a)	Mediane
Grundwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	126	60	0,011	1,2	0,3	0,36
	Co-60	326	309	0,013	0,32		<0,034
	Cs-137	228	224	0,00029	0,0083		<0,023
	H-3	315	242	0,51	280		<9,0
	Sr-90	39	17	0,00089	0,012	0,0042	<0,0034
	R-Beta	12	12				<0,1
	G-Alpha	27	12	0,024	0,22	0,073	0,061
Trinkwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	56	40	0,026	0,41		<0,33
	Co-60	70	70				<0,015
	Cs-137	71	71				<0,013
	H-3	77	51	0,79	78		<5,8
	Sr-90	26	17	0,00031	0,0054	0,065	0,003
	G-Alpha	1	0	0,065	0,065		0,065

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

b) Gemäß REI-Messprogramm ist bei der γ-Spektrometrie die Einhaltung der Nachweisgrenze nur für das Radionuklid Co-60 vorgeschrieben, d.h. für andere γ-strahlende Radionuklide müssen die Nachweisgrenzen von der Messstelle nicht angegeben werden. Da nicht alle Messstellen die Nachweisgrenzen für Cs-137 und K-40 mitteilen, 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 Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)
Baden-Württemberg			**Cs-137**		**Sr-90**
FZ Karlsruhe	2000	19	<0,07	4	0,20
	2001	19	<0,06	6	0,10
	2002	11	<0,04 (<0,02 - 0,06)	5	<0,11(<0,02 - 0,26)
Kernkraftwerk	2000	17	<0,13	9	0,16
Obrigheim	2001	19	<0,07	8	0,12
	2002	17	<0,07 (<0,04 - <0,11)	12	0,09 (0,01 - 0,19)
Kernkraftwerk	2000	15	<0,13	10	0,12
Neckarwestheim	2001	19	<0,08	11	0,13
	2002	18	<0,09 (<0,04 - 0,52)	12	0,11 (0,02 - 0,23)
Kernkraftwerk	2000	8	<0,07	5	0,08
Philippsburg	2001	9	<0,06	5	0,11
	2002	3	<0,06 (<0,04 - <0,10)	2	0,14(0,11 - 0,17)
Kernkraftwerk	2000	12	<0,14	9	0,35
Beznau/Leibstadt	2001	16	<0,07	7	0,16
Schweiz	2002	8	<0,07 (<0,03 - <0,11)	7	0,25 (0,07 - 0,64)
Kernkraftwerk	2000	13	<0,14	6	0,16
Fessenheim	2001	15	<0,09	7	0,12
Frankreich	2002	8	<0,09 (<0,06 -<0,16)	2	0,31 (0,30 - 0,32)
Bayern					
Kernkraftwerk	2000	2	<0,23	2	0,12
Gundremmingen	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)	
			Cs-137		**Sr-90**	
Kernkraftwerk	2000	1	<0,2	1	0,19	
Isar	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	2	<0,1	2	0,10	
Grafenrheinfeld	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Berlin						
Forschungsreaktor	2000	6	<0,09	3	0,17	
BER II	2001	12	<0,17	4	0,43	
	2002	14	<0,20 (<0,03 - 1,20)	5	0,23 (0,08 - 0,64)	
Brandenburg						
Kernkraftwerk	2000	8	<0,11	8	0,12	
Rheinsberg	2001	11	<0,13	11	0,24	
	2002	11	<0,13 (<0,08 - <0,19)	11	0,32 (0,04 - 1,10)	
Hessen						
Kernkraftwerk	2000	10	<0,04	10	0,08	
Biblis	2001	9	<0,09	9	0,09	
	2002	a)		a)		
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		**Pu-238 Bq/kg Asche**	**Pu-239/240 Bq/kg Asche**
Nuklearbetriebe	2000			1	<0,04	<0,04
Hanau	2001			1	<0,05	0,12
	2002			a)		
			Cs-137		**Sr-90**	
Mecklenburg-Vorp.						
Kernkraftwerk	2000	9	<0,08	9	0,25	
Greifswald	2001	5	<0,06	5	0,27	
	2002	7	<0,09 (<0,05 - 0,14)	6	0,20 (0,16 - 0,26)	
Niedersachsen						
Kernkraftwerk	2000	7	<0,08	6	0,14	
Emsland	2001	7	<0,10	7	0,14	
	2002	7	<0,11(<0,07 - 0,19)	7	0,28 (0,06 - 0,91)	
Kernkraftwerk	2000	a)		a)		
Grohnde	2001	6	<0,08	5	0,20	
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	5	<0,09	5	0,19	
Stade	2001	6	<0,07	6	0,10	
	2002	a)		a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)	
			Cs-137		**Sr-90**	
Kernkraftwerk	2000	2	<0,07	2	0,08	
Unterweser	2001	4	<0,08	4	0,10	
	2002	a)		a)		
Schacht Konrad II c)	2000	1	<0,07	1	0,18	
	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Nordrhein-Westfalen						
KFA Jülich	2000	3	<0,08	3	0,25	
	2001	a)		5	<0,34	
	2002	5	<0,20 (<0,15 - <0,32)	5	0,20 (0,14 – 0,27)	
			Fluor (mg/kg TM)		**Uran (Bq/kg TM)**	**U-238 (Bq/kg TM)**
UAG Gronau	2000	2	3,3	2	0,64	<0,5
	2001	6	<2,6	6	<0,46	b)<0,5; <0,5 (N=2)
	2002	2	2,9 (1,5 - 4,2)	2	0,30 (0,23 -0,38)	
			Cs-137		**Sr-90**	
Rheinland-Pfalz						
Kernkraftwerk	2000	1	<0,04			
Mülheim-Kärlich	2001	a)				
	2002	a)				
Sachsen						
Rossendorf	2000	5	<0,10	a)		
	2001	1	<0,09	1	0,19	
	2002	a)		a)		
Sachsen-Anhalt						
Endlager Morsleben	2000	2	<0,15	1	0,16	
	2001	2	<0,21	1	0,36	
	2002	2	<0,14 (<0,08 - <0,19)	1	0,13	
Schleswig-Holstein						
GKSS	2001	1	<0,09	1	0,13	
Geesthacht	2002	1	<0,14	1	0,11	
Kernkraftwerk	2000	1	0,06	1	0,10	
Krümmel	2001	2	<0,08	2	0,10	
	2002	1	0,07	1	0,14	

a) Daten lagen nicht vor
b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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 Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)
Baden-Württemberg			**Cs-137**		**Sr-90**
FZ Karlsruhe	2000	9	<0,11	3	0,36
	2001	8	<0,09	3	0,46
	2002	9	<0,08 (<0,05 - 0,14)	1	0,22
Kernkraftwerk	2000	6	<0,14	3	0,12
Obrigheim	2001	6	<0,07	3	0,13
	2002	3	<0,07 (<0,06 - <0,08)	a)	
Kernkraftwerk	2000	6	<0,14	3	0,14
Neckarwestheim	2001	6	<0,08	3	0,12
	2002	3	<0,07 (<0,06 - <0,09)	a)	
Kernkraftwerk	2000	4	<0,11	a)	
Philippsburg	2001	2	<0,07	a)	
	2002	4	<0,08 (<0,05 - <0,10)	1	0,07
Kernkraftwerk	2000	5	<0,13	3	0,29
Beznau/Leibstadt	2001	5	<0,09	5	0,25
Schweiz	2002	2	<0,07 (<0,06 - <0,08)	2	0,19 (0,17 - 0,20)
Kernkraftwerk	2000	4	<0,17	3	0,18
Fessenheim	2001	3	<0,10	2	0,20
Frankreich	2002	3	<0,06 (0,04 - 0,07)	2	0,14 (0,12 - 0,15)
Bayern					
Kernkraftwerk	2000	8	<0,21	8	0,15
Gundremmingen	2001	a)	a)	a)	
	2002	a)	a)	a)	
Kernkraftwerk	2000	5	<0,23	5	0,15
Isar	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
Kernkraftwerk	2000	2	<0,10	2	0,11
Grafenrheinfeld	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
			Gesamt-α-Aktivität		**Sr-90**
SBWK	2000	a)		a)	
Karlstein	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)	
Berlin			**Cs-137**		**Sr-90**	
Forschungsreaktor	2000	a)				
BERII	2001	a)				
	2002	a)				
Hessen						
Kernkraftwerk	2000	9	<0,05	8	0,22	
Biblis	2001	9	<0,16	9	0,08	
	2002	a)		a)		
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		**Pu-238 Bq/kg Asche**	**Pu-239/240 Bq/kgAsche**
Nuklearbetriebe	2000			1	<0,03	<0,02
Hanau	2001			1	<0,05	<0,04
	2002			a)		
			Cs-137		**Sr-90**	
Mecklenburg-Vorp.						
Kernkraftwerk	2000	5	<0,14	5	0,16	
Greifswald	2001	6	<0,15	6	0,40	
	2002	8	<0,13 (<0,10 - <0,17)	4	0,40 (0,28 - 0,51)	
Niedersachsen						
Kernkraftwerk	2000	2	<0,10	1	0,58	
Emsland	2001	1	0,69	1	0,16	
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	7	<0,09	6	0,16	
Grohnde	2001	1	0,94	1	0,39	
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	1	<0,07	1	<0,13	
Stade	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	2	<0,10	2	<0,10	
Unterweser	2001	1	<0,15	1	0,31	
	2002	a)		a)		
Schacht Konrad II c)	2000	5	<0,16	4	0,19	
	2001	6	<0,11	2	0,32	
	2002	a)		a)		
Nordrhein-Westfalen						
Zwischenlager Ahaus	2000	1	<0,25	1	0,93	
	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)	
			Cs-137		**Sr-90**	
KFA Jülich	2000	a)		a)		
	2001	a)		a)		
	2002	4	<0,22 (<0,12 - <0,31)	4	0,14 (0,03 - 0,22)	
			Fluor (mg/kg TM)		**Uran (Bq/kg TM)**	**U-238 (Bq/kg TM)**
UAG Gronau	2000	18	<1,22	18	<0,23	<0,5 N=4
	2001	22	<1,44	22	<0,23	<0,5 N=4
	2002	18	<1,5(<1,5-<1,5)	18	<0,30 (<0,23-0,74)	
			Cs-137		**Sr-90**	
Rheinland-Pfalz						
Kernkraftwerk	2000	a)		a)		
Mülheim-Kärlich	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Sachsen-Anhalt						
Endlager Morsleben	2000	4	<0,16	2	0,15	
	2001	3	<0,17	1	0,07	
	2002	5	<0,16 (<0,11 - <0,21)	1	0,06	
Schleswig-Holstein						
GKSS	2000	1	0,18	1	0,45	
Geesthacht	2001	1	<0,17	1	0,24	
	2002	1	<0,11	1	0,27	
Kernkraftwerk	2000	2	<0,13	2	0,09	
Brunsbüttel	2001	2	<0,13	2	0,10	
	2002	2	<0,09 (<0,08 - <0,10)	2	0,06 (0,06 - 0,06)	
Kernkraftwerk	2000	2	<0,07	2	0,30	
Krümmel	2001	2	<0,09	2	0,29	
	2002	2	<0,06 (<0,02 - <0,09)	2	0,18 (0,17 - 0,18)	

a) Daten lagen nicht vor
b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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 Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)
Baden-Württemberg			**Cs - 137**		**Sr - 90**
FZ Karlsruhe	2000	7	<0,08	2	0,76
	2001	2	0,02		
	2002	5	<0,02 (<0,01 - <0,05)	2	0,15 (0,01 - 0,28)
Kernkraftwerk	2000	8	<0,13	3	0,13
Obrigheim	2001	a)		a)	
	2002	5	<0,06 (<0,04 - <0,07)	2	0,13 (0,08 – 0,17)
Kernkraftwerk	2000	6	<0,11	3	0,32
Neckarwestheim	2001	a)		a)	
	2002	3	<0,06 (<0,03 - <0,08)	a)	
Kernkraftwerk	2000	6	<0,09	3	0,08
Philippsburg	2001	4	<0,03	2	0,72
	2002	5	<0,06 (<0,04 - <0,11)	3	0,19 (0,13 - 0,23)
Kernkraftwerk	2000	8	<0,10	a)	
Beznau/Leibstadt	2001	1	<0,10		
	2002	4	<0,05 (<0,04 - <0,06)		
Kernkraftwerk	2000	3	<0,15	1	0,02
Fessenheim	2001	a)		a)	
Frankreich	2002	3	<1,06 (<0,06 - 3,04)	a)	
Bayern					
Kernkraftwerk	2000	2	<0,2	2	0,17
Gundremmingen	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
Kernkraftwerk	2000	2	<0,15	2	0,05
Grafenrheinfeld	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor	2000	8	<0,09	9	<0,06
BER II	2001	9	<0,10	5	0,11
	2002	7	<0,13 (<0,06 - 0,46)	6	0,07 (0,05 - 0,10)
Brandenburg					
Kernkraftwerk	2000	1	<0,12	1	0,10
Rheinsberg	2001	1	<0,12	1	0,07
	2002	1	<0,14	1	0,15

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)	
Hessen			**Cs-137**		**Sr-90**	
Kernkraftwerk	2000	6	<0,11	6	0,02	
Biblis	2001	7	<0,03	7	0,02	
	2002	a)		a)		
Mecklenburg-Vorp.						
Kernkraftwerk	2000	15	<0,06	13	0,06	
Greifswald	2001	15	<0,16	14	0,12	
	2002	15	<0,14 (<0,05 - 0,71)	10	<0,15 (0,02 - 0,74)	
Niedersachsen						
Kernkraftwerk	2000	a)		a)		
Emsland	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	1	<0,06	1	0,04	
Grohnde	2001	2	<0,032	1	0,04	
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	2	<0,09	1	0,03	
Stade	2001	5	<0,04	1	0,03	
	2002	a)		a)		
Kernkraftwerk	2000	1	<0,04	1	0,05	
Unterweser	2001	2	<0,06	2	0,05	
	2002	a)		a)		
Schacht Konrad II c)	2000	1	<0,05	1	0,05	
	2001	3	<0,09	2	0,02	
	2002	a)		a)		
Nordrhein-Westfalen						
KFA Jülich	2000	4	<0,10	4	0,36	
	2001	a)		a)		
	2002	a)		a)		
			Fluor (mg/kgTM)		**Uran (Bq/kgTM)**	**U–238 (Bq/kgTM)**
UAG Gronau	2000	2	2,20	2	<0,23	<0,5 N=4
	2001	4	<1,50	4	<0,23	<0,5 N=4
	2002	a)		a)		
			Cs-137		**Sr-90**	
Rheinland-Pfalz						
Kernkraftwerk	2000	8	<0,02	8	0,02	
Mülheim-Kärlich	2001	8	<0,03	8	0,03	
	2002	a)		a)		

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich) b)
Sachsen			**Cs-137**		**Sr-90**
Rossendorf	2000	2	<0,11	1	0,01
	2001	1	<0,09	1	0,03
	2002	a)		a)	
Sachsen-Anhalt					
EndlagerMorsleben	2000	4	<0,12	2	<0,05
	2001	4	<0,12	2	<0,04
	2002	5	<0,15 (<0,11 - <0,19)	3	<0,05 (<0,04 - 0,05)
Schleswig-Holstein					
Kernkraftwerk	2000	3	<0,04	3	0,07
Krümmel	2001	3	<0,03	2	0,05
	2002	a)		a)	

a) Daten lagen nicht vor
b) Weicht die Anzahl einzelner Messungen vom angegebenen N ab, ist sie getrennt aufgeführt
c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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 Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg			**Cs-137**		**Sr-90**
FZ Karlsruhe	2000	3	<0,03	3	<0,07
	2001	2	<0,03	a)	
	2002	4	<0,05 (<0,03 - 0,07)	1	0,01
Kernkraftwerk	2000	3	<0,13	3	0,03
Obrigheim	2001	a)		a)	
	2002	1	<0,07	1	0,02
Kernkraftwerk	2000	3	<0,13	3	0,03
Neckarwestheim	2001	a)		a)	
	2002	3	<0,06 (<0,05 - <0,06)	3	0,03 (0,02 - 0,04)
Kernkraftwerk	2000	a)		a)	
Philippsburg	2001	1	<0,05	1	0,02
	2002	1	<0,03	1	0,03
Kernkraftwerk	2000	4	<0,09	4	0,05
Beznau/Leibstadt	2001	a)		a)	
Schweiz	2002	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Bayern			**Cs-137**		**Sr-90**
Kernkraftwerk	2000	2	<0,08	2	0,06
Fessenheim	2001	a)		a)	
Frankreich	2002	1	<0,08	1	0,04
Kernkraftwerk	2000	5	<0,25	5	0,13
Gundremmingen	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
Berlin					
Forschungsreaktor	2000	1	0,08	1	0,02
BER II	2001	2	<0,07	1	0,17
	2002	1	0,19	a)	
Brandenburg					
Kernkraftwerk	2000	a)		a)	
Rheinsberg	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	
Hessen					
Kernkraftwerk	2000	4	<0,04	4	0,05
Biblis	2001	4	<0,04	4	0,03
	2002	a)		a)	
Mecklenburg-Vorp.					
Kernkraftwerk	2000	2	<0,12	2	0,02
Greifswald	2001	2	<0,09	2	0,01
	2002	2	<0,07 (0,06 - <0,09)	1	0,02
Niedersachsen					
Kernkraftwerk	2001	1	0,08	1	0,05
Grohnde	2002	a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	1	<0,08	1	0,07
Unterweser	2002	a)		a)	
Kernkraftwerk	2001	1	0,07	1	0,05
Stade	2002	a)		a)	
Kernkraftwerk	2002	1	0,2	1	0,03
Emsland					
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	2000	2	<0,01	2	0,03
	2001	a)		a)	
	2002	a)		a)	

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland Kerntechnische Anlagen	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Rheinland-Pfalz					
Kernkraftwerk	2000	a)		a)	
Mülheim-Kärlich	2001	1	0,04	1	0,04
	2002	a)		a)	

a) Daten lagen nicht vor

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

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

Die für das Jahr 2002 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 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen" durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1.5-1 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 2002 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe >17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe >1 bis $\leq$2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Tabelle 1.5-1 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 6 µSv (2% des Grenzwertes nach Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 10 µSv (rund 3% des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Obrigheim. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 9 µSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Obrigheim.

In Tabelle 1.5-2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Atomkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,8 µSv für Kleinkinder (entsprechend ca. 0,3 % 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 1,8 µSv für Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personenpruppen 0,3 µSv bzw. 0,5 µSv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,2 µSv bzw. 0,4 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 2002 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2002 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air, expressed in microsievert)

Kernkraftwerk	Oberer Wert a)		
	der effektiven Dosis		der Schilddrüsendosis für Kleinkinder (µSv)
	für Erwachsene (µSv)	für Kleinkinder (µSv)	
Kahl	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rheinsberg b)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lingen	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Obrigheim	6	10	9
Stade	0,2	0,4	0,4
Würgassen	0,2	0,3	0,3
Greifswald b)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Biblis A, B	0,4	0,8	0,7
Neckar 1, 2	1	2	2
Brunsbüttel	0,6	1	1
Isar 1, 2	4	7	6
Unterweser	0,3	0,5	0,5
Philippsburg 1, 2	4	7	7
Grafenrheinfeld	0,8	1	1
Krümmel	0,4	1	3
Gundremmingen A, B, C	4	7	7
Grohnde	0,4	0,6	0,6
Hamm-Uentrop	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	0,4	0,6	0,6
Emsland	0,4	0,7	0,6

a) berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen 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 2002 in der Umgebung von Atomkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2002 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene µSv	Oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder µSv
Kahl	< 0,1	< 0,1
Gundremmingen A, B und C	0,4	0,4
Obrigheim	0,2	0,3
Stade	< 0,1	< 0,1
Würgassen	< 0,1	< 0,1
Biblis A und B	0,1	0,4
Neckar 1 und 2	0,6	1,1
Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1
Isar 1 und 2	0,2	0,4
Unterweser	0,1	0,1
Philippsburg 1 und 2	0,1	0,2
Grafenrheinfeld	0,4	0,6
Krümmel	< 0,1	< 0,1
Grohnde	0,2	0,4
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	0,1
Emsland	0,5	0,8
Rheinsberg *)	0,1	0,2
Greifswald *)	< 0,1	< 0,1

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

Die in Tabelle 1.5-3 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 2002 als höchsten Wert 17 µSv (rund 6% des Grenzwertes) für Erwachsene und 25 µSv (rund 8% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 23 µSv (rund 3% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren infolge der jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf, Geesthacht und Jülich sind die oberen Werte für die effektive Dosis im Jahr 2002 in Tabelle 1.5-4 aufgeführt. Der höchste Wert der effektiven Dosis für Erwachsene wurde mit 13 µSv beim Forschungszentrum Rossendorf berechnet.

Tabelle 1.5-3 Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2002 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	2,2
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	17	25	23
Forschungszentrum Rossendorf (FZR)	0,5	0,8	0,8
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,2	0,3	0,3
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,2	0,3	0,5

*) Entnommen den Jahresberichten 2002 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

Tabelle 1.5-4 Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser *)
(Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2002 due to the discharge of radioactive substances with waste water

Forschungseinrichtung	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene (µSv)
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	0,000015
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	0,8
Forschungszentrum Rossendorf	13
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	< 100

*) Entnommen den Jahresberichten 2002 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich und Rossendorf

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in Tabelle 1.5-5 die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft angegeben. Die höchsten Werte der Strahlenexposition einer Referenzperson ergeben sich beim Betrieb NUKEM infolge von Abrissarbeiten, die im Vergleich zum Vorjahr zu höheren Emissionen führten. Der berechnete Wert der effektiven Dosis für Erwachsene beträgt 1 µSv (rund 0,3% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 3 µSv (1% des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder errechnet sich zu 70 µSv (rund 4% des Grenzwertes).

Tabelle 1.5-5 Strahlenexposition im Jahr 2002 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 2002 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air)

Betrieb	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (µSv)		der Knochenoberfläche (µSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	1	3	70
SIEMENS AG			
Brennelementewerk Hanau			
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,2
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	0,1

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

Tabelle 1.5-6 Strahlenexposition im Jahr 2002 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 2002 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 2002 0,2 µSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,6 µSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 1,9 µSv; dies sind ca. 0,1%, 0,2% bzw. 0,6% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Dosis des kritischen Organs (rotes Knochenmark) errechnete sich zu 0,4 µSv für Erwachsene, 1,7 µSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 - 2 Jahre) und 5,9 µSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,6% bzw. 2,0% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2002 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 1.5-7 Strahlenexposition im Jahr 2002 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 2002 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Abluft Oberer Wert (µSv)		Abwasser Oberer Wert der eff. Dosis (µSv)
	der effektiven Dosis	der Organdosis	
Erwachsene	0,2	0,4	< 0,1
Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre)	0,6	1,7	< 0,1
Mit Muttermilch ernährte Säuglinge	1,9	5,9	< 0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Teil II 1.1, Tabelle 1.1-4) führte 2002 bei Berechnung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV für eine Referenzperson auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 20 µSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte von 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 2002 in Milch nicht nachgewiesen.

Bewertung

Die für 2002 aus den Jahresableitungen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen 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 2002 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

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

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

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

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

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

In der übertägigen Sanierungstätigkeit konzentrierte sich die Wismut GmbH auch im Jahre 2002 auf die Haldenumlagerung in den ehemaligen Tagebau Lichtenberg, auf die Haldensanierung (z. B. Weiterführung der Arbeiten an der Halde Beerwalde in der NL Ronneburg und an der Halde 38neu/208, 366, 66/207, 382 und der Hammerberghalde in der NL Aue), auf den Abbruch von Gebäuden, die Demontage von Anlagen und auf die Sanierung von kontaminierten Betriebsflächen. Die Verwahrung ehemaliger industrieller Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Zwischenabdeckung, Konturierung, subaquatische Arbeiten) wurden kontinuierlich fortgeführt. Bei der Sanierung der Absetzanlagen wurden seit Sanierungsbeginn ca. 462 Hektar freigefallene Spülstrände mit einer Zwischenabdeckung versehen. Im Vorfeld dieser Arbeiten wurden im Jahr 2002 3,7 Mio. m^3 Freiwasser entfernt, behandelt und in die jeweiligen Vorfluter abgegeben.

Nachdem die untertägigen Sanierungsarbeiten in Thüringen bereits im Jahre 2000 weitestgehend beendet waren, wurde die Flutung der Grubenfelder auch 2002 fortgesetzt. Um in das Flutungsgeschehen kontrolliert eingreifen zu können, wurde 2002 eine Wasserbehandlungsanlage für Flutungswässer am Standort Ronneburg in Betrieb genommen. Der derzeitige Flutungsstand des Grubenwassers erlaubt eine vorübergehende Außerbetriebnahme dieser Wasserbehandlungsanlage. In der westsächsischen Grube Aue/Schlema, in der die Flutung bereits 1991 eingeleitet wurde, waren Ende 2002 rund 33,2 Mio. m^3 Grubenhohlraum geflutet. Nachdem im ostsächsischen Bergbaugebiet bei Königstein 2001 mit der Flutung der Grube begonnen wurde, erfolgte 2002 die planmäßige Fortsetzung. Nach Fertigstellung der Sanierungsarbeiten am Schurfschacht 60 konnte die etappenweise Flutung der Grube Dresden - Gittersee fortgeführt werden.

Durch das Starkniederschlagsereignis am 12./13. August 2002 kam es im Zusammenhang mit der Sanierung zu keinen relevanten Umweltbelastungen. Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen wurden durch dieses Ereignis nicht beeinträchtigt.

Bezogen auf den Gesamtumfang der Sanierungsarbeiten sind mit den im Jahr 2002 erreichten Fortschritten nunmehr:

98% der Grubenbaue abgeworfen,
97% der Schächte und Tagesöffnungen verwahrt,
93% der tagesnahen Grubenbaue verfüllt,
92% der Anlagen/Gebäude abgebrochen,
67% der Halden abgelagert/umgelagert,
51% der Halden abgedeckt,
69% des Tagebaus Lichtenberg verfüllt,
70% der Absetzanlagen zwischenabgedeckt,
41% 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 Mengen als auch bezüglich der einzuhaltenden 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 hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgabe dieses Monitorings ist sowohl die Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadenskundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.

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

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

Bei den Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und der Abluft wurden die Genehmigungswerte auch 2002 nicht überschritten. In Tabelle 2.2-1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 2002 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Vergleich mit den Vorjahren haben sich die Ableitungen mit Abwetter- bzw. Abluft weiter verringert.

Tabelle 2.2-1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft in die Atmosphäre 2002
(Messwerte der Wismut GmbH)
(Discharge of radioactive substances into the atmosphere with exhaust air 2002 - *Values measured by the Wismut GmbH)*

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen in $10^9 m^3/a$ *)		Ableitung radioaktiver Stoffe			
				Rn-222 in TBq/a *)		Langlebige α-Strahler in MBq/a *)	
Schlema/Alberoda	1	1,6	(-)	120	(130)	3,4	(10)
Pöhla	2	0,438	(-)	0,3	(0,8)	0,5	(1,0)
Dresden-Gittersee	1	0,13	(-)	0,21	(1,6)	a)	(1,6)
Königstein	8	9,6	(-)	140	(315)	10	(88,5)

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

*) Genehmigungswerte in Klammern

Die im Jahr 2002 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2.2-2 zusammengestellt. Die Jahresgenehmigungswerte wurden ausnahmslos eingehalten.

Tabelle 2.2-2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2002
(Messwerte der Wismut GmbH)
***(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the year 2002 -** Values measured by the Wismut GmbH)*

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge in $10^6 m^3/a$ *)		Ableitung radioaktiver Stoffe Uran in t/a *)		Ra-226 in GBq/a *)	
Einleitung in Zwickauer Mulde,	10,898	(-)	3,7916	(5,315)	0,312	(3,833)
davon: Schlema/Alberoda	9,274	(-)	3,726	(5,14)	0,261	(3,570)
Crossen	1,399	(-)	0,062	(-)	0,035	(-)
Pöhla	0,225	(-)	0,0036	(0,175)	0,016	(0,263)
Einleitung in Elbe,	3,313	(5,957)	0,335	(1,708)	0,423	(2,278)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	3,313	(5,957)	0,335	(1,708)	0,423	(2,278)
Einleitung in Pleiße	0,325	(0,45)	0,0307	(0,195)	0,0081	(0,076)
Ronneburg	0,325	(0,45)	0,0307	(0,195)	0,0081	(0,076)
Einleitung in Weiße Elster,	3,868	(5,522)	0,3037	(1,175)	0,0365	(0,834)
davon: Ronneburg	1,535	(0,753/ 2,822) [a)]	0,0233	(0,376)	0,0327	(0,301)
Seelingstädt	2,333	(2,7)	0,2804	(0,799)	0,0038	(0,533)

a) Der erste Wert in der Klammer ist der genehmigte Entnahmewert für die Grundwasserbehandlung, für den die angeführten Lasten gelten. Vor Abgabe des behandelten Grundwassers wird Wasser aus der Weißen Elster zugegeben, um die Konzentration von Sulfat in der Wipse zu reduzieren. Als insgesamt abgebbare Wassermenge wurde der zweite Wert in der Klammer festgelegt.

*) Genehmigungswerte in Klammern

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 in der bodennahen Atmosphäre betrieben. Die Messnetze gewährleisten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen; sie dienen auch zur Erfassung der aus Freisetzungen resultierenden Umweltkontamination und zur Kontrolle der Auswirkungen der Sanierungsarbeiten.

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

Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrate (1 Bq Rn-222/$m^2 \cdot$ sec pro Bq Ra-226/g Material) ergibt sich eine theoretisch mögliche Radonfreisetzung von ca. $2 \cdot 10^{15}$ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde; die tatsächliche Freigabe ist infolge der bereits abgeschlossenen Maßnahmen geringer.

Die Langzeitmessungen zur Überwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Atmosphäre wurden in den Bergbaugebieten auch im Jahr 2002 fortgeführt. In Tabelle 2.3.1-1 sind die Ergebnisse der von

der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die hier aufgeführten teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich einige Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen befinden.

Tabelle 2.3.1-1 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich beeinflussten Messstellen (Winter 2001/02 und Sommer 2002; Messwerte der Wismut GmbH)

(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations influenced by mining activities - *Winter 2001/02 and summer 2002; Values measured by the Wismut GmbH)*

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Werten			Maximalwert
		≤ 30 Bq/m³	31 - 80 Bq/m³	> 80 Bq/m³	in Bq/m³
Winter 2001/2002					
Schlema/Alberoda	68	19	44	5	220
Pöhla	17	16	1	0	59
Seelingstädt	25	23	2	0	36
Crossen	35	17	18	0	64
Königstein	16	15	1	0	60
Gittersee	20	17	3	0	41
Ronneburg	47	43	4	0	35
Sommer 2002					
Schlema/Alberoda	68	23	40	5	1000
Pöhla	17	13	3	1	180
Seelingstädt	25	16	9	0	69
Crossen	36	9	26	1	89
Königstein	16	13	3	0	77
Gittersee	20	16	4	0	73
Ronneburg	47	38	9	0	47

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.

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[1]. 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) auch natürlicherweise über dem Landesdurchschnitt liegende Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft zu erwarten. Die in den Gebieten

1. Das Messnetz des BfS wurde 2001 optimiert: In Messgebieten, in denen langjährig durchgehend geringe Werte der Radonkonzentration ermittelt wurden, erfolgte ein Abbau des Messnetzes (Annaberg-Buchholz, Dittrichshütte, Freiberg, Marienberg, Zwickau) bzw. eine Reduzierung auf Flächen mit erhöhten Radonkonzentrationen (Freital, Lengenfeld). Erhalten blieben die Messnetze in Gebieten mit Sanierungstätigkeiten der Wismut GmbH. Im Messgebiet Johanngeorgenstadt wurde das Messnetz zur weiteren Untersuchung der hier ermittelten hohen Radonkonzentrationen ausgebaut.

Aue/Schlema, Freital, Johanngeorgenstadt und Lengenfeld gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 2.3.1-2 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre an bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2002 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level at sampling locations not influenced by mining activities *(mean values 1991 - 2002 and range of variation of the mean values for the individual years; Values measured by the Wismut GmbH)*

Gebiet	Winter			Sommer		
	Minimalwert in Bq/m³	Maximalwert in Bq/m³	Mittelwert 1991 – 2002 in Bq/m³	Minimalwert in Bq/m³	Maximalwert in Bq/m³	Mittelwert 1991 – 2002 in Bq/m³
Schlema/Alberoda	23	40	29	27	47	34
Pöhla	14	35	21	18	28	24
Seelingstädt	11	39	25	19	37	26
Crossen	16	35	26	17	34	24
Königstein	11	31	20	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	32
Ronneburg	14	40	26	20	37	28

Tabelle 2.3.1-3 Halbjahreswerte der Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten (Winter 2001/2002 und Sommer 2002)
(Half-yearly values for radon-222 concentrations in the atmosphere close to ground level in residential areas *in the winter of 2001/2002 and summer of 2002)*

Gebiet	Anzahl der Messungen	Minimalwert in Bq/m³	Maximalwert in Bq/m³	Medianwert in Bq/m³
Aue/Schlema	56	5	80	16
Crossen	66	5	38	12
Freital	7	16	140	70
Johanngeorgenstadt	153	5	3200	23
Königstein	27	5	36	7
Lengenfeld	32	6	180	18
Mechelgrün-Zobes	11	5	20	10
Ronneburg	76	5	29	12
Seelingstädt	44	5	36	12

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 des zulässigen Grenzwertes resultieren. Da die Ableitungen in allen Fällen unterhalb der genehmigten Werte liegen, die aus einer jährlichen effektiven Dosis von 1 mSv hergeleitet worden sind, ergibt sich, dass durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern nur Strahlenexpositionen verursacht werden, die unterhalb dieses Wertes liegen.

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.

Im Vergleich zum Vorjahr weisen die Werte der Uran- und Radiumkonzentration in den o. a. Vorflutern keine nennenswerten Veränderungen auf.

Mit einem Wert der Urankonzentration in Höhe von 1 μg/l und einer Aktivitätskonzentrationen in Höhe von 10 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.

In den großen Vorflutern Elbe, Zwickauer Mulde und Weiße Elster wurden im Unterlauf von Wismut-Einleitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber diesem allgemeinen geogenen Niveau um bis zu eine Größenordnung erhöht sind (2 - 13 μg/l). Mit Werten unter der Nachweisgrenze (< 10 mBq/l) und bis zu 19 mBq/l liegen die Radium-226-Aktivitätskonzentrationen dagegen ebenfalls im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus.

Im Unterlauf kleinerer Bäche, die eine wesentlich geringere Wasserführung aufweisen, wird das allgemeine geogene Niveau etwa bis zum Faktor 3 (Radium-226: von Werten unter der Nachweisgrenze (<10 mBq/l) bis zu 84 mBq/l) bzw. zwei Größenordnungen (Uran: Werte zwischen 7 und 800 μg/l) überschritten. Daraus resultiert jedoch keine Gefährdung, da weder das Wasser der Bäche noch der genannten Vorfluter für Trinkwasserzwecke genutzt wird.

Tabelle 2.3.2-1 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 2002 (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 2002; *Values measured by the Wismut GmbH)*

Betrieb	Probenahmestelle	Uran (mg/l)	Radium-226 (mBq/l)
Sächsische Bergbaugebiete			
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	0,019	78
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	0,070	46
	Elbe Rathen	0,002	11
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,014	42
	Kaitzbach nach Einleitung	0,04	20
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	0,002	18
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	0,011	19
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	0,001	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,025	37
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	0,009	14
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	0,013	14
	Helmsdorfer Bach	0,16	19
	Zinnborn	0,8	84
Thüringer Bergbaugebiete			
Seelingstädt	Weiße Elster aus dem Oberlauf	0,001	10
	Weiße Elster nach Einmündung Pöltschbach	0,006	10
	Lerchenbach	0,14	10
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,040	10
	Weiße Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,006	10
Ronneburg	Gessenbach	0,046	< 10
	Sprotte	0,007	< 10
	Wipse	0,022	16
	Weiße Elster	0,005	< 10

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

(Occupational radiation exposures)

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

1. Personendosismessungen *(Personal dose measurements)*

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

1.1 Vorbemerkungen *(Preliminary remarks)*

Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, Röntgenstrahlen anwenden oder an sonstigen Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen tätig sind und sich dabei in Kontrollbereichen aufhalten, unterliegen der physikalischen Strahlenschutzüberwachung nach § 40 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) oder § 35 Röntgenverordnung (RöV) oder beiden Verordnungen. 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 durch äußere Strahlung an. In einigen Fällen sind zusätzliche Messungen, z. B. 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 personenbezogenen zusammengeführt. Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen beruflich strahlenexponierte Personen arbeiten, kann aus Tabelle 1.2-1 entnommen werden. Da 77% der überwachten Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in dieser Tabelle der Anteil des Arbeitsbereiches Medizin gesondert ausgewiesen.

Bis einschließlich dem Jahr 1999 basieren die Statistiken auf den aggregierten Daten der Messstellen. Dabei entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da es bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz zu Mehrfachzählungen kommt. Ab dem Jahr 1999 werden durch die personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden. Deshalb sind im Vergleich zu den Vorjahren die Personenzahlen niedriger.

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 55 und 56 StrlSchV und § 31a und 31b RöV bei den überwachten Personen zu kontrollieren. Für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen ist der Grenzwert der effektiven Dosis auf 20 mSv im Jahr festgelegt. Die Gesamtzahl der Personendosisfeststellungen (Tabelle 1.2-2) oberhalb dieses Wertes liegt im Jahr 2002 - bezogen auf die Gesamtzahl der Überwachten - bei 0,008 %.

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 veranlassen, unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Ursache des Expositionsfalles zu klären und eine Wiederholung verhindern. Soweit die Ergebnisse nachfolgender Ermittlungen bekannt geworden sind, wurden sie in der Tabelle 1.2-2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung der Fälle mit erhöhter Personendosis (Tabelle 1.2-2) gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild

der Strahlenexposition vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister mitgeteilten, gültigen Personendosiswerte einer Person im 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 15% 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 2002 betrug 0,15 mSv. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil an Personen zurückzuführen, die zwar einer regelmäßigen Überwachung unterliegen, jedoch praktisch keine Strahlenexposition erhalten. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller dem Strahlenschutzregister gemeldeten gültigen Personendosiswerte im Kalenderjahr. Im Jahr 2002 betrug sie 47 Personen-Sv.

Tabelle 1.2-1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2002
Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich
(Monitoring with official personal dosemeters in the year 2002
Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	45765	31563	3615	2873
Bayern	56419	42667	4435	3790
Berlin	16710	12648	1014	796
Brandenburg	5517	4536	440	334
Bremen	3121	2633	265	210
Hamburg	10524	6049	649	511
Hessen	25801	18017	1815	1458
Mecklenburg-Vorpommern	5287	3641	329	260
Niedersachsen	28072	21601	2467	2049
Nordrhein-Westfalen	67248	54726	5820	4965
Rheinland-Pfalz	14694	12247	1077	924
Saarland	4703	4178	452	389
Sachsen	11138	8979	851	617
Sachsen-Anhalt	6691	5708	482	356
Schleswig-Holstein	10786	8225	887	755
Thüringen	5385	5088	362	309
Sonstige Überwachungen**	1204	1006	57	43
Gesamtzahl 2002*	313741	241002	24981	20629
Anteil Medizin		76,8 %		82,6 %
Gesamtzahl 2001	315741	240298	25291	20837
Anteil Medizin		76,1 %		82,4 %
Änderung gegenüber 2001	-0,6 %	0,3 %	-1,2 %	-1,0 %

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

** z. B. Bundeswehr

Tabelle 1.2-2 Jahrespersonendosen oberhalb von 20 mSv im Jahr 2002
(Number of annual personal doses above 20 mSv in the year 2002)

Bundesland	Anzahl der Personendosisfeststellungen >20 mSv/Jahr		
	Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nichtmedizin
Baden-Württemberg	8	4	4
Bayern	7	6	1
Berlin	1	1	
Brandenburg	1	1	
Bremen			
Hamburg			
Hessen	6	3	3
Mecklenburg-Vorpommern			
Niedersachsen	1	1	
Nordrhein-Westfalen			
Rheinland-Pfalz			
Saarland			
Sachsen	2	2	
Sachsen-Anhalt			
Schleswig-Holstein	1	1	
Thüringen			
Gesamtzahl 2002*	25	18	7
Bezogen auf Überwachtenzahl 2002	0,008%	0,007%	0,010%
Gesamtzahl 2001	22	12	10
Bezogen auf Überwachtenzahl 2001	0,007%	0,005%	0,013%

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

Tabelle 1.2-3 Verteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2002
(Distribution of the annual personal doses in the year 2002)

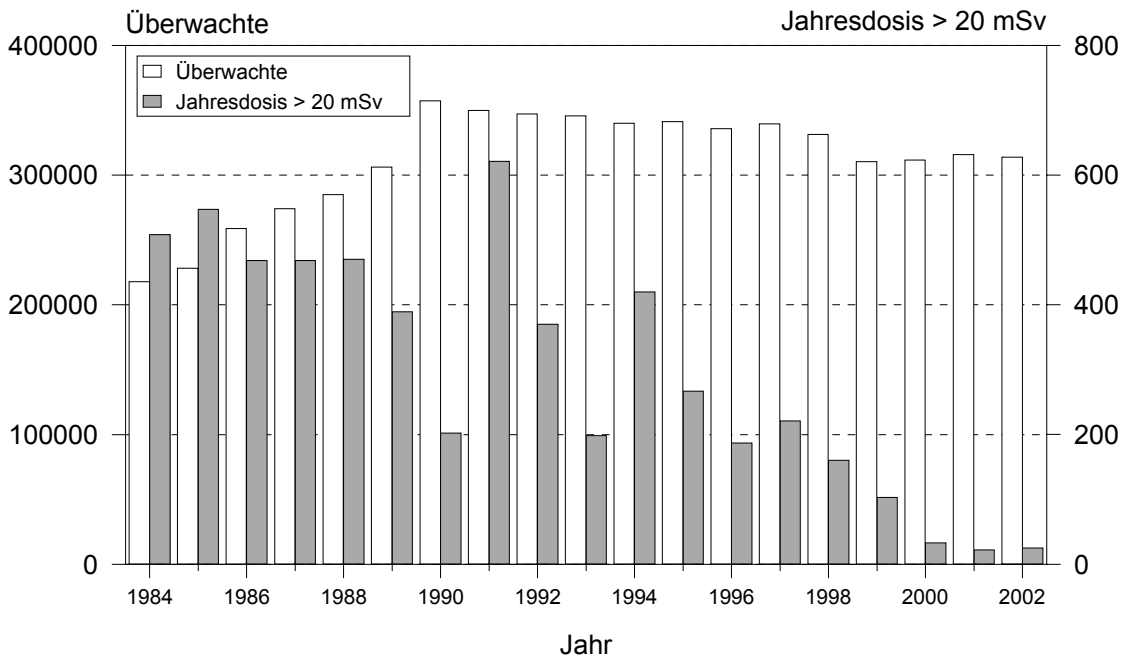
Dosis	Gesamt*		Medizin		Nichtmedizin	
mSv	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %	Anzahl	Kumulativer Anteil in %
H=0	266118	84,82	210595	87,38	55970	76,38
0<H≤0,2	22056	91,85	16264	94,13	5847	84,36
0,2<H≤0,4	7467	94,23	5197	96,29	2286	87,48
0,4<H≤0,6	3931	95,48	2535	97,34	1402	89,39
0,6<H≤0,8	2617	96,32	1605	98,01	1016	90,78
0,8<H≤1,0	1914	96,93	1163	98,49	753	91,80
1<H≤2	4466	98,35	2277	99,43	2195	94,80
2<H≤4	2750	99,23	1009	99,85	1745	97,18
4<H≤6	933	99,53	202	99,94	731	98,18
6<H≤8	504	99,69	59	99,96	446	98,79
8<H≤10	339	99,79	28	99,97	311	99,21
10<H≤15	495	99,95	37	99,99	458	99,84
15<H≤20	126	99,99	13	99,99	113	99,99
H>20	25	100,00	18	100,00	7	100,00
Gesamt*	313741		241002		73280	

* Die Summe aus Medizin und Nichtmedizin ist größer als die Gesamtanzahl, da eine Personen in beiden Bereichen arbeiten kann

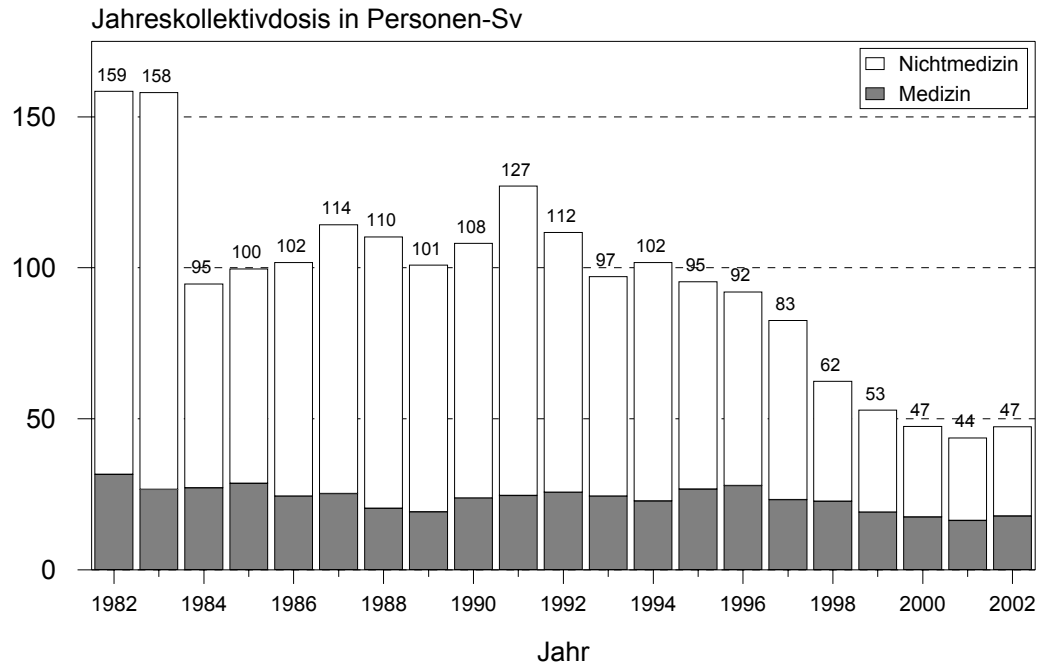
Tabelle 1.2-4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen
(Mean annual individual dose and annual collective dose of the persons monitored by personal dosemeters)

Jahr	Gesamt		Medizin		Nichtmedizin	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis in Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis 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	53	0,08	19	0,45	34
2000	0,15	47	0,07	18	0,40	30
2001	0,14	44	0,07	16	0,36	27
2002	0,15	47	0,07	18	0,40	30

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen seit 1984 ist in Abbildung 1.2-1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Zahlen der festgestellten Personendosen oberhalb von 20 mSv pro Jahr eingetragen. Abbildung 1.2-2 zeigt die Beiträge zur Kollektivdosis aus den Arbeitsbereichen Medizin und Nichtmedizin über den Zeitraum von 1984 - 2002.



BfS	Anzahl der überwachten Personen und der Personen mit Jahresdosen von mehr als 20 mSv (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer, ab 2001 ohne Mehrfachzählungen – siehe Text) *(Number of monitored persons and the persons exceeding the annual dose of 20 mSv - as from 1990 including the new federal Länder)*	**1.2-1**



BfS	Jahreskollektivdosis und Verteilung auf medizinische und nichtmedizinische Arbeitsbereiche (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer) *(Annual collective dose and distribution to medical and non-medical occupational areas - as from 1990 including the new federal Länder)*	**1.2-2**

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 Landesbehörden zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Forschungsreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 1.3-1 bis 1.3-3 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie deren Jahreskollektivdosis.

Tabelle 1.3-1 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren *(Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)*

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1992	20	34285	28475	44	37
1993	20	37980	30544	39	33
1994	20	35068	29002	48	42
1995	20	31525	25489	38	32
1996	19	31937	25785	32	28
1997	19	29780	23771	29	25
1998	19	30207	24306	28	24
1999	19	28790	22066	25	21
2000	19	29263	22463	23	20
2001	19	27063	21144	22	18
2002	19	27281	20697	19	17

Tabelle 1.3-2 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb und Stilllegung von Forschungsreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation and decommissioning of research reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Jahreskollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
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
2002	9	1746	907	0,4	0,3

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 Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
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
2002	7	2988	1952	1,2	0,8

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern
(Occupational radiation exposures from radon daughter products in the new federal Länder)

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

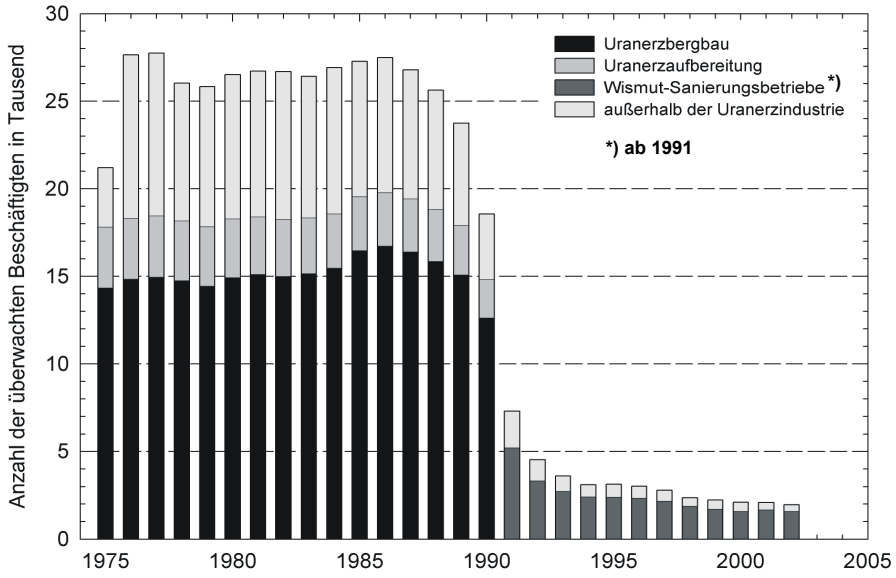
Nach § 95 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzuzeigen (§ 95 Abs.2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln. Nach §117 Abs. 26 sind die Maßnahmen zur Ermittlung der Körperdosis nach § 95 Abs. 10 in den neuen Bundesländern bis zum 01. August 2003 umzusetzen. Diese Regelungen gelten auch nach § 118 Abs. 4 für die Ermittlung der Strahlenexposition der Beschäftigten bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern. Erlaubnisse, die nach dem Recht der DDR vor dem 01. August 2001 für Arbeiten erteilt wurden, die den Arbeitsfeldern nach Anlage XI StrlSchV zugeordnet werden können, und nach dem 01. August 2001 fortgelten, gelten als Anzeige nach § 95 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV. Für die Beschäftigten der Wismut GmbH bei der Stilllegung und Sanierung der

Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues erfolgt nach § 118 Abs. 2 StrlSchV die Ermittlung der Körperdosis auf der Grundlage des § 41 StrlSchV.

Abbildung 1.4-1 gibt einen Überblick über die Anzahl der Beschäftigten, für die seit 1975 die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition ermittelt wurde. Im Jahr 2002 wurde diese Ermittlung für 1948 Personen vorgenommen, von denen ca. 80% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten (siehe Tabelle 1.4-1).

Für Beschäftigte der Wismut GmbH wird die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachte Körperdosis ermittelt. Für zwei Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurden dazu Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt. Diese Messgeräte mit Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für die übrigen Personen wurden die Strahlenexpositionen von den individuell ermittelten Expositionen für Personen mit vergleichbaren Arbeiten abgeleitet. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI ausführen, oder Beschäftigte bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Dazu wurden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen charakteristische Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2002 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv. Für 18 Beschäftigte wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Die höchste jährliche effektive Dosis wurde mit 17,2 mSv bei einem Beschäftigten eines Besucherbergwerkes ermittelt. Für Beschäftigte in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis im Jahre 2002 0,47 mSv. Für die Gruppe der Beschäftigten, die Arbeiten nach Anlage XI ausführen, oder Beschäftigte bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten ist der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis 1,6 mSv. Dabei wurde der höchste Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis mit 3,61 mSv für Beschäftigte in dem Arbeitsbereich Radon-Heilbäder festgestellt. Für Beschäftigte in Schauhöhlen und Besucherbergwerken betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis 1,68 mSv, in Wasserwirtschaftsbetrieben 1,31 mSv, bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau 1,76 mSv und in Bergsicherungsbetrieben 1,62 mSv.



BfS	Anzahl überwachter Personen in verschiedenen Arbeitsgebieten auf Grund von Expositionen durch natürliche Strahlenquellen *(Number of monitored persons exposed to natural radiation sources in different occupational areas)*	**1.4-1**

Tabelle 1.4-1 Verteilung der jährlichen effektiven Dosis auf verschiedene Arbeitsfelder
(Distribution of the annual effective dose for different occupational areas)

Arbeitsfeld	Anzahl der überwachten Personen mit einer jährlichen effektiven Dosis D									
	0 ≤ D < 0,1 mSv	**0,1 ≤ D < 0,2 mSv**	**0,2 ≤ D < 0,5 mSv**	**0,5 ≤ D < 1 mSv**	**1 ≤ D < 2 mSv**	**2 ≤ D < 6 mSv**	**6 ≤ D < 10 mSv**	**10 ≤ D < 15 mSv**	**15 ≤ D < 20 mSv**	**Gesamt**
Bergsicherungs-betriebe	9	6	4	6	21	23	1	0	0	**70**
Nichturanbergbau-betriebe	24	8	19	6	7	18	5	2	0	**89**
Schauhöhlen/ Be-sucherbergwerke	12	20	40	10	7	20	6	2	1	**118**
Radonbäder	1	0	0	0	0	2	0	0	0	**3**
Wasserwirtschafts-betriebe	9	11	22	8	13	16	1	0	0	**80**
Wismut-Sanierungsbetriebe	138	322	769	175	128	56	0	0	0	**1588**
Gesamt	**193**	**367**	**854**	**205**	**176**	**135**	**13**	**4**	**1**	**1948**

1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung
(Radiation exposures to flight personnel from cosmic radiation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, 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 Brei-

te 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 voll ausgenutzt wird. Bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind unter sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer. Die Ergebnisse deuten - je nach zu Grunde gelegten Annahmen - auf mittlere jährliche Dosen in der Umgebung von 3 mSv hin. Die genannten Abschätzungen beinhalten nicht die Strahlenexposition durch solare Teilchenereignisse, deren Anteil gemittelt über mehrere Jahre gegenüber der ständigen Exposition durch galaktische kosmische Strahlung jedoch gering ist. Im Prinzip kann diese Strahlenexposition über Messstationen und Satelliten erfasst und berücksichtigt werden.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von über 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 sind bis zum 1. August 2003 umzusetzen.

2. Inkorporationsüberwachung *(Incorporation monitoring)*

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

Bei Personen, die radioaktive Stoffe in offener Form handhaben, kann gemäß §§ 40 und 41 StrlSchV eine Inkorporationsüberwachung erforderlich sein. Erfordernis und Verfahren dieser Inkorporationsüberwachung werden in der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle“ geregelt, die zurzeit an die neue Strahlenschutzverordnung angepasst wird.

Die Inkorporationskontrolle geschieht in der Regel durch direkte Messung der Körperaktivität oder durch Messung der Aktivität der Ausscheidungen. In der Richtlinie wird zwischen regelmäßigen Inkorporationsmessungen und solchen aus besonderem Anlass unterschieden.

Ganzkörpermessungen

Bei der Inkorporationsüberwachung durch Ganzkörpermessung wird 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, Kalcium-45, Strontium-90, Promethium-147 sowie α-Strahler wie natürliches Thorium und Uran, Uran-233, Uran-235, Plutonium-238 und Plutonium-239.

Aus dem von der Inkorporationsmessstelle in Ausscheidungen bestimmten Gehalt an radioaktiven Stoffen kann die Körperaktivität zum Zeitpunkt der Messung und in vielen Fällen daraus die zugeführte Aktivität bestimmt werden. Voraussetzung für die Abschätzung der zugeführten Aktivität sind geeignet gewählte Untersuchungsintervalle. Bei der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung sind für die Festlegung der Untersuchungsintervalle die in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr für Inhalation und Ingestion, die physiologische Transportierbarkeit der inkorporierten Nuklidverbindungen und die Nachweisgrenzen der angewandten analytischen Verfahren zu berücksichtigen. Bei der Überwachung aus besonderem Anlass, die nur im Bedarfsfall erfolgt, wird das Untersuchungsprogramm dem Einzelfall so angepasst, dass Höhe und Verlauf der Körperaktivität abgeschätzt werden können.

Das Rechenverfahren zur Bestimmung der aus einer Inkorporation radioaktiver Stoffe resultierenden Strahlendosis ist in der Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition (Berechnungsgrundlage) angegeben.

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung werden bei den Messstellen gemäß § 42 StrlSchV mindestens 30 Jahre aufbewahrt. Gemäß § 112 StrlSchV sind sie dem Strahlenschutzregister des BfS zu übermitteln. Das Strahlenschutzregister hat zum Ende des Jahres 2001 die Vorgaben für die Übermittlung der Überwachungsdaten verbindlich festgesetzt. Ab dem Jahr 2002 haben die Inkorporationsmessstellen damit begonnen, Überwachungsergebnisse an das Strahlenschutzregister zu übermitteln. Auf Grund der übermittelten Daten konnten Jahrespersonendosen durch Inkorporation für 621 Personen mit einer Personenkollektivdosis von 0,029 Personen-Sv (nur Anteil Inkorporation) für das Überwachungsjahr 2002 berechnet werden. In der folgenden Tabelle ist die Verteilung der Jahrespersonendosis (nur Anteil Inkorporation) zusammengestellt.

Tabelle 2-1 Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2002
(Distribution of the annual personal doses due to incorporation in the year 2002)

Dosis in mSv	Anzahl der Personen
H = 0	245
0 <H ≤ 0,2	360
0,2 <H ≤ 1,0	9
1,0 <H ≤ 6,0	6
6,0 <H ≤ 20,0	1
H > 20,0	0
Gesamt	621

3. Strahlenexposition bei Radarpersonal *(Radiation exposures to radar personnel)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Stabsstelle für internationale Zusammenarbeit, Oberschleißheim

Neben zivilen Anwendungen, z. B. in der Handelsschifffahrt oder auf Flughäfen, wird eine Vielzahl von Radargeräten bei Heer, Luftwaffe und Marine eingesetzt. Potenzielle Gesundheitsgefährdungen für das an Radaranlagen tätige Personal gehen zum einen von der Hochfrequenzstrahlung selbst aus, vor allem beim Aufenthalt im Nutzstrahlungsbereich bei hohen Sendeleistungen im Nahbereich der Sendeantennen. Zum anderen entsteht an den bei älteren Radaranlagen vielfach genutzten Röhrenbauteilen Röntgenstrahlung als unerwünschte Begleiterscheinung. Die Reichweite dieser Strahlung ist verhältnismäßig gering, so dass Gefährdungen für das Personal nur in unmittelbarer Nähe der Sender entstehen, z. B. bei Einstellungs- und Reparaturarbeiten. Seit ca. Mitte der achtziger Jahre wird dem durch adäquate Strahlenschutzmaßnahmen Rechnung getragen.

Ausgehend von der Annahme, dass von Radaranlagen eine Gefährdung ausgegangen sein könnte, haben erkrankte, meist ehemalige Soldaten der Bundeswehr und der NVA sowie Zivilangestellte, die an Radargeräten tätig gewesen sind, Anträge auf Anerkennung einer durch die Berufsausübung verursachten Krankheit gestellt. Inwieweit diese Anträge begründet sind, d. h. welchen Expositionen welche Person ausgesetzt war und ob gegebenenfalls diese Exposition ausreichend war, um retrospektiv von einer die Krankheit auslösenden Exposition zu sprechen, kann grundsätzlich nur für jede Person individuell bestimmt werden. Dieses setzt voraus, dass noch genügend Informationen zu den Arbeitsbedingungen vorliegen bzw. erbracht werden können.

Darüber hinaus können je nach den potenziellen früheren Belastungen Personengruppen gebildet werden. Grundlage hierfür bilden vorliegende Erkenntnisse über Expositionen gegenüber Röntgenstörstrahlung und Hochfrequenz-Strahlung.

Nachdem es Kritik an der Bearbeitung der Anträge durch die zuständigen Behörden gegeben hatte, setzte das Bundesverteidigungsministerium einen Arbeitsstab unter Leitung von Dr. Theo Sommer ein, die den Umgang der Bundeswehr mit Gefährdungen und Gefahrstoffen zu untersuchen hatte. Die im Abschlussbericht [1] vorgeschlagenen Verfahren für den Teilbereich Radar wurden aber nach Ansicht der Antragsteller nicht in ausreichendem Maße umgesetzt. Der Verteidigungsausschuss des Deutschen Bundestages bat daraufhin das Bundesministerium der Verteidigung, die sogenannte “Radarkommission” einzusetzen, mit dem Auftrag, zur Aufklärung der früheren Arbeitsplatzverhältnisse unter Einbeziehung der dafür bereits vorliegenden Zwischenergebnisse beizutragen, eine Expertise zu den Belastungswerten abzugeben, die in den Dienstbeschädigungsverfahren zu Grunde gelegt werden sollten, gegebenenfalls zusätzliche und neue Erkenntnisse zur gesundheitlichen Auswirkung bei Strahlenbelastung durch Radargeräte aufzubereiten sowie den wissenschaftlichen Sachstand zur Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung durch ionisierende Strahlung und HF-Strahlung festzustellen und die versorgungsmedizinischen Aspekte von Strahlenschäden zu untersuchen.

Die Radarkommission konstituierte sich Ende September 2002 unter Vorsitz des Präsidenten des Bundesamtes für Strahlenschutz, Wolfram König, und wird ihren Bericht voraussichtlich im Sommer 2003 vorlegen.

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 Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2002 enthält Tabelle 4.1. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

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

Tabelle 4.1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von 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
31.10.00 (Nachtrag)	Anonyme Abgabe einer Uranchemikalie (ca. 9,2 g Urancarbid mit Anreicherungen 1,6%); Dosisleistung an Umschlagoberfläche max. 0,7 µSv/h	Unterlassene Entsorgung	Keine	Untersuchung; Ordnungsgemäße Entsorgung
Januar 2002	Feststellung eines Symmetriefehlers bis zu 14,6% bei routinemäßigen Feldausgleichsmessungen an einem medizinischen Beschleuniger, Interlocksystem nicht angesprochen	Lockerung der mechanischen Befestigung des Ausgleichsfilters	Keine, da keine Patientenbestrahlung stattfand	Gerät nach Reparatur, Kalibrierung und Überprüfung des Interlocksystems wieder in Betrieb genommen; Stellungnahme des Herstellers angefordert
14.01.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) in der Katheterspitze bei einem Betabestrahlungsgerät während eines Funktionstests	Unbekannt	Keine	Bergung der Strahlerkette; Austausch des Gerätes durch Herstellerfirma
15.01.02	Fund eines Blechbehälters mit ca. 15 kg eines radioaktiven Schlammes (Th, 10-15 Bq/g) in Schrottcontainern bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ermittlung des Verursachers; Bußgeldverfahren
17.01.02	Feststellung erhöhter Ortsdosisleistung (max. 1,2 µSv/h am Fahrzeug, max. 4,6 µSv/h in 10 cm Abstand von der Ladung) an einem LkW bei der Einreise durch radioaktiv kontaminierte Abfälle	Unerkannte Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen	Keine	Transport zurückgewiesen

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
22.01.02	Fall des Strahlers (Co-60, ca. 5 MBq) einer Füllstandsmessanlage auf den Boden des Behälters (max. Dosisleistung 1,1 µSv/h an Außenstelle des Behälters)	Falsche Montage des Strahlers	Keine	Dichtheitsprüfung; Rückgabe des Strahlers an Hersteller
28.01.02	Fund von zwei Strahlern (Ra-226, max. 25,4 µSv/h an Waggon-Außenseite; 34 µSv/h in 10 cm Abstand von der Quelle) in einer Schrottlieferung bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.01.02	Störfall bei der Bestrahlung eines Patienten	Anwendungsfehler; Verwendung eines falschen Führungskatheters (Innendurchmesser zu klein)	Keine, da Strahlerkette nicht ausgefahren	Schriftliche Unterweisung des Personals; Dokumentation der verwendeten Katheter in den Bestrahlungslisten
30.01.02	Steckenbleiben von einigen Strahlern im Anschlussteil des Katheters nach Beendigung einer Behandlung mit einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Unbekannt	Keine	Überprüfung und Stellungnahme durch Hersteller
04.02.02	Verschlussstörung an einer Gammabestrahlungsanlage bei Patientenbestrahlung in einer Klinik	Defekt an einem Relais	Erhöhung der Patientenexposition um 0,5%	Austausch des Relais durch Herstellerfirma
07.02.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) in der Leistenregion des Patienten bei Behandlungsbeginn	Unbekannt	Dosis an der Gefäßwand ca. 600 mGy; Exposition der Mitarbeiter: max. 1 µSv	Ursachenermittlung durch Herstellerfirma
11.02.02	Abgabe radioaktiver Stoffe (I-131, 3,7 GBq) aus nuklearmedizinischer Therapiestation in öffentliches Abwassernetz	Unachtsamkeit, Fehler in der Dokumentation, Fehlinterpretation, Fehleinschätzung	Keine; Schätzung der Exposition des externen Personals ergab wenige µSv	Technische Nachrüstung, Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahren wird geprüft
19.02.02	Fund von 200 Bombenzielgeräten mit radioaktiven Leuchtröhren (Ra-226, ca. 16 MBq Gesamtaktivität) im Metallschrott bei einer Recyclingfirma; Kontamination des Erdreichs (Ra-226 0,5 Bq/g) beim Verursacher	Unzulässige Entsorgung	Exposition der beteiligten Mitarbeiter: max. einige µSv	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.02.02	Feststellung des Verlustes von Schulquellen (Cs-137, 88,7 kBq und Kr-85, 23,7 kBq) bei der Bestandskontrolle in einer Schule	Mangelhafte Kontrolle	Gefährdungspotenzial gering	Suche erfolglos, Polizeiliche Ermittlungen
21.02.02	Verlust eines gelagerten Strahlers (Cs-137, 0,4 GBq) einer Dichtemessanlage bei einer Firma	Unzureichende Bestandskontrolle	Gefährdungspotenzial gering	Suche nach Strahler erfolglos

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
21.02.02	Ableitung von Abwasser aus Strahlenschutzbereichen wurde nicht überwacht	Umgehung des Rückhaltebehälters bei Bauarbeiten	Keine	Veranlassung neuer organisatorischer Regelungen zur Einhaltung der StrlSchV bei Bau- und Rekonstruktionsmaßnahmen
01.03.02	Brand eines LkW mit radiopharmazeutischen Produkten	Reifenbrand	Keine; radioaktive Stoffe blieben unversehrt	Schnelle Löschung des Brandes
06.03.02	Freisetzung von Kr-85 (32 MBq) aus einem Aerosolneutralisator und Abgabe in die Abluft (6 kBq/m^3) in einer Forschungseinrichtung	Undichtheit des Strahlers	Keine	Meldung an Aufsichtsbehörde
07.03.02	Fund eines Radiumkissens im Nachlass eines Radiologen	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.03.02	Kontamination durch Zerbrechen einer Ampulle im Kontrollbereich bei Inspektion	Unachtsamkeit	Abgeschätzte Strahlenexposition der beiden Mitarbeiter: 0,2 bzw. 0,03 mSv	Sicherstellung und Entsorgung
19.03.02	Fund eines alten Behältnisses mit der Aufschrift „Lebensgefahr gefährliche Strahlungen Radium“ mit Prüfstrahler (Cs-137, ca. 180 kBq) im Keller einer Klinik	Unbekannte Herkunft	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung,
21.03.02	Verlust radioaktiver Stoffe (P-32, 10 MBq), Fläschchen (ca. 25µl) in einer Universität	Irrtümlicher Rückversand an Absender	Keine	Erstattung einer Anzeige; Paket wurde am 25.03.02 wieder an die Universität geliefert
28.03.02	Beginn der Bestrahlung an einem Linearbeschleuniger (6 MeV) während die MTRA noch im Bestrahlungsraum war; Strahlzeit ca. 8,6 s	Unachtsamkeit	Geringfügige[a] Exposition der MTRA	Installieren eines Quittierschalters
April 2002	Verlust von 233 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226 je 2,2 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung mit Elektroschrott im Jahr 2001	Gefährdungspotential gering	Verbleib retrospektiv nicht zu ermitteln
03.04.02	Fund eines Messgerätes mit Sr-90-Strahler (33 MBq) im Elektronikschrott bei einem Bauhof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe an den Hersteller
04.04.02	Feststellung der Kontamination des Erdreiches (Co-57, max. 1 Bq/kg) in der Nähe einer unterirdischen Abwasserleitung einer Zyklotronanlage und eines Instituts für Radiochemie bei Revisionsarbeiten	Abwasserleitung an mehreren Stellen durch Wurzeleinwuchs beschädigt	Keine	Austausch durch ein doppelwandiges Rohr, Freihaltung des Geländes von tiefwurzelnden Pflanzen
04.04.02	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, 12 µSv/h im Abstand von 2 cm, > 10 kBq) in einer Schrottverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
12.04.02	Verbleib von 17 der 24 Einzelstrahler im Patienten während der Strahlerrückführung nach einer Behandlung an einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Unbekannt	Erhöhung der Patienten - Bestrahlungsdosis um 4%; keine signifikanten Expositionen des Personals	Überführung des Katheters in den Notfallkoffer; ordnungsgemäße Entsorgung
17.04.02	Sondenabriss an einer Füllstandsmesseinrichtung	Beschädigung des Schutzrohres durch Materialfehler	Keine	Sicherstellung; Anwendung anderer Messprinzipien
19.04.02	Fund eines Strahlers (Ra-226, 7 MBq) in einer Schrottlieferung bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.04.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) im Bereich des Katheteranschlusses eines Betabestrahlungsgerätes vor Behandlungsbeginn in einer Klinik	Abknicken des Katheters	Keine	Überführung des Katheters in den Notfallbehälter; Änderung des Katheters durch Herstellerfirma
08.05.02	Fund eines ca. 1 cm x 2 cm großen Metallsplitters mit Radioaktivität bei einem Schrottverwerter (Ra-226 ca. 22 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.05.02	Fund von ca. 1,5 kg Metallschrott (Skalenteile) mit radioaktiv markierter (Ra-226 ca. 4 MBq) Leuchtfarbe bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.05.02	Fund eines Dosismessgerätes mit eingebautem Kalibrierstrahler (Ra-226, 18 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.05.02	Fortsetzung des Scan-Ablaufes eines CT trotz betätigter Scan-Unterbrechungstaste während der erneuten Lagerung eines unruhigen Patienten	Technische Blockade der Verknüpfbarkeit von Standardprogrammen	Geringe Exposition[a] des Patienten und des Personals	Beseitigung des Softwarefehlers
08.06.02	Verformung eines Strahlers (Co-60, 146 TBq) beim Strahlerwechsel in einer Sterilisationsanlage und folglich Störung beim Absenken in Ruheposition	Entfernung eines Leitbleches	Geringe Strahlenexposition[a] des Bergepersonals; keine Kontamination	Bergung des Strahlers mit Hilfe von Manipulatoren; technische und organisatorische Maßnahmen
14.06.02	Versehentliche Bestrahlung von ärztlichem Personal	Aufenthalt von Personal im Bestrahlungsraum	Geringe Exposition[a] des Personals	Installation eines Personenüberwachungssystems mit automatischer Unterbrechung der Patienten-Bestrahlung bei Anwesenheit von Personal
18.06.02	Störung bei der Strahlerrückführung nach Behandlung mit einer Betabestrahlungsanlage in einer Klinik	Engpässe am Katheter	Zusätzliche Dosis des Patienten vernachlässigbar	Verbesserungen des Katheters durch Hersteller
25.06.02	Fund von zwei Urannitrat/Uranacetat-Glasröhrchen (1 x leer, 1 x 5 - 10 g) auf einem Wertstoffhof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
27.06.02	Steckenbleiben des Strahlers im Katheter bei Sachverständigen-Prüfung an einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Knickstelle im Katheter	Keine	Verbesserung des Katheters durch Knickschutz von Herstellerfirma
27.06.02	Fund von Strahlern (8 x Cs-137 mit je bis zu 3700 kBq, 1 x Ba 37 kBq) und von 5 kontaminierten Strahlenschutzbehältern bei Durchsuchung von zwei Firmensitzen	Ungenehmigter Umgang mit radioaktiven Stoffen	Keine	Ermittlungsverfahren
Juli 2002	Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern (2x Am-241 je 2,664 MBq, 1x Am-241 29,6 kBq) in einer Stahlfirma bei jährlicher Bestandsaufnahme festgestellt	Unterlassene Kontrolle bei Umbauarbeiten	Keine	
03.07.02	Verwechslung von 2 Patienten bei der Bestrahlung mit einem Beschleuniger	Unachtsamkeit	Unbekannt	Unbekannt
08.07.02	Störung beim Schließen des Quellenschachtes an einer Gammabestrahlungsanlage nach Patientenbestrahlung in einer Klinik	In den Quellenschacht gefallene Markierungsbuchstaben	Exposition des Personals durch Patientenbergung: < 0,1 mSv; Dosis des Mitarbeiters der Herstellerfirma: 86 µSv	Technische Veränderung eingeleitet, Information an alle Anwender dieses Gerätetyps
11.07.02	Fund von 15 Herzschrittmachern mit eingebautem Strahler (Pm-147, Gesamtaktivität 22,2 GBq) in einem Tresor in einer Universität	Unzulässige Lagerung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.07.02	Fund uranhaltiger Farben in einer Töpferei im Rahmen von Umbaumaßnahmen	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.02	Abriss einer Neutronenmesssonde (Am-241/Be-Strahler, 185 GBq) in einem Bohrloch	Technischer Defekt	Keine	Bergung der Neutronensonde
17.07.02	Störung bei der Strahlerrückführung nach Behandlung mit einer Betabestrahlungsanlage in einer Klinik	Zusätzlicher Draht im Katheter, Verengung des Lumens	Zusätzliche effektive Dosis des Personals <5 µSv; Erhöhung der Bestrahlungszeit des Patienten um 25% (effektive Dosis < 5 µSv)	Überführung des Katheters mit Strahler in den Notfallbehälter; keine Funktionsbeeinträchtigung der Anlage festgestellt
18.07.02	Fund von Luftfiltern mit Spaltprodukten des Reaktorunfalls in Tschernobyl in einem Spezialtank (Ce-144, Cs-134, Cs-137, Te-129, Sb-125, Ag-110m) im Erdreich einer Mülldeponie	Spezialtank 1986 nach damaligen umweltschutzrechtlichen Bestimmungen entsorgt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach derzeitigem Recht
22.07.02	Verlust von 20 Ionisationsrauchmeldern (IRM) Typ BR 716 bei Abbrucharbeiten	Unachtsamkeit	Gefährdungspotenzial gering	Suche nach IRM erfolglos

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
24.07.02	Störung beim Aus- und Einfahren des Strahlers (Ir-192, 19,4 GBq) einer Afterloadinganlage bei Eigenprüfung in einer Klinik	Mechanik defekt	Keine	Reparatur durch Herstellerfirma
25.07.02	Fund eines Flugkompasses mit radioaktivem Zifferblatt (Ra-226, ca. 200 kBq) in einem Aluminiumschrottballen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
August 2002	Exposition der haltenden Person während der Durchleuchtung eines sperrigen Gepäckstückes bei einer Gepäckkontrollstelle	Fehlerhaftes Verhalten der Kontrollperson	Keine; geringe Strahlenexposition[a] der haltenden Person	Entlassung des verantwortlichen Mitarbeiters, behördliche Maßnahmen
08.08.02	Abgabe eines Prüfstrahlers (Ba-133) im Bleicontainer bei einer Abfallsammelstelle durch einen pensionierten Service-Techniker	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung; Ordnungsgemäße Entsorgung
08.08.02	Prüfmolch mit einem Ir-192 Strahler (666 GBq) geriet bei Durchstrahlungsarbeiten in einer Gaspipeline außer Kontrolle	Bedienungsfehler oder elektrischer/elektronischer Fehler in der Steuerung des Molches	Keine	Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen eingeführt
09.08.02	Unkontrollierte Freisetzung radioaktiver Gase (Kr-85, ca.1 TBq) bei einer Firma	Defektes Ventil	Keine, Exposition der Mitarbeiter: < 0,1 mSv	Einstellung der Produktion; Installation eines zweiten Ventils, Einhausung der Füllgasmischanlage, Einbau einer Messeinrichtung zur Überwachung möglicher Freisetzungen gefordert
12.08.02	Schließung des Strahlenschutztores und Beginn der Bestrahlung eingeschaltet; MTRA befand sich in unmittelbarer Nähe des Strahlenschutztors - abgeschirmt durch die Betonzunge	Elektronische Betriebsstörung	Keine	Technische Umrüstung des Bedientableaus; Uptake der Betriebssoftware des Beschleunigers durchgeführt
13.08.02	Störung der Absenkung des Quellenkorbes in Ruheposition an einer technischen Gammabestrahlungsanlage	Fehlerhafte Weiterleitung der Störmeldung des Transportsystems durch Leitrechnerabsturz	Keine; manuelle Absenkung des Quellenkorbes	Aufhebung des mannlosen Anlagebetriebes; Installation einer separaten Schaltuhr
04.09.02	Verletzung und Kontamination eines Mitarbeiters im Kontrollbereich eines Kernkraftwerks, Verlust der Atemmaske	Unbekannt	Personendosis 0,7 mSv, Hautdosis 4,6 mSv, Dosis durch Inhalation 0,05 mSv	Ärztliche Behandlung
10.09.02	Schwelbrand im Schredder einer Anlage zur Konditionierung schwachradioaktiver Abfälle (H-3; C-14; Ra-226)	Unbekannt	Keine; geringfügige Kontamination im Bereich des Schredders (17 Bq/cm^2), keine Freisetzung mit der Abluft	Schwelbrand erkannt und gelöscht

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.09.02	Zeitweiliger Verlust eines Typ A-Versandstückes UN 2915, Inhalt Th-201, 1,17 GBq, während des Transportes zum Empfänger	Nicht ordnungsgemäß verschlossene Laderaumtür des Transportfahrzeuges und ungenügende Ladungssicherung	Keine, Verpackung blieb unversehrt	Bußgeldverfahren gegen Fahrer
19.09.02	Aufenthalt von 3 Personen im Maschinenraum bei Wartungsarbeiten an einem Linearbeschleuniger in einer Klinik	Unterlassene Kontrolle des Maschinenraums, unzureichende Zutrittsbeschränkungen	Keine; Strahlenexposition der Mitarbeiter < 0,1 mSv	Zusätzliche Unterweisungen; Strahlenschutzvereinbarung mit Wartungsfirma
20.09.02	Störung bei der Strahlerrückführung (Se-75) nach Durchstrahlungsprüfungen auf einem Firmengelände	Unbekannt	Keine	Rücktransport des Strahlers in das Gerät durch Spezialfirma
25.09.02	Freisetzung von kontaminiertem Regenwasser in das Regenwassersystem eines Kernkraftwerkes bei der Reinigung eines Filterkonzentratbehälters	Menschliche Fehlhandlung	Gefährdungspotential gering	Festlegung umfangreicher administrativer Maßnahmen
11.10.02	Fund eines Kupfertellers mit 4 Segmenten als Teil eines Blitzableiters (Ra-226, 20 MBq) bei Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.10.02	Unsachgemäße Verbringung von 55 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 Gesamtaktivität: 1,68 MBq) auf verschiedenen Deponien bei Umbauarbeiten durch eine Abbruchfirma	Unsachgemäße Entsorgung	Keine	Einleitung aufsichtsrechtlicher Verfahren gegen Abbruchfirma
21.10.02	Fund eines Ionisationsrauchmelders	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und Entsorgung
25.10.02	Abgabe von kontaminiertem Abwasser in das öffentliche Abwassernetz von einer Radiojodtherapieeinrichtung (13 m^3, 962 kBq Gesamtaktivität)	Kapazitätsverringerung durch Reparaturarbeiten	Keine, da zulässige Aktivitätskonzentration im Jahresdurchschnitt nicht überschritten	Auswertung im technischen Bereich der Klinik
12.11.02	Steckenbleiben eines Strahlerkettengliedes (Co-60, 629 GBq Gesamtaktivität) im Ausfahrschlauch einer Gammaradiographieanlage auf einem Firmengelände	Quetschung des Ausfahrschlauchs, Abtrennen des Strahlerkettengliedes	Exposition des Bergepersonals unterhalb der Grenzwerte	Bergung des Strahlers durch Hersteller
16.11.02	Fund von Gegenständen mit Strahlenzeichen in einem 100-l-Fass auf einem Firmengelände	Unbekannt		Sicherstellung und Analyse der gefundenen Stoffe
22.11.02	Fund eines umschlossenen radioaktiven Strahlers (Cs-137, 2,5 µS/h an der Oberfläche) bei einer Sicherheitsbegehung	Strahler wurde bei radiometrischen Messungen vergessen	Keine	Ordnungsgemäße Einlagerung; Gespräch mit Verantwortlichem
26.11.02	Fund eines Metallstückes mit Radioaktivität (Cs-137, ca. 300 MBq) bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

(Fortsetzung Tabelle)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
04.12.02	Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott (max. 5 µSv/h) in Form von Leuchtmarkierungen bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherung in separatem Container; Ordnungsgemäße Entsorgung vorgesehen
04.12.02	Wiederholte Feststellung von Undichtheit an Kr-85-Strahlern beim Auspacken aus Transportbehältern bei einer Firma	Mechanische Beschädigung durch unbekannte Ursache	Keine; ordnungsgemäßes Verhalten der Mitarbeiter	Einleitung qualitätssichernder Maßnahmen durch den Hersteller
05.12.02	Fund einer radioaktiven Quelle (Sr-90) auf einem Waggon bei einer Schrottanlieferung; Dosisleistung an der Fundquelle max. 80 µSv/h, Oberflächenkontamination an der Fundquelle max. 520 Bq/cm^2	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

a) Geringfügige Exposition bedeutet: klein im Verhältnis zu geltenden Grenzwerten

TEIL IV

STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

(Radiation exposures from medical applications)

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

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

1.1 Röntgendiagnostik *(X-ray diagnostics)*

An die Indikationsstellung von Röntgenuntersuchungen als auch an die 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 wurde, überträgt diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.

Das BfS hat für die dazu notwendige Datenerhebung ein standardisiertes Verfahren eingeführt mit der Zielsetzung, eine regelmäßige Durchführung - am besten jährlich - zu gewährleisten.

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

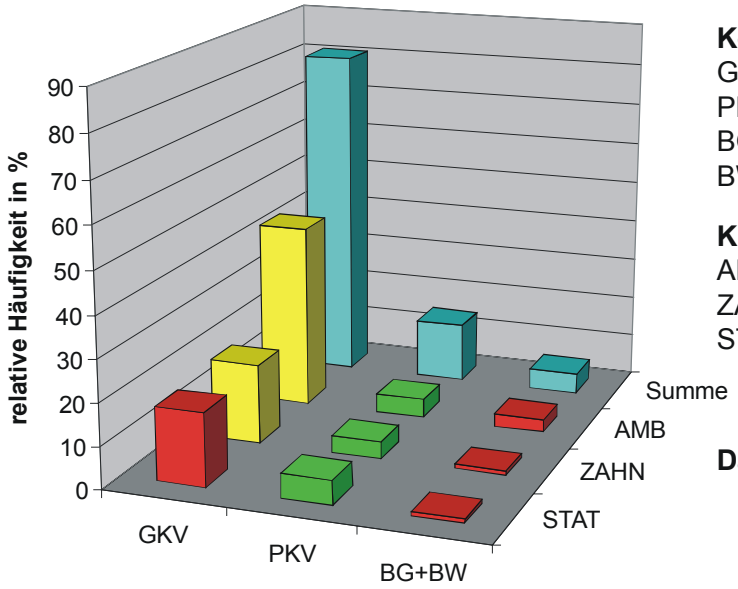
Der Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit des BfS führt seit 1991 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durch. Die aktuellsten zu erhaltenden Daten stammen aus dem Jahr 1997. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sogenannte 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. Dies geschieht 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.



Kostenträger:
GKV: gesetzlich
PKV: privat
BG: Berufsgenossenschaft
BW: Bundeswehr

Krankenversorgung:
AMB: ambulant
ZAHN: zahnmedizinisch
STAT: stationär

Datenerfassung:
vollständig: 63%
Stichprobe: 14%
Hochrechnung: 22%

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.

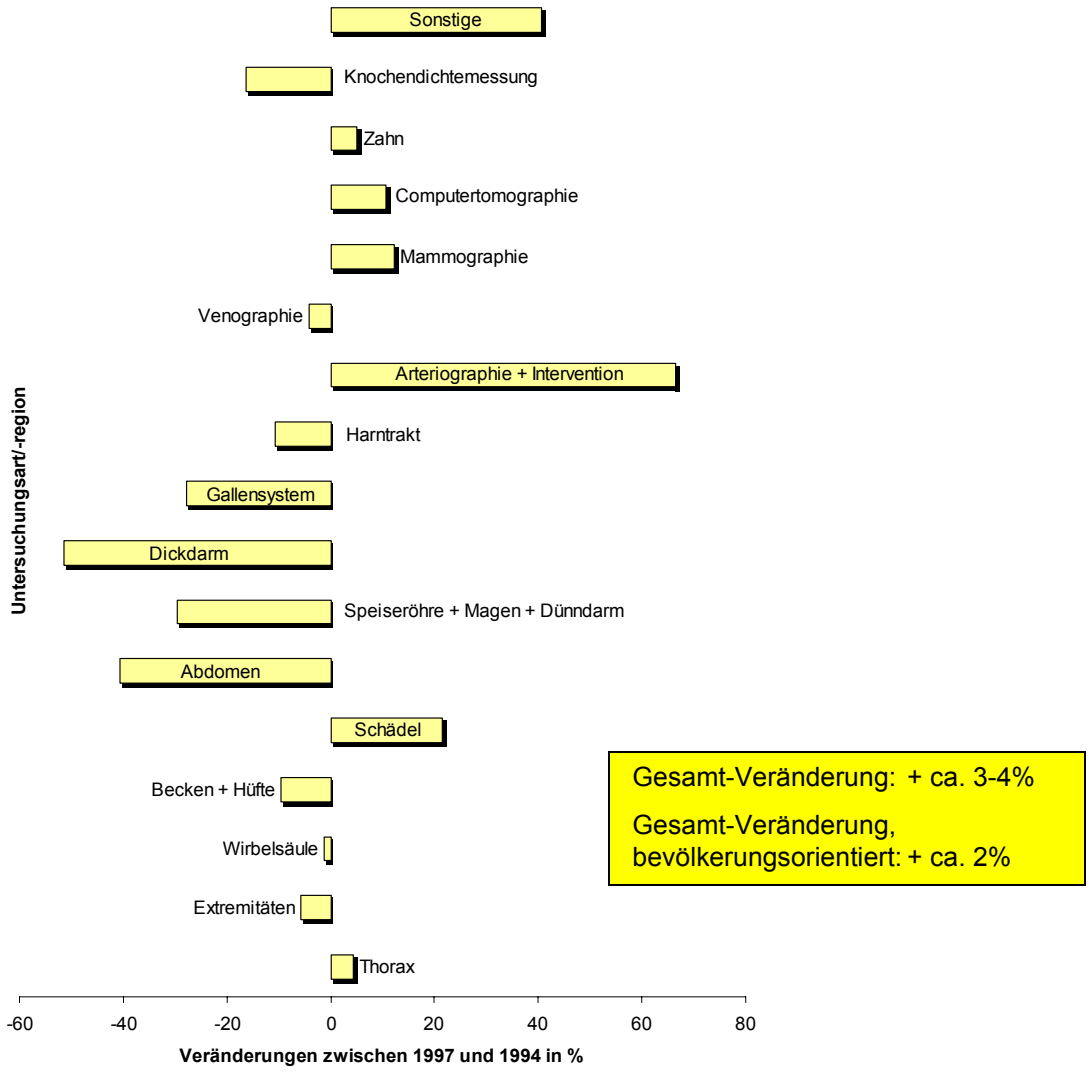
Die Daten, aufgegliedert nach ambulanter und stationärer Krankenversorgung und nach Untersuchungsarten bzw. -regionen, sind in Tabelle 1.1-1 als jährliche Häufigkeit in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1.000 Einwohner dargestellt. 72% aller Röntgenuntersuchungen einschließlich 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	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in% [a]	in Tausend	Anteil in% [a]	in Tausend	
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	[e]	-	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.
e) Auf der Basis der aus der Erhebung 1997 vorliegenden Daten konnte keine Abschätzung gewonnen werden.

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).



BfS	Datenerhebung 1997: Untersuchungshäufigkeit - Vergleich 1997 / 1994 *(Data compiled for 1997: comparison of the frequency of examinations performed in 1997 and 1994)*	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 Gallesystems 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%. Erstere ist im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt, 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 Standardpatientinnenen und Standardpatienten
(70 ± 5 kg Körpergewicht).
(Ranges of mean values for the dose from frequently applied x-ray diagnostic procedures in relation to standard patients: *body weight of 70 kg ± 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 Patientinnen und Patienten - vermieden werden können.

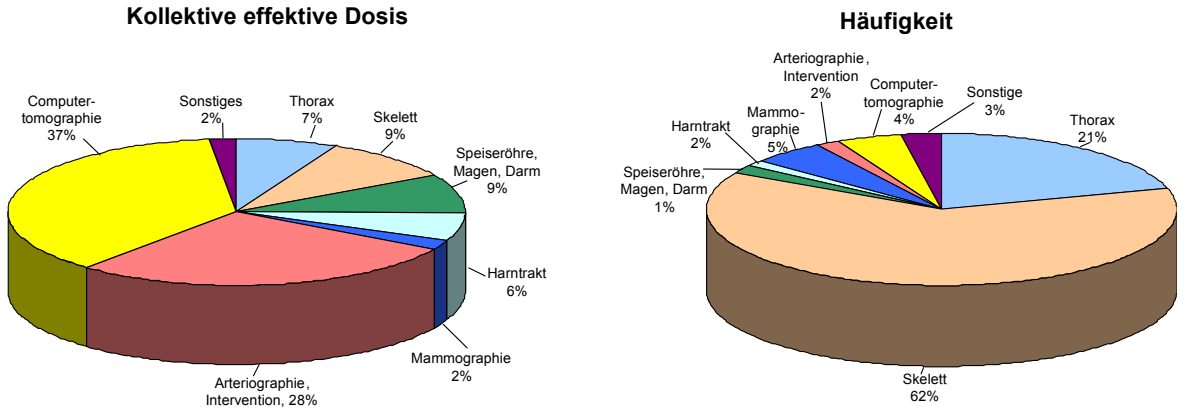
Die CT, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper der Patientin bzw. des Patienten fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für der Patientin bzw. den Patienten 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 die Patientin bzw. den Patienten 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 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. $\pm$ 25%. Eine wichtige Fehlerquelle liegt in der Schwankungsbreite der Dosen für die einzelnen Untersuchungen. Hier sind die individuellen Verhältnisse bei den Patientinnen und Patienten - insbesondere die Körpermaße der Patientinnen und Patienten, 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.



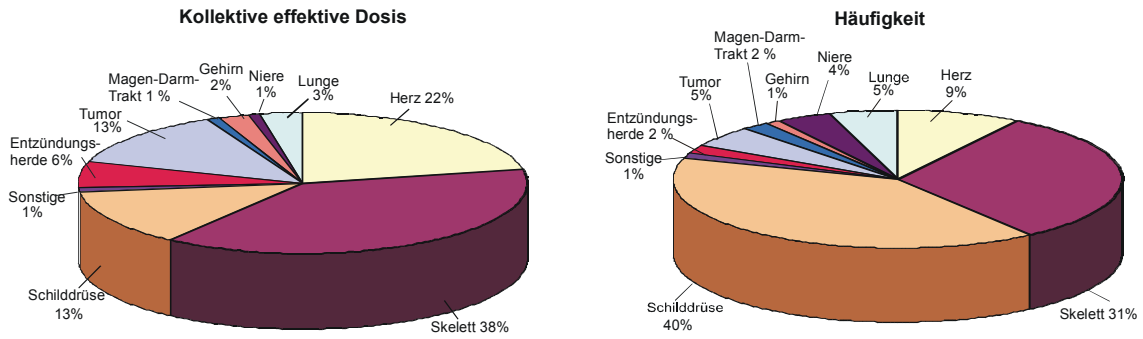
BfS	Datenerhebung 1997: Anteil verschiedener Untersuchungsverfahren an der kollektiven effektiven Dosis sowie an der Gesamt-Untersuchungshäufigkeit *(Data compiled for 1997: Contribution from the different examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations)*	**1.1-3**

1.2 Nuklearmedizinische Diagnostik *(Nuclear medicine diagnostics)*

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

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. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland in den Jahren 1996-2000 im Mittel ca. 3,8 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1.000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abb.1.2-1).



BfS	Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1996 - 2000 *Contribution from the different nuclear medicine examination procedures to the collective effective dose and the proportion of the overall frequency of application for the different examinations in Germany 1996 - 2000)*	**1.2-1**

Die mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 10.800 PersonenSv pro Jahr wurde ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,13 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen bestimmen die kollektive effektive Dosis: die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenszintigraphie (Abb.1.2-1).

Die mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei den Entzündungsuntersuchungen mit 9,4 mSv am höchsten, gefolgt von den Tumorszintigraphien mit 7,8 mSv, der Myokardszintigraphie mit 6,9 mSv, PET mit 5,6 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 3,6 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,9 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,7 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,8 mSv.

Bei der Bewertung der Daten ist zu berücksichtigen, dass die Exposition nicht die gesamte Bevölkerung betrifft, sondern nur die Patienten, die einen diagnostischen Nutzen von der Untersuchung haben. Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 2 mSv pro Jahr und Person) ist die Strahlenbelastung durch die nuklearmedizinischen Diagnostik (ca. 0,13 mSv pro Jahr und Person) relativ niedrig. Trotzdem sind Maßnahmen zur Dosisreduktion notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte für die Nuklearmedizin sowie die Verwendung neuer Radiopharmaka und Akquisitionstechniken. So führt z. B. der Einsatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI bei der Myokardszintigraphie sowie der Einsatz der 3D- anstatt 2D-Akquisitionstechnik bei PET-Untersuchungen zur Verringerung der Strahlenexposition.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen *(Evaluation in terms of radiation hygiene of radiation exposure due to medical methods)*

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik beträgt etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr. Der Beitrag der Nuklearmedizin ist mit 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr sehr gering. Die kollektive effektive Dosis durch medizinische Maßnahmen liegt nominell in der Größenordnung von ca. 160.000 Personen-Sievert pro Jahr.

Eine strahlenhygienische Bewertung dieser Dosiswerte muss vor allem berücksichtigen, dass diese Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Sie sind vielmehr sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patientinnen und Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Strahlenexposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ältere Personen wesentlich häufiger betroffen sind, jedoch eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere Personen. 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 ausge-

schlossen 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, so dass das Konzept der effektiven Dosis nicht mehr anwendbar ist. Wie in Kapitel 2.1 dargelegt, betrifft die radiologische Therapie 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 die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patientinnen und Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Röntgen- und nuklearmedizinischen Maßnahmen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes bei der ausgeprägten föderalistischen Struktur der Bundesrepublik Deutschland 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 radiologische Untersuchungen nicht verzichtet werden kann, dass allerdings nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin und den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen für seine Gesundheit in den Hintergrund tritt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

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

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder bis zu einigen Tesla. Durch die Einstrahlung von 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 freiwählbaren Projektionsebenen dargestellt werden können. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, über die Morphologie hinaus auch funktionelle Informationen über das Gewebe zu erhalten wie z. B. über Angiogenese, 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 radioaktiven Stoffe oder 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 - geändert durch Verordnung vom 18. Juni 2002 - trägt wesentlich zur Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik bei. 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 der einzelnen Patientin und des einzelnen Patienten, 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 insbesondere schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Mit Inkrafttreten der novellierten Röntgenverordnung am 1. Juli 2002 wurde der Strahlenschutz der Patientin und des Patienten in wesentlichen Punkten weiter verbessert. Analog zur Strahlenschutzverordnung ist die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie Röntgenstrahlung am Menschen angewendet wird, jetzt mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. Weiterhin wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlen anwenden, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind jetzt auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ärztlichen Stellen Anwender herauszufinden, bei denen die Dosiswerte ständig deutlich über den diagnostischen Referenzwerten liegen, um dort offensichtlich vorhandene systematische Fehler zu finden und zu beseitigen. Die Überwachung der Einhaltung diagnostischer Referenzwerte erfolgt durch die ärztlichen Stellen, Erstellung und Aktualisierung durch das BfS.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosiseinsparung 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, verbunden mit diagnostischen Aussagen, die bisher nicht zu erhalten waren.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mit Hilfe einer Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie.

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 techni-

schen Qualitätssicherung ist die streng an der notwendigen diagnostischen Fragestellung orientierte Indikationsstellung mit der möglichen Herabsetzung der Untersuchungshäufigkeit die wirksamste Methode, die Strahlenexposition der Patientinnen und Patienten zu verringern.

Weiterhin sind zwei neuere Röntgenverfahren von strahlenhygienischem Interesse, die digitale Volumentomographie zur Darstellung der Ober- und/oder Unterkieferregion in der Zahnmedizin sowie die 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Ähnlich der Computertomographie besitzen beide Techniken die Möglichkeit, Schichtaufnahmen zu erstellen und durch entsprechende Rekonstruktionsverfahren weiterzuverarbeiten. Die digitale Volumentomographie liegt mit einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv zwischen der konventionellen Panoramaschichtaufnahme und der Dental-CT. Die applizierte Dosis bei dem ISO-C-3D-Verfahren ist sehr stark abhängig von der OP-Situation, aber auch von der radiologischen Erfahrung des Chirurgen. Aus strahlenhygienischer Sicht ist dieser Punkt 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 sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung einzubeziehen. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.

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

2.1 Strahlentherapie *(Radiotherapy)*

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik findet die Strahlentherapie nur bei einem relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung Anwendung. Sie ist durch eine 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 die interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene. Wichtige Entwicklungen in den letzten Jahren beinhalten insbesondere die weitere Verbesserung der Bestrahlungsplanung, die eine optimierte, individuelle, dreidimensionale, tumorkonforme Bestrahlung auch irregulär geformter Tumore in anatomisch schwieriger Umgebung ermöglicht.

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 Oberflächentherapie 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 nämlich 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 werden kann.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um im erkrankten Bereich die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische 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/ll/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 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 insbesondere 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 für die nuklearmedizinische Therapie beinhalten. 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 von bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

Eine Notwendigkeit, derzeit noch implantierte Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien (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 BfS 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	9	12 a)
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
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
2002	0	0
Gesamt	284	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 werden kann, ein Medizinprodukt eine Zertifizierung erhalten kann oder eine Diagnose- oder Therapiemethode allgemein anerkannt wird.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung war bis zum 31. Juli 2001 in § 41 StrlSchV (alt) geregelt. In der zum 1. August 2001 in Kraft getretenen novellierten StrlSchV ist diese Anwendung in den §§ 23 und 24 in Verbindung mit den §§ 87 - 92 neu geregelt.

Die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung vom 18. Juni 2002 neu geregelt.

Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) schützen Probanden, bei denen im Rahmen der medizinischen Forschung radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) angewendet werden, in besonderer Weise durch die Genehmigungspflicht. Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die vom BfS erstellten Gutachten und erteilten Genehmigungen im Jahre 2002. Die Genehmigungspflicht besteht

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

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

Die novellierte StrlSchV bzw. die novellierte RöV bringen für das BfS folgende wesentliche Änderungen mit sich:

- Für die Genehmigung zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen in der medizinischen Forschung ist nicht mehr die nach Landesrecht zuständige Behörde, sondern das BfS zuständig. 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 Patientinnen und Patienten 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 bzw. § 28b Abs. 1 Nr. 2 RöV die Stellungnahme einer Ethikkommission als eine der Voraussetzungen für die Genehmigung erforderlich.

Tabelle 4-1 Vom BfS erstellte Gutachten* sowie erteilte Genehmigungen zur Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung (einschließlich Röntenstrahlung) in der medizinischen Forschung im Jahr 2002**
(Expert reports given and licenses granted by BfS for the use of radioactive substances or ionising radiation - including X-rays - in medical research, in the year 2002)

	Verordnung	Anzahl der Gutachten und Genehmigungen	Anzahl der Probanden (gesunde Personen und Patienten) in Deutschland	Kollektive effektive Dosis (Personen-Sv)
Diagnostische	RöV	51	12.318	27,9
Anwendungen	StrlSchV	55	3.771	27,9
Therapeutische	RöV	0	0	***
Anwendungen	StrlSchV	23	556	***
Insgesamt		129	16.645	55,8

* gem. § 41 StrlSchV (alt) und § 24 Abs. 2 RöV (alt)
** gem. § 23 StrlSchV und § 28 a RöV
*** Die effektive Dosis und in der Folge kollektive effektive Dosis werden bei therapeutischen Anwendungen nicht ermittelt, da das Konzept der effektiven Dosis hier nicht anwendbar ist

4.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung
(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)

Eine Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung an gesunden Probanden erfolgt in der Regel im Rahmen der klinischen Prüfung vor Zulassung eines Arzneimittels. Hierbei wird das zu prüfende Arzneimittel radioaktiv markiert und an freiwillige gesunde Probanden verabreicht, um im Interesse einer möglichst hohen Arzneimittelsicherheit abschließende Ergebnisse über die Wechselwirkung des Arzneimittels mit dem menschlichen Organismus zu gewinnen.

Wichtig 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 Strahlung 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 Strahlung an Patientinnen und Patienten in der medizinischen Forschung

(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)

Häufig ist die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zur Klärung pathophysiologischer-/biochemischer Fragestellungen bzw. im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln (Phase I - IV) an Patientinnen und Patienten notwendig, wobei entweder ein radioaktives Arzneimittel geprüft wird oder zur Prüfung eines nicht radioaktiven Arzneimittels radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlen angewandt werden müssen.

4.3 Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung

(Application of x-rays on humans in medical research)

Seit Inkrafttreten der Röntgenverordnung im Jahr 1988 bedarf die Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der medizinischen Forschung einer besonderen Genehmigung. Mit Inkrafttreten der novellierten Röntgenverordnung am 1. Juli 2002 wurden die diesbezüglichen Genehmigungsvoraussetzungen konkretisiert und teilweise auch verschärft. Dies betrifft u. a. insbesondere die Regelungen zur Probandenversicherung.

Eine Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen in der Forschung ist dann gegeben, wenn 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 Vergleich zum Jahr 2001 hat sich die Zahl der Gutachten bzw. Genehmigungen um ca. 25% erhöht, nämlich auf 51 (s. Tab. 4-1). Es wurden wiederum bezüglich der Zahl der Studien hauptsächlich Anträge zur Knochendichtemessung, zum Teil mit gleichzeitiger Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule gestellt. Im Vergleich zum Vorjahr reduzierte sich die Anzahl der Probanden um ca. 95% und die kollektive effektive Dosis um ca. 75%. Dabei ist zu beachten, dass das Jahr 2001 bezüglich der Anzahl der Probanden sowie der kollektiven effektiven Dosis nicht repräsentativ ist, da in diesem Jahr zwei umfangreiche Screeningstudien (Pilotprojekt zur Brustkrebsfrüherkennung, Programm zur Dünnschicht-CT der Lunge bei der arbeitsmedizinischen Asbestvorsorge) bearbeitet wurden. Wie im Vorjahr ist auch im Jahr 2002 eine stetige Zunahme von CT-Studien zu verzeichnen, wobei der Schwerpunkt auf der Anwendung der neuartigen Mehrschicht-CT-Technologie liegt.

TEIL V

UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDER STRAHLUNG

(The handling of radioactive materials and sources of ionising radiation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin und dem Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, 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 Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714) (StrlSchV) festgelegt. Die Vorschriften entsprechen den bisherigen §§ 11-14 StrlSchV alte Fassung. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit lässt sich im Rahmen seiner Fachaufsicht (§ 22 Abs. 3 AtG) u. a. jährlich über den Umfang und die Entwicklung der Ein- und Ausfuhren 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 Grenze genehmigungspflichtig.

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

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird der zuständigen Zolldienststelle vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben übereinstimmend sind. Werden grobe Unregelmäßigkeiten festgestellt, wird die Sendung zurückgewiesen. In allen Fällen werden Unregelmäßigkeiten auf der Anzeige vermerkt, die dem BAFA übersandt wird. Mit Einführung des europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung; daher ist die entsprechende Ein- bzw. Ausfuhranzeige innerhalb einer Woche nach Verbringung direkt dem BAFA zu übersenden.

Genehmigungsverfahren

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

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

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

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht:
- **Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)**
- **EU-Dual-Use-Verordnung**

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

Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

Diese Verordnung ist direkt geltendes Gemeinschaftsrecht, das keiner Umsetzung in nationales Recht bedurfte. Der Rat beabsichtigte damit, den Wegfall der Grenzkontrollen innerhalb der EU zu kompensieren und die Aufsichtsmöglichkeiten der Mitgliedsstaaten zu verbessern. Die Verordnung gilt nicht für

- Ausgangsstoffe und Kernbrennstoffe, weil hier die EURATOM-Kernmaterialüberwachung für ausreichend erachtet wird und (nicht mehr) für
- radioaktive Abfälle, weil diese seit dem 1.1.1994 durch die Richtlinie 92/3/EURATOM erfasst werden.

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 92/3/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese in einen anderen Mitgliedstaat verbracht hat, macht den zuständigen Behörden des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende eine Anzeige. Eine Verbringung von umschlossenen Strahlenquellen muss der Empfänger seiner zuständigen Behörde zusätzlich vorher ankündigen, wobei sich diese Erklärung auch auf mehrere Verbringungen erstrecken kann. Die Verbringung darf in jedem Fall erst durchgeführt werden, wenn der Empfänger der radioaktiven Stoffe dem Besitzer die behördlich bestätigte Erklärung zugeleitet hat.

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 ei-

nem System strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen. In der Bundesrepublik Deutschland ist gemäß § 9 a AtG die inländische Endlagerung vorgeschrieben.

Der Rat hat die Richtlinie 92/3/EURATOM erlassen, weil weder die Richtlinie über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle gefährlicher Abfälle, noch die Grundnormen für den Gesundheitschutz 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 Genehmigungspflichten 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. Aus diesem Grund liegen keine Daten mehr vor.

Es wurden im Berichtszeitraum vom BAFA 53 Einfuhr- und 110 Ausfuhrgenehmigungen gemäß § 3 AtG sowie 80 Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 19 Abs. 1 StrlSchV erteilt.

Auf Grund der Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung (AtAV) liegen auch keine Daten über radioaktive Abfälle vor; diese sind vielmehr den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Im Jahr 2002 gingen 6.723 Einfuhranzeigen nach § 20 Abs. 1 und 3 StrlSchV sowie 15.352 Ausfuhranzeigen nach § 20 Abs. 2 StrlSchV (bezogen auf die Anzahl der gelieferten Einheiten) ein. Die Zahl der bearbeiteten Belege ging aus den eingangs genannten Gründen vor allem bei der Einfuhr spürbar zurück (vgl. hierzu 1.4).

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1984 bis 2002 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 ab1850 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
2002	2 154 465	34	25 656 390	27 814 225	3 070 944

* 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
2002	484 827	0	2 057 005	2 541 842	3 387 520

* inklusive sonstige radioaktive Stoffe

Ein direkter Vergleich der vorliegenden Statistik mit jener für 2001 ist bezüglich der sonstigen radioaktiven Stoffe nicht sinnvoll, da erstmals überhaupt keine Daten über innergemeinschaftliche Verbringungen mehr zur Verfügung standen, während solche in die Statistik für 2001 immerhin noch bis 31.07.2001 eingeflossen waren.

Die Gesamteinfuhr an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) ist trotzdem gleichgeblieben. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass über 86% der Gesamteinfuhr an offenen und umschlossenen Radionukliden ohne Strahlenquelle ab 1.850 GBq in Form von H-3 aus Kanada bezogen wurden, der Wegfall der Daten über innergemeinschatliche Verbringungen spielt daher in der Gesamtsumme nur scheinbar keine Rolle.

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen ist ein nur leichter Abfall zu verzeichnen. Bestrahltes Material war mit 17,6 kg vertreten.

Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden nur in unbedeutenden Mengen eingeführt.

Die Gesamtausfuhr von Radionukliden in GBq nahm im Jahr 2002 wieder zu, hauptsächlich wegen der Zunahme bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq. Auf Grund der eingangs erläuterten Umstände sind diese Zahlen jedoch ebenfalls nicht direkt vergleichbar.

Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden 2002 überhaupt nicht ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt) und Ausgangsstoffen ist gegenüber dem Vorjahr ein geringfügiger Anstieg festzustellen. Bestrahltes Material ist auch 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.

Es ist augenscheinlich, dass ohne den Posten Tritium aus Kanada nur knapp 20% des Volumens aus 2001 als Gesamteinfuhr verblieben wären. Dies zeigt, dass durch den Wegfall der Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen rund 80% des ursprünglichen Meldevolumens fehlen. Beim Betrachten der Spalten für Mo-99, I-131 und Ir-192 wird dies deutlich: Deutschland bezieht diese Radionuklide nämlich im Wesentlichen aus Frankreich, Belgien und den Niederlanden (vgl. Tab. 1.4-1 der Jahresstatistik 2001, Seite 263).

Die Einfuhr von Tritium-Gaslichtquellen hat weiter zugenommen von 74.251 GBq (2001) auf 80.902 GBq (2002), wobei der größte Einzelposten sich wieder beim Lieferland Schweiz mit diesmal 74.378 GBq findet.

H-3-Leuchtmasse (ohne Leuchtfarbe auf Zeigern u. Zifferblättern) wurde in 2002 wieder mehr eingeführt; nämlich 7.400 GBq ebenfalls aus der Schweiz .

Tabelle 1.4-1 Aktivität der 2002 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year 2002 - without sources at levels of above 1850 GBq)

Versender-land	Aktivitäten in GBq									
	H-3	C-14	P-32	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99
Norwegen	342	0	0	0	1	0	0	7	0	0
Schweiz	85.865	1	0	2	17	2.565	9	30	8.721	0
USA	619	343	2.867	1.600	316	778	1.295	869	1	18
Kanada	1.842.400	0	0	0	1	0	3	0	5	0
Australien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Neuseeland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Japan	0	0	0	0	0	0	23	5	0	0
Ungarn	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0
Russland	30.538	2.228	3	629	5.718	36.142	3.400	5.554	0	0
Usbekistan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tschechien	0	0	0	40	0	651	4.021	0	0	691
Polen	0	0	0	0	0	66	0	2	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Südkorea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Singapur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taiwan	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Südafrika	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0
Brasilien	0	0	0	0	0	302	0	0	0	0
Slowenien	0	0	0	481	0	0	0	1	0	0
Malaysia	0	0	0	0	0	129	0	0	0	0
Israel	6.060	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Libyen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige	0	0	0	2	0	41	40	2	0	0
Summe 2002	1.965.824	2.572	3.088	2.754	6.054	40.710	8.795	6.470	8.727	709
Summe 2001	74.876	6.911	3.754	237.928	5.083	24.193	33.317	14.029	2.507	355.908

(Fortsetzung Tabelle)

Versender-land	Aktivität in GBq									
	In-111	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Gd-153	Ir-192	Am-241	Sonst.	Summe
Norwegen	0	0	0	0	0	0	340	0	0	690
Schweiz	1	43	0	2	9.147	3	10.426	3	157	116.992
USA	0	2.545	0	675	391	274	11.709	425	978	25.703
Kanada	757	788	0	0	0	0	13.955	0	0	1.857.909
Australien	0	0	0	0	0	0	703	0	0	703
Neuseeland	0	0	0	0	0	0	1.147	0	0	1.147
Japan	0	0	0	0	130	0	6.217	37	0	6.412
Ungarn	0	16	0	7	0	0	3.218	0	82	3.541
Russland	0	6.423	636	1.539	0	1.036	49	775	578	95.248
Usbekistan	0	2.221	0	0	0	0	0	0	44	2.265
Tschechien	0	102	0	1.710	0	9	1.674	5.336	0	14.234
Polen	0	4	0	378	0	0	2.463	2.960	9	5.882
Kuwait	0	0	0	0	0	0	4.191	0	0	4.191
Südkorea	0	0	0	0	0	0	2.377	0	0	2.377
Singapur	0	0	0	0	20	0	888	0	0	908
Taiwan	0	0	0	0	0	0	1.034	0	0	1.038
Südafrika	0	0	555	0	0	0	0	0	15	570
Mexico	0	0	0	0	0	0	1.411	0	0	1.411
Chile	0	0	0	0	0	0	639	0	0	675
Brasilien	0	0	0	0	0	0	517	0	0	819
Slowenien	0	0	0	0	0	0	135	0	0	617
Malaysia	0	0	0	0	25	0	1.189	0	0	1.343
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.061
Libyen	0	0	0	0	0	0	2.005	0	0	2.005
Sonstige	0	1	0	4	25	111	1.493	4	1	1.724
Summe 2002	758	12.143	1.191	4.315	9.738	1.433	67.780	9.540	1.864	2.154.465
Summe 2001	1.889	12.557	196.305	9.681	8.833	2.757	603.788	8.511	6.583	

Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Tabelle 1.4-2 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Co-60, Se-75, Cs-137 und Ir-192.

Die Einfuhr ist 2002 im Vergleich zum Vorjahr scheinbar gleich geblieben. Bedenkt man jedoch, dass 92,6% der Gesamteinfuhr in dieser Rubrik in Form von Co-60 Strahlenquellen bezogen wurden, wird klar, dass auch in diesem Fall der direkte Vergleich mit dem Vorjahr keinen Sinn macht. Da Kanada der wichtigste Lieferant von Co-60-Quellen ist und diese auf Grund ihrer Halbwertszeit von knapp 5,3 Jahren in entsprechenden Zeitabständen gewechselt werden müssen, verwundert ein solcher Posten alle paar Jahre nicht (sinngemäß dasselbe gilt natürlich auch für Tritium).

Tabelle 1.4-2 Aktivität der 2002 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2002 with levels of above 1850 GBq)

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Schweiz	20.600	0	0	0	20.600
USA	0	0	0	7.700	7.700
Kanada	23.758.100	0	0	0	23.758.100
Russland	901.300	933.590	32.300	0	1.867.190
Bulgarien	0	2.800	0	0	2.800
Iran	0	0	0	0	0
Brasilien	0	0	0	0	0
Summe 2002	24.680.000	936.390	32.300	7.700	25.656.390
Stückzahl 2002	79	229	17	1	326
Summe 2001	23.719.700	725.260	138.600	1.257.029	25.840.589

Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.4-3 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2002 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein leichter Abfall festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen wie üblich bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10% U-235.

An bestrahlten Kernbrennstoffen wurden in 2002 nur 17,6 kg eingeführt.

Tabelle 1.4-3 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 2002
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2002)

Versender-land	abger. Uran	Natururan	Mit U-235 angereichertes Uran				Plutonium	Thorium	Summe
			bis 3% U-235	>3-10% U-235	>10-<20% U-235	>85-100% U-235			
	in kg	in kg	in kg	in kg	in kg	in kg	in kg	in kg	in kg
Frankreich	3.412	379.186	5.550	224.875	55	9	0	435	613.522
Belgien	40.577	8.100	0	57.108	0	0	3.202	0	108.987
Niederlande	0	108.987	48.395	45.833	0	0	0	0	203.215
Großbritannien	0	646.069	4.494	28.067	0	0	0	0	678.630
Schweden	0	237	0	63.654	0	0	0	0	63.891
Spanien	0	535	0	13.641	0	0	0	0	14.176
Schweiz	404	0	0	0	0	0	0	0	404
Tschechien	944	0	0	0	0	0	0	0	944
USA	0	580.844	638	11.516	0	0	0	0	592.998
Kanada	1	519.160	0	0	0	0	0	0	519.161
Russland	887	209.722	0	63.533	0	0	0	0	274.142
Südafrika	556	0	0	0	0	0	0	0	556
Indonesien	172	0	0	0	0	0	0	0	172
Sonstige	128	0	0	0	0	0	0	0	128
Summe 2002	47.081	2.452.840	59.077	508.227	55	9	3.202	435	3.070.926
Summe 2001	71.394	2.686.016	19.038	428.242	-	-	5.022	2.058	-

1.5 Ausfuhr
(Export statistics)

Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr lt. Tabelle 1.3-2 nahm von 548.627 GBq (2001) hauptsächlich wegen des bereits erwähnten Wegfalls der Meldepflicht für innergemeinschaftliche Verbringungen, deren Anteil bei der Ausfuhr jedoch bei weitem nicht so groß ist, wie bei der Einfuhr, relativ gleichmäßig über alle Nuklide verteilt wieder ab auf 484.827 GBq (2002).

Mit 86,4% bilden die fünf Radionuklide H-3, Se-75, Mo-99, I-131 und Ir-192 wieder den größten Anteil der insgesamt ausgeführten Aktivität, wobei der mächtigste Einzelposten auch diesmal Ir-192 ist.

2002 ist deutlich mehr Tritium in Form von Gaslichtquellen ausgeführt worden, nämlich 96.207 GBq gegenüber 65.849 GBq im Jahr 2001, wobei der größte Anteil mit 89.467 GBq wieder in die USA geliefert worden ist. Leuchtmasse ist im Berichtszeitraum nicht ausgeführt worden.

Tabelle 1.5-1 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2002
(Export of sealed and unsealed radionuclides without radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2002)

Verbraucherland	Aktivität in GBq								
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Mo-99
Schweiz	2.346	4	6.878	12	11	1.200	725	21	0
Norwegen	633	0	0	3	2	3.300	16	9	0
USA	89.467	4.263	0	608	2.430	22.540	2.835	5.921	0
Kanada	253	2	0	54	0	0	22	0	0
Australien	1.129	0	0	1	5	0	4	0	0
Neuseeland	158	0	0	0	0	0	6	0	0
Türkei	0	0	0	12	5	0	12	0	0
Japan	1	0	0	89	0	0	471	10	0
Tschechien	0	0	0	9	9	0	657	0	5.708
Slowakei	62	0	0	5	1	0	227	0	2.048
Polen	0	0	0	13	4	0	17	0	3.215
Ungarn	1.998	0	0	1	4	0	75	0	0
Russland	0	0	0	5	5	64.089	129	0	0
Georgien	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Südkorea	0	0	0	16	10	0	98	2	0
Slowenien	0	0	0	2	2	0	0	0	0
Mexico	0	0	0	30	0	0	32	0	0
Brasilien	0	0	0	1.606	0	0	18	0	0
Kolumbien	0	0	0	0	0	0	33	0	0
Singapur	2	0	0	1	2	0	3	0	0
Philippinen	0	0	0	1	0	0	3	0	0
Thailand	52	0	0	47	0	0	914	0	0
China	0	0	0	227	7	0	125	2	0
Taiwan	0	0	0	43	0	0	8	0	0
Vietnam	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indien	0	0	0	20	0	0	107	0	0
Südafrika	0	0	0	4	7	0	3	1	0
Namibia	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sudan	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Libanon	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Iran	0	0	0	0	0	0	14	0	0
Sonstige	136	1	0	215	19	0	109	14	0
Summe 2002	96.237	4.270	6.878	3.028	2.524	91.129	6.663	5.980	10.971
Summe 2001	65.919	4.029	6.378	7.066	5.060	82.621	12.291	3.086	22.610

(Fortsetzung Tabelle)

Verbraucherland	Aktivität in GBq								
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Gd-153	Ir-192	Am-241	Sonstige	Summe
Schweiz	18	4	28	1	12	13.097	39	369	24.765
Norwegen	0	0	174	0	0	2.465	15	15	6.632
USA	2.016	0	1.164	2.810	701	19.048	831	876	155.510
Kanada	0	0	4	0	0	49.123	0	0	49.458
Australien	0	0	14	0	0	1.622	6	230	3.011
Neuseeland	0	0	0	0	0	1.568	103	0	1.835
Türkei	0	0	4	0	21	1.978	35	2	2.069
Japan	0	0	12	1.580	0	26.723	263	9	29.158
Tschechien	2	4.216	28	0	28	6.150	2.343	94	19.244
Slowakei	1	890	117	0	0	784	0	6	4.141
Polen	77	4.169	530	0	0	12.698	4.266	137	25.126
Ungarn	9	0	9	740	0	9.968	418	1	13.223
Russland	0	0	0	4	0	3.192	2	0	67.426
Georgien	0	0	740	0	0	0	0	0	744
Kuwait	0	0	19	0	0	32.560	0	0	32.579
Südkorea	5	0	110	112	3	7.277	5	0	7.638
Slowenien	2	0	5	0	0	2.664	2	0	2.677
Mexico	0	0	51	0	0	855	0	0	968
Brasilien	0	0	231	32	0	5.870	87	10	7.854
Kolumbien	0	0	0	0	0	524	0	0	557
Singapur	0	0	67	0	0	3.698	0	0	3.773
Philippinen	0	0	0	0	0	1.534	0	0	1.538
Thailand	0	0	2	25	0	2.670	12	0	3.722
China	0	555	818	724	10	0	111	2	2.581
Taiwan	1	0	42	25	7	2.647	2	0	2.775
Vietnam	0	0	0	0	0	745	2	0	747
Indien	0	0	55	0	0	6.440	1.295	9	7.926
Südafrika	0	4	0	25	10	1.260	41	10	1.365
Namibia	0	0	0	0	0	950	2	0	952
Sudan	0	0	0	0	0	847	3	0	850
Libanon	0	0	0	0	0	731	0	1	733
Iran	0	0	1.150	0	0	0	20	0	1.184
Sonstige	112	0	492	127	5	671	124	41	2.066
Summe 2002	2.243	9.838	5.866	6.205	797	220.359	10.027	1.812	484.827
Summe 2001	3.592	57.639	16.586	7.176	1.156	245.669	4.794	2.176	543.627*

* einschließlich I-123 mit 779 GBq

Umschlossene Strahlenquellen ab 1.850 GBq

Die Gesamtausfuhr an umschlossenen Strahlenquellen ab 1.850 GBq (Tabelle 1.5-2) hat sich trotz des Fehlens der Daten über innergemeinschaftliche Verbringungen nahezu verdoppelt.

Dies liegt an der Tatsache, dass annähernd die Hälfte der ausgeführten Aktivität in Form von Co-60-Quellen an den Hersteller nach Kanada zurückgeliefert worden ist, was ohne Zweifel gut mit dem gleichzeitigen Bezug frischer Quellen von dort korreliert.

Tabelle 1.5-2 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2002
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2002)

Verbraucherland	Aktivitäten in BBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Schweiz	0	14.400	0	62.086	76.486
USA	0	7.900	0	0	7.900
Kanada	1.136.600	0	0	0	1.136.600
Tschechien	0	11.100	0	0	11.100
Slowakei	0	2.900		0	2.900
Polen	0	14.300	0	0	14.300
Bulgarien	0	2.900	0	0	2.900
Jugoslawien	0	0	0	1.921	1.921
Bo-Herzegowina	0	3.000		3.700	6.700
Ägypten	0	0	0	10.175	10.175
Südafrika	0	2.800	1.850	0	4.650
Südkorea	0	0	5.550	0	5.550
Kuwait	0	0	0	3.700	3.700
Thailand	0	2.800	0	3.700	6.500
China	0	0	131.250	0	131.250
Taiwan	0	2.800	81.400	0	84.200
Indonesien	0	11.800	0	41.440	53.240
Philippinen	0	2.700	0	0	2.700
Slowenien	0	0	0	6.319	6.319
Bangladesch	0	0	0	3.700	3.700
Kamerun	0	0	0	3.700	3.700
Malaysia	0	20.100	0	11.100	31.200
Brasilien	403.000	20.700	0	0	423.700
Chile	0	0	0	11.100	11.100
Ecuador	0	0	0	6.744	6.744
Libyen	0	0	0	7.770	7.770
Summe 2002	1.539.600	120.200	220.050	177.155	2.057.005
Stückzahl 2002	47	41	12	54	154
Summe 2001	335.180	246.900	207.050	333.327	1.122.457

Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 1.5-3 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Die Ausfuhrmenge ist mit 3.052.202 kg (2002) gegenüber 3.047.365 kg (2001) praktisch gleich geblieben.

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 2002
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2002)

Verbraucherland	abger. Uran	Natururan	Mit U-235 angereichertes Uran		Plutonium	Summe
			bis 3% U-235	>3-10% U-235		
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Frankreich	2.570	223.025	3	128.715	183	354.496
Belgien	41	0	419	132.363	0	132.823
Niederlande	0	0	0	10.290	0	10.290
Großbritannien	276.097	118	0	18.141	0	294.356
Spanien	0	0	0	30.706	0	30.706
Schweden	0	0	20	88.396	0	88.416
Finnland	0	0	0	22.577	0	22.577
Tschechien	2.234	0	0	0	0	2.234
USA	0	74	27	108.527	0	108.628
Kanada	92	51	0	0	0	143
Russland	1.992.203	0	0	0	0	1.992.203
Brasilien	232	0	551	13.591	0	14.374
Sonstige	955	0	0	1	0	956
Summe 2002	2.274.424	223.268	1.020	553.307	183	3.052.202
Summe 2001	2.469.672	72.921	1.182	449.590	107	3.047.365*

* einschließlich Ausgangsstoffe mit 26.393 kg

Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 1.5-4 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt.

Die insgesamt ausgeführte Menge von 335.318 kg stellt fast ausschließlich den Inhalt bestrahlter Brennelemente aus zivilen Leistungsreaktoren dar.

Nach der Aufhebung der Aussetzung von Transporten (wegen der seinerzeit aufgetretenen erhöhten Außenkontamination) für bestrahlte Brennelemente der Vorjahre im Frühjahr 2001 konnten die Lieferungen zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien jetzt wieder ganzjährig abgewickelt werden.

Lediglich bei den Kleinmengen (27 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 2002 in kg
(Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in kg in the year 2002)

Empfängerland	abger. Uran	Natururan	Mit U-235 angereichertes Uran		Plutonium	Summe
			bis 3% U-235	20-85% U-235		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Frankreich	141.870	7.194	79.515	0	2.221	230.800
Niederlande	21	0	1	0	1	23
Großbritannien	103.389	0	0	0	1.077	104.466
Schweden	2	0	0	0	0	2
USA	0	0	0	27	0	27
Summe	245.282	7.194	79.516	27	3.299	335.318

2. Beförderung radioaktiver Stoffe *(Transportation of radioactive materials)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, Salzgitter

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

Im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses standen im Jahre 2002 die Beförderung von bestrahlten Brennelementen und hochradioaktiven Abfällen (HAW-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente), die einer Beförderungsgenehmigung nach § 4 Atomgesetz durch das BfS bedürfen.

In Erfüllung der privatrechtlichen Verträge zur Rücknahme der radioaktiven Abfälle aus Frankreich, die durch Notenwechsel zwischen den beiden Ländern flankiert sind, erfolgte erstmalig ein Rücktransport von zugleich zwölf Behältern mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der französischen Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in das Transportbehälterlager (TBL) Gorleben.

Mit nur 43 Transporten wurden insgesamt 93 Behälter mit bestrahlten Brennelementen von verschiedenen Kernkraftwerksstandorten zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich (COGEMA) und Großbritannien (BNFL) verbracht.

2.1 Übersicht über Beförderungsgenehmigungen und Transporte radioaktiver Stoffe *(Overview of transport licences and the transportation of radioactive material)*

Gemäß § 23 AtG ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen (§ 4 AtG) für Kernbrennstoffe und Beförderungsgenehmigungen (§ 16 StrlSchV) für Großquellen. Im Jahr 2002 wurden zusammen 183 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

2002 wurden insgesamt 479 Transporte mit Kernbrennstoffen (s. Tabelle 2.1-1) und 9 Transporte mit Großquellen durchgeführt.

Tabelle 2.1-1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2002 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart) ***(Overview of the number of indicated shipments of nuclear fuels in the year 2002 -*** *with differentiation between means and type of transport)*

Inlandtransporte	
Schiene / bestrahltes Material	0
Schiene / unbestrahltes Material	1
Schiene/Reststoffe und Abfall	0
Straße / unbestrahltes Material	50
Straße / bestrahltes Material	5
Straße / Reststoffe und Abfall	8
insgesamt	64
Grenzüberschreitende Transporte	
Luft / unbestrahltes Material	1
Luft / bestrahltes Material	0
Luft / Reststoffe und Abfall	0
See / unbestrahltes Material	81
See / bestrahltes Material	1
See / Reststoffe und Abfall	22
Schiene / unbestrahltes Material	0
Schiene / bestrahltes Material	43
Schiene / Reststoffe und Abfall	1
Straße / unbestrahltes Material	238
Straße / bestrahltes Material	28
Straße / Reststoffe und Abfall	0
insgesamt	415

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen *(Transportation of radioactive material in the rail- and shipping traffic of the railways)*

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA), Bonn

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

Die folgenden Angaben für das Jahr 2002 wurden vom EBA für den Jahresbericht 2002 erstellt.

Tabelle 2.2-1 Zahl der jährlich beförderten Wagenladungen, Stückgutsendungen und Expressgutversandstücke mit radioaktiven Stoffen ***(Number of yearly transported truck-loads, general cargoes, and express packages containing radioactive material)***

Jahr	Wagenladungen	Stückgut	Expressgut
1990	558	2 100	10 000
1991	744	2 300	8 000
1992	562	2 700	6 000
1993	662	a)	a)
1994	745	a)	a)
1995	654	a)	b)
1996	780	a)	b)
1997	678	a)	b)
1998	415	a)	b)
1999	204 /c)	a)	b)
2000	258 /c)	a)	b)
2001	336	a)	b)
2002	434	a)	b)

a) Annahmebeschränkung der DB AG
b) ab dem 26.Mai 1995 wurde Expressgut für radioaktive Stoffe eingestellt
c) rückläufig überwiegend wegen Aussetzung von Brennelementetransporten

Tabelle 2.2-2 Wagenladungssendungen 2002
(Truck-loads in 2002)

Art der Sendung	Anzahl der Wagen		Bruttogewicht der Ladung (t) (z. T. geschätzt)	
	2002	2001	2002	2001
Kernbrennstoffe				
Unbestrahlte Brennelemente *)	0		0	0
Bestrahlte Brennelemente	106	70	9.765,80	7.388,85
Bestrahlte Brennstoffproben	0	0	0	0
angereichertes Uranium in Form von Uraniumhexafluorid (UF_6), anger. Uranium in Form von UF_6 - Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z.B. Uranylnitrat (UNH)	0	0	0	0
Konditionierte Rückstände z.B. in 200 l - Metallfässern mit Zusatzabschirmung **)	0	0	0	0
Sonstige radioaktive Stoffe				
Uranium der natürl. Isotopenzusammen-setzung in Form von Uraniumhexafluorid (UF_6) ***)	68	43	2.891,30	1.843,89
Rückstände aus UF_6-Ausheizungen (Heels)***)	0	0	0	0
Uranium der natürl. Isotopenzusammen-setzung in Form von UF_6 Konversions-produkten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z.B. Uranylnitrat (UNH)***)	0	0	0	0
Abgereichertes Uranium in Form von z.B. Uraniumhexafluorid (UF_6),	0	0	0	0
Uraniumerze, Uraniumerzkonzentrate	49	18	1.045,03	442,43
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z.B. in 200 l - Metallfässer **)	126	140	3.645,17	4.287,49
Strahlenquellen, (Co-60, Cs-137, Am-241) sowie Geräte einschl. Strahlenquellen, Niobium-Konzentrate	0	0	0	0
Leere Verpackungen, innen kontaminiert	4	2	-	-
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	81	63	7.054,00	4.920,0
Summe	434	336	24.401,30	8 213

*) Bei sämtlichen Wagenladungssendungen mit unbestrahlten Brennelementen handelt es sich entweder um Transit- oder grenzüberschreitende Transporte

**) Es handelt sich um Transporte im Zusammenhang mit der Konditionierung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfallstoffe sowie den Transport radioaktiv kontaminierter Gegenstände

*** als sonstige radioaktive Stoffe gem. § 2 AtG

Tabelle 2.2-3 Aufteilung der Transporte im Jahr 2002 im Bereich der losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückstände zu folgenden Empfängern
(Allocation of transports into loose, solid and low-activity residues, in 2002, to the following addresses)

Monat	nach ERAM *	nach Studsvik (Schweden)	Nach Gorleben	nach Mitterteich	nach Duisburg (GNS)	nach Jülich (KFA)	zum Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)	zu sonstigen Stellen (z.B. Kernkraftwerke, etc.)
Jan.	-	1	-	2	-	-	-	7
Feb.	-	4	-	-	-	2	-	9
März	-	3	-	2	1	2	-	10
April	-	2	-	1	-	1	1	16
Mai	-	1	1	-	1	2	1	15
Juni	-	4	2	2	-	-	2	10
Juli	-	-	-	1	1	1	1	15
Aug.	-	2	-	1	-	1	-	4
Sept.	-	3	1	1	-	1	-	18
Okt.	-	-	-	2	2	1	1	13
Nov.	-	-	1	4	2	-	-	14
Dez.	-	4	3	2	1	1	-	8
Summe**	-	24	8	18	8	12	6	139

* Einlagerungsstop für das Endlager Morsleben (ERAM) seit 1998

** Gesamtsumme aller Transporte loser und verfestigter schwachradioaktiver Rückstände beträgt 215, dies entspricht den 126 Wagenladungen in Tabelle 2.2-2.

Beförderte Gesamtaktivität

Im Jahr 2002 erreichte die beförderte Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr 18.167,58 PetaBq.

3. Umgang mit offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen
(The handling of sealed and unsealed radioactive sources)

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

Nach § 3 Abs. 2 Nr. 34 der 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. 1 Nr. 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 1997 bis 2002 wiedergegeben. Die Zahl der Verwender ist auf vier Bereiche aufgeschlüsselt:
- Medizin einschließlich medizinischer Forschung und Lehre,
- Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- Industrie und gewerbliche Wirtschaft,
- Sonstige (z. B. Behörden).

Die Gesamtzahl der Verwender radioaktiver Stoffe ist gegenüber dem Vorjahr leicht gestiegen. Der höchste Anteil von 56,1% ist auch im Jahr 2002 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 24,9% 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 2002 den Angaben des Jahres 2001 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 2002 deutlich höher (Faktor 8 bzw. 14) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 2001 ist die Gesamtzahl in diesem Bereich nahezu gleich geblieben, die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung hat sich um 28% verringert.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach § 11 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2002 gibt Tabelle 3.1-3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender erhöhte sich um 6,2%.

Tabelle 3.1-4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 2001 und 2002. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine absteigende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 2002 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 79,2% auf Umgang nach § 7 StrlSchV, zu 2,8% auf Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung (§ 11 StrlSchV) , zu ca. 2,5% auf Beförderung (§ 16 StrlSchV) und zu 15% auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 15 StrlSchV). Nur ca. 0,4% der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 3.1-5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 2001 und 2002 erteilten Genehmigungen nach §§ 7, 11, 15, 16 StrlSchV und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 2001 nahm die Zahl der 2002 erteilten Genehmigungen um ca. 7% ab.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2002 kann einer Übersicht in Tabelle 3.1-6 entnommen werden. Von den insgesamt 13.716 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 10 Präparate (ca. 0,1%) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, 1 Cäsium-137-Quelle, 6 Nickel-63-Quellen, 1 Cobalt-57-Quelle, und 2 Kohlenstoff-14-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 1997 - 2002
(Number of users of radioactive sources in the Federal Republic of Germany from 1996 to 2002)

Bundesland	Verwender	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Baden-	Verwender radioaktiver Stoffe	1824	1814	1700	1552	1798	1985
Württemberg	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	433	481	462	493	508	527
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	409	285	240	247	251	263
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	972	1025	956	768	992	1017
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	10	23	42	44	47	178
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1721	1742	1639	1595	1551	1517
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	376	382	365	364	354	343
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	188	195	222	220	210	225
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1059	1074	1009	975	954	911
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	98	91	43	36	33	38
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	950	971	1021	993	1008	1029
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	404	413	434	437	444	455
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	372	380	402	366	365	371
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	174	178	185	189	198	201
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	0	0	0	1	1	2
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	233	255	259	280	290	285
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	33	34	28	30	31	29
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	19	23	27	25	27	28
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	167	181	196	215	221	214
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	14	17	8	10	11	14
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	96	119	112	112	111	102
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	18	28	25	25	22	20
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	6	6	6	6	6	7
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	71	73	70	70	71	64
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	1	12	11	11	12	11
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	303	309	309	288	269	270
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	63	66	63	51	43	51
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	31	32	37	36	29	32
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	188	190	191	181	179	169
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	21	21	18	20	18	18
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	760	758	725	740	713	697
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	200	196	189	198	195	190
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	88	94	94	99	90	83
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	428	425	401	403	390	388
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	44	43	41	40	38	36
Mecklenburg-	Verwender radioaktiver Stoffe	242	250	220	222	237	198
Vorpommern	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	74	77	43	46	77	45
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	34	35	38	38	34	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	126	130	132	130	122	117
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	8	8	7	8	4	2
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1137	1051	1095	954	918	930
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	239	234	295	220	211	218
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	134	123	119	109	113	97
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	746	663	648	591	561	588
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	18	31	33	34	33	27
Nordrhein-	Verwender radioaktiver Stoffe	2545	1854	2337	2377	1796	2284
Westfalen	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	755	507	633	641	479	533
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	102	97	97	95	85	79
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1636	1243	1585	1565	1192	1586
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	52	7	22	76	40	86

(Fortsetzung Tabelle)

Bundesland	Verwender	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Rheinland-	Verwender radioaktiver Stoffe	574	551	559	515	542	577
Pfalz	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	216	194	180	134	151	156
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	31	23	30	41	63	77
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	249	266	284	275	296	304
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	78	68	65	65	32	40
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	82	80	77	86	83	80
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	26	28	28	32	31	27
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	2	2	2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	53	48	44	48	46	45
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	1	2	3	4	4	6
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	586	621	608	591	561	566
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	98	111	111	109	101	100
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	162	173	168	166	169	167
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	169	178	170	178	158	169
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	157	159	159	138	133	130
Sachsen-	Verwender radioaktiver Stoffe	382	403	395	415	406	404
Anhalt	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	45	50	53	53	54	55
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	36	45	51	45	45	46
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	280	281	261	290	284	276
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	21	27	30	27	23	27
Schleswig-	Verwender radioaktiver Stoffe	436	436	436	361	364	329
Holstein	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	119	119	119	74	78	84
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	34	34	34	18	17	16
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	256	256	256	254	254	211
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	27	27	27	15	15	18
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	243	243	254	255	252	261
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	28	28	28	30	29	30
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	11	11	10	9	10	10
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	197	194	205	205	201	205
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	7	10	11	11	12	16
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	12114	11457	11746	11336	10899	11514
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	3127	2948	3056	2937	2808	2863
	das entspricht	25,8%	25,7%	26,0%	25,9%	25,8%	24,9%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	1659	1558	1577	1522	1516	1537
	das entspricht	13,7%	13,6%	13,4%	13,4%	13,9%	13,3%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	6771	6405	6593	6337	6119	6465
	das entspricht	55,9%	55,9%	56,1%	55,9%	56,1%	56,1%
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	557	546	520	540	456	649
	das entspricht	4,6%	4,8%	4,4%	4,8%	4,2%	5,6%

Tabelle 3.1-2 **Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 2001 und 2002**
(Survey on the number of users of radioactive sources and the type of the individual areas of application from 2001 to 2002)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von radioaktiven Stoffen		Von Spalte 2 entfallen auf								Von Spalten 3 bis 6 entfallen Verwender ausschließl. umschlossener radioaktiver Stoffe auf									
			Medizin einschl. med. Forschung und Lehre		Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbl. Wirtschaft		Sonstige		Medizin einschl. med. Forschung und Lehre		Forschung u. Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbl. Wirtschaft		In Spalte 9 enth. zerstörungsfreie, ortsveränderl. Werkstoffprüfung		Sonstige	
1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Baden-Württemberg	1798	1985	508	527	251	263	992	1017	47	178	117	122	64	65	776	797	46	50	23	25
Bayern	1551	1517	354	343	210	225	954	911	33	38	34	36	69	75	901	853	12	12	23	30
Berlin	1008	1029	444	455	365	371	198	201	1	2	125	126	18	18	126	125	11	11	0	0
Brandenburg	290	285	31	29	27	28	221	214	11	14	12	12	7	9	185	187	8	9	1	2
Bremen	111	102	22	20	6	7	71	64	12	11	4	9	3	6	49	45	2	2	6	7
Hamburg	269	270	43	51	29	32	179	169	18	18	4	4	9	8	139	129	6	4	8	8
Hessen	713	697	195	190	90	83	390	388	38	36	15	26	7	8	252	258	5	5	9	10
Mecklenburg-Vorpommern	237	198	77	45	34	34	122	117	4	2	14	13	6	7	101	99	3	5	3	1
Niedersachsen	918	930	211	218	113	97	561	588	33	27	51	52	19	22	521	538	28	20	16	13
Nordrhein-Westfalen	1796	2284	479	533	85	79	1192	1586	40	86	21	65	33	33	954	1331	70	0	65	64
Rheinland-Pfalz	542	577	151	156	63	77	296	304	32	40	76	108	30	44	207	211	8	9	20	26
Saarland	83	80	31	27	2	2	46	45	4	6	0	0	1	1	30	30	5	5	3	2
Sachsen	561	566	101	100	169	167	158	169	133	130	35	34	46	50	152	156	15	15	128	129
Sachsen-Anhalt	406	404	54	55	45	46	284	276	23	27	12	12	11	11	233	239	23	20	17	19
Schleswig-Holstein	364	329	78	84	17	16	254	211	15	18	26	36	10	10	100	182	5	5	11	15
Thüringen	252	261	29	30	10	10	201	205	12	16	7	7	2	2	161	165	13	14	3	8
Summe	10899	11514	2808	2863	1516	1537	6119	6465	456	649	553	662	335	369	4887	5345	260	186	336	359

Tabelle 3.1-3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 2001 und 2002 (§ 11 StrlSchV)
(Survey on the number of users of facilities for the generation of ionising radiation in 2001 and 2002 - § 11 StrlSchV)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschl. medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z. B. Behörden)	
1	2		3		4		5		6	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Baden-Württemberg	55	58	34	35	16	16	5	5	0	2
Bayern	48	57	36	38	5	10	7	8	0	1
Berlin	40	43	23	25	17	18	0	0	0	0
Brandenburg	8	6	6	6	2	0	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	13	11	7	6	3	3	2	1	1	1
Hessen	20	19	14	13	4	4	2	2	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	5	7	5	6	0	1	0	0	0	0
Niedersachsen	31	31	21	23	4	4	5	3	1	1
Nordrhein-Westfalen	78	93	63	77	8	9	7	7	0	0
Rheinland-Pfalz	14	15	12	13	2	2	0	0	0	0
Saarland	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	29	28	19	18	10	9	0	1	0	0
Sachsen-Anhalt	9	9	6	6	0	0	3	3	0	0
Schleswig-Holstein	24	21	23	20	0	0	0	0	1	1
Thüringen	8	8	6	6	1	1	1	1	0	0
Summe	388	412	281	298	72	77	32	31	3	6

Tabelle 3.1-4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)

Bundesland	Umgang (§ 7) [1]		Beförderung (§ 16) [1]		Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen (§ 11) [1]		Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 15) [1]		Umgang nach§ 9 AtG		Gesamtzahl	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Baden-Württemberg	2305	2319	80	73	88	88	523	516	1	1	2997	2997
Bayern	1622	1678	52	28	49	57	443	396	17	17	2183	2176
Berlin	1008	1029	97	15	40	43	173	193	2	2	1320	1282
Brandenburg	325	316	17	14	8	7	42	47	0	0	392	384
Bremen	144	137	20	17	3	3	33	27	1	1	201	185
Hamburg	344	340	26	24	20	16	59	75	0	0	449	455
Hessen	1195	1127	14	8	42	45	267	272	7	7	1525	1459
Mecklenburg-Vorpommern	211	206	4	5	6	3	72	62	0	0	293	276
Niedersachsen	2106	2288	144	144	49	51	280	284	2	2	2581	2769
Nordrhein-Westfalen	4236	4006	161	86	138	148	698	687	16	41	5249	4968
Rheinland-Pfalz	555	601	39	33	16	18	117	132	2	2	729	786
Saarland	149	143	17	14	7	7	16	14	0	0	189	178
Sachsen	577	581	35	17	29	28	187	187	8	8	836	821
Sachsen-Anhalt	441	438	25	20	14	15	53	51	1	1	534	525
Schleswig-Holstein	635	569	14	10	25	26	108	94	0	0	782	699
Thüringen	313	327	8	7	15	15	20	23	1	0	357	372
Summe	16166	16105	753	515	549	570	3091	3060	58	82	20617	20332

1) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

Tabelle 3.1-5 Übersicht über die 2001 und 2002 erteilten Genehmigungen
(§§ 7, 11, 15, 16, StrlSchV und § 9 AtG)
(Survey on the licenses granted in 2001 and 2002 -** §§ 7,11,15,16 StrlSchV, § 9 AtG**)

Land	**Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)**	
	2001	2002
Baden-Württemberg	259	229
Bayern	293	249
Berlin	123	141
Brandenburg	83	76
Bremen	49	48
Hamburg	275	243
Hessen	211	220
Mecklenburg-Vorpommern	54	17
Niedersachsen	271	273
Nordrhein-Westfalen	697	642
Rheinland-Pfalz	154	136
Saarland	73	57
Sachsen	179	164
Sachsen-Anhalt	142	134
Schleswig-Holstein	103	113
Thüringen	106	108
Summe	3072	2850

Tabelle 3.1-6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2002

(Survey on the scope and the results of monitoring of sealed radioactive sources in the year 2002)

BUNDES-LAND	Gesamt-zahl der durchge-führten Dicht-heitsprü-fungen	Von Spalte 2 entfallen auf:									Anz. der bei den Prüfun-gen lt. Spalte 2 als undicht ermittel-ten Präpa-rate	Von Spalte 12 entfallen auf:				Sonstige Nuklide
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutro-nen-quellen	Sons-tige Nuklide		Sr-90	Cs-137	Ra-226	Am-241	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	18	19	21
Baden-Württemb.	2043	158	624	467	21	2	66	249	86	370	2	0	0	0	0	2 C-14
Bayern	2253	160	355	345	40	1	46	275	127	904	7	0	0	0	0	6 Ni-63; 1 Co-57
Berlin	352	37	156	81	4	0	5	21	11	37	0	0	0	0	0	
Brandenburg	665	85	13	410	1	0	4	65	32	55	0	0	0	0	0	
Bremen	83	45	0	13	0	0	1	20	3	1	0	0	0	0	0	
Hamburg	193	28	41	37	0	0	4	32	5	46	0	0	0	0	0	
Hessen	530	115	88	113	9	0	7	63	35	100	0	0	0	0	0	
Mecklenb.-Vorp.	483	61	181	97	0	0	1	48	4	91	0	0	0	0	0	
Nieder- sach-sen	1033	202	169	539	18	0	39	31	6	29	0	0	0	0	0	
Nordrhein-Westfalen	2263	345	349	462	50	1	148	553	6	349	0	0	0	0	0	
Rheinland-Pfalz	382	15	149	60	11	0	3	97	1	46	0	0	0	0	0	
Saarland	29	0	2	11	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	
Sachsen	2404	790	168	1067	8	0	5	122	58	186	1	0	1	0	0	
Sachsen-Anhalt	614	34	4	432	0	0	1	26	21	96	0	0	0	0	0	
Schleswig-Holstein	197	7	30	91	5	0	16	15	12	21	0	0	0	0	0	
Thüringen	192	26	12	115	1	0	0	6	6	26	0	0	0	0	0	
Summe	13716	2108	2341	4340	168	4	346	1639	413	2357	10	0	1	0	0	

3.2 Radioaktive Stoffe in Konsumgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen

(Radioactive substances in consumer goods, industrial products and radioactive sources)

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

Zum Schutz des Verbrauchers ist nach der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bei einigen Produkten der Zusatz radioaktiver Stoffe oder die Aktivierung unzulässig. Dies betrifft z. B. Lebensmittel, Spielwaren, Schmuck, kosmetische Produkte und Futtermittel. Bei bestimmten Industrieerzeugnissen und Konsumgütern bedarf der Zusatz radioaktiver Stoffe, deren Aktivierung sowie der Import und Export dieser Produkte einer Genehmigung. Außer bei Gütern mit geringer Aktivität ist ein Rücknahmekonzept Voraussetzung. Die Strahlenschutzverordnung verpflichtet den Hersteller zur kostenlosen Rücknahme des Konsumgutes und den letzten Verbraucher dazu, die Produkte nach der Nutzung zurückzuführen.

Nach der Strahlenschutzverordnung können Vorrichtungen, in die radioaktive Stoffe eingefügt sind, auch genehmigungsfrei verwendet werden, wenn diese eine Bauartzulassung besitzen. Diese Möglichkeit ist allerdings an eine Reihe von Auflagen gebunden, z. B. hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art und Aktivität der Radionuklide, der Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Bauartzugelassene Vorrichtungen sind keine Konsumgüter. Typische Fälle für eine genehmigungsfreie Verwendung sind z. B.:

- Geräte oder andere Vorrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart das Bundesamt für Strahlenschutz als zuständige Behörde nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zugelassen hat (z. B. Ionisationsrauchmelder), und
- bestimmte Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen.

Unter diese Regelungen fallen eine große Zahl von Erzeugnissen, die vorwiegend in Wissenschaft und Technik verwendet werden. Die in diesen Produkten eingesetzten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Es handelt sich z. B. um technische Speziallampen, die dazu beitragen, Energie zu sparen oder Ionisationsrauchmelder, die ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Warnvorrichtungen garantieren.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

Nach der StrlSchV muss im Allgemeinen die Verwendung von Strahlenquellen für Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtemessungen von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Die in der Materialprüfung Beschäftigten gehören zum Kreis der beruflich strahlenexponierten Personen. Für Werkstoffprüfungen ist Iridium-192 das weitaus am häufigsten verwendete Radionuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Strahlenquelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die heute üblicherweise eingesetzten spezifischen Aktivitäten liegen im Bereich von 7,4 bis 14,8 Tera-Becquerel/Gramm.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit Gammastrahlern (Kobalt-60 und Cäsium-137) mit einer Aktivität bis zu 1 Giga-Becquerel. 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 erhöhte Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Krypton-85, Strontium-90 und Promethium-147 als Betastrahler und Kobalt-60 und Cäsium-137 als Gammastrahler benutzt. Die Aktivitäten liegen etwa zwischen 370 Mega-Becquerel und 370 Giga-Becquerel. Geräte mit Betastrahlung werden in der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit Gammastrahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickemessung, in der Lebensmittelindustrie und chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Störstrahlern

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der verwendeten Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der Verbreitung der Erzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht. Dies gilt u. a. für Geräte oder andere Vorrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) geprüft ist und die vom Bundesamt für Strahlenschutz zugelassen worden sind.

Neben den gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist der Grundsatz zu beachten, dass mit der Anwendung ein gerechtfertigter Vorteil verbunden sein muss. Andere Quellen ionisierender Strahlung sind die sogenannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlung erzeugt wird, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu den genehmigungsfreien Störstrahlern gehören heute Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildern, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. In der Vergangenheit wurde bei den meisten der von der PTB gemäß der früheren Röntgenverordnung überprüften Geräten dieser Art die vorgeschriebene höchstzulässige Ortsdosisleistung von 1 Mikrosievert pro Stunde in 10 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Obwohl bei Datensichtgeräten die Betrachtungsabstände nur etwa 0,5 m (ca. 3 m bei Fernsehgeräten) betragen und die zu unterstellende Betrachtungszeit mit acht Stunden im Vergleich zu Fernsehgeräten sehr viel länger ist, verursachen diese Geräte eine Strahlenexposition, die für die betroffenen Personen nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition beträgt.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen, sofern diese Geräte mit einer Spannung zur Beschleunigung der Elektronen über 30 kV arbeiten und keine Bauartzulassung besitzen. Auch Radargeräte gehören zu den Störstrahlern im Sinne der Röntgenverordnung.

3.3 Bestand radioaktiver Abfälle *(Stock of radioactive wastes)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutzm, Sicherheit nuklearer Entsorgung

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Abfälle an:

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

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

Der Bestand an radioaktiven Abfällen für die einzelnen Abfallverursachergruppen wird sowohl für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als auch für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle jährlich in einer Erhebung durch das BfS ermittelt. Tabelle 3.3-1 enthält die zusammengefassten Daten für das Jahr 2000 für Rohabfälle (unbehandelte Abfälle), Zwischenprodukte (behandelte Abfälle) und Abfallgebinde (konditionierte Abfälle). Nicht enthalten ist in dieser Aufstellung der Bestand abgebrannter Brennelemente.

Tabelle 3.3-1 Übersicht über die Volumina zwischengelagerter radioaktiver Abfälle am 31. Dezember 2000, Angaben in m³
(Survey on the volume of intermediately stored radioactive wastes on 31 December 2000, indications in m^3)

Reststoffart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
unbehandelte Abfälle (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle)	34193	450
Zwischenprodukte	5283	
konditionierte Abfälle	67220	1494

Insgesamt lagerten bei allen Abfallverursachern 34.193 m³ unbehandelte Abfälle; wobei sich unter diesen auch verwertbare Reststoffe befanden, die weiter- bzw. wiederverwendet oder nach entsprechenden Maßnahmen freigegeben werden können. Der Bestand an Zwischenprodukten mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung belief sich auf 5 283 m³. Diese lagern zum überwiegenden Teil bei den Abfallverursachern, zum Teil aber auch in zentralen Zwischenlagern. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung betrug am 31. Dezember 2000 insgesamt 67.220 m³. Auch diese Bestände lagern sowohl bei den Abfallverursachern als auch in Zwischenlagern.

Detailliertere Angaben zum Bestand der konditionierten Abfälle am 31. Dezember 2000 sind für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.3-2 und für wärmeentwickelnde Abfälle in Tabelle 3.3-3 für die einzelnen Abfallverursachergruppen aufgeführt.

Tabelle 3.3-2 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen, Zwischenprodukten und konditionierten Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2000; Angaben in m³
Survey on the stock of unprocessed raw wastes, intermediate products and conditioned wastes with negligible heat generation according to groups of waste producers on 31 December 2000, indications in m³

Verursachergruppe	unbehandelte Rohabfälle	Zwischenprodukte	konditionierte Abfälle
Forschungseinrichtungen	411	484	32678
kerntechnische Industrie	11171	404	3368
Kernkraftwerke	11810	3297	16338
Landessammelstellen	720	231	2700
Sonstige	2171	867	0
Wiederaufarbeitung	910	0	12136
Summe	**34193**	**5283**	**67220**

Neben dem Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen lagerten am 31. Dezember 2000 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 450 m³ wärmentwickelnde Rohabfälle und 1494 m³ wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle. Der Hauptanteil kommt hierbei aus den stillgelegten Kernkraftwerken, insbesondere aus dem Hochtemperaturreaktor Hamm-Uentrop (THTR). Die aus dem THTR entladenen Kugelbrennelemente sollen direkt endgelagert werden. In den konditionierten Wiederaufarbeitungsabfällen sind 3 Behälter mit 84 Kokillen mit verglastem Spaltkonzentrat aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente bei der COGEMA enthalten. Bei den wärmeentwickelnden Rohabfällen handelt es sich um Spaltproduktkonzentrat aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) sowie um Core-Schrott aus einem Kernkraftwerk. Die Aufteilung des Bestandes an wärmeentwickelnden Abfällen wird in Tabelle 3.3-3 aufgezeigt.

Tabelle 3.3-3 Übersicht über den Bestand an unbehandelten Rohabfällen und konditionierten wärmeentwickelnden Abfällen nach Verursachergruppen am 31. Dezember 2000; Angaben in m³
(Survey on the stock of unprocessed raw wastes and conditioned heat generating wastes according to groups of waste producers on 31 December 2000, indications in m³)

Verursachergruppe	unbehandelte Rohabfälle	konditionierte Abfälle
Forschungseinrichtungen		79
kerntechnische Industrie		
Kernkraftwerke	390	1326
Landessammelstellen		19
Sonstige		
Wiederaufarbeitung	60	70
Summe	**450**	**1494**

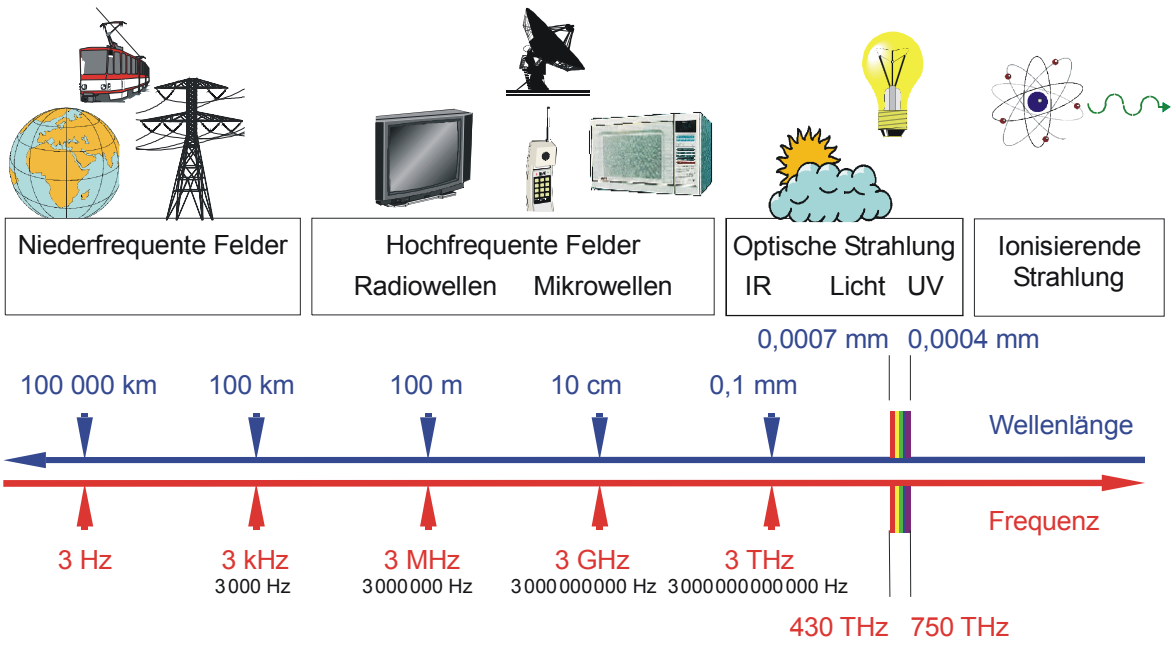
ABSCHNITT B
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

(NON-IONISING RADIATION)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, 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 werden die physikalischen Grundlagen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder erklärt, Quellen und mögliche Expositionen angegeben, biophysikalische Wirkungsmechanismen erläutert und die nachgewiesenen sowie möglichen gesundheitlichen Wirkungen dargestellt.



BfS	Das elektromagnetische Spektrum *(The electromagnetic spectrum)*	1

1. Statische Felder *(Static fields)*

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

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

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z. B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilen (z. B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z. B. zu einer Potentialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem

statischen Magnetfeld von 1 T. Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5 T- Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7 % verringern kann. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen aber den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

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

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 µT) auf. Für den Menschen konnte eine 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 Köperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschafts angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^2/_3$ 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 Effekte.

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 (µT)
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 µT bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte (sogenannte 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 werden als wissenschaftlich begründeter Verdacht gewertet und erfordern eine intensive Suche nach möglichen Zusammenhängen. Auf Grund der vorliegenden Befunde aus epidemiologischen Untersuchungen hat die WHO niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend eingestuft.

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

Alle in der Tabelle enthaltenen Werte liegen Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV (s. Tab. 2-1). Eine Überschreitung wurde nur kurzzeitig, hauptsächlich während der Arbeit mit Maschinen beobachtet.

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

Tabelle 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 sekündliche Messungen

3. Hochfrequente Felder
(High frequency fields)

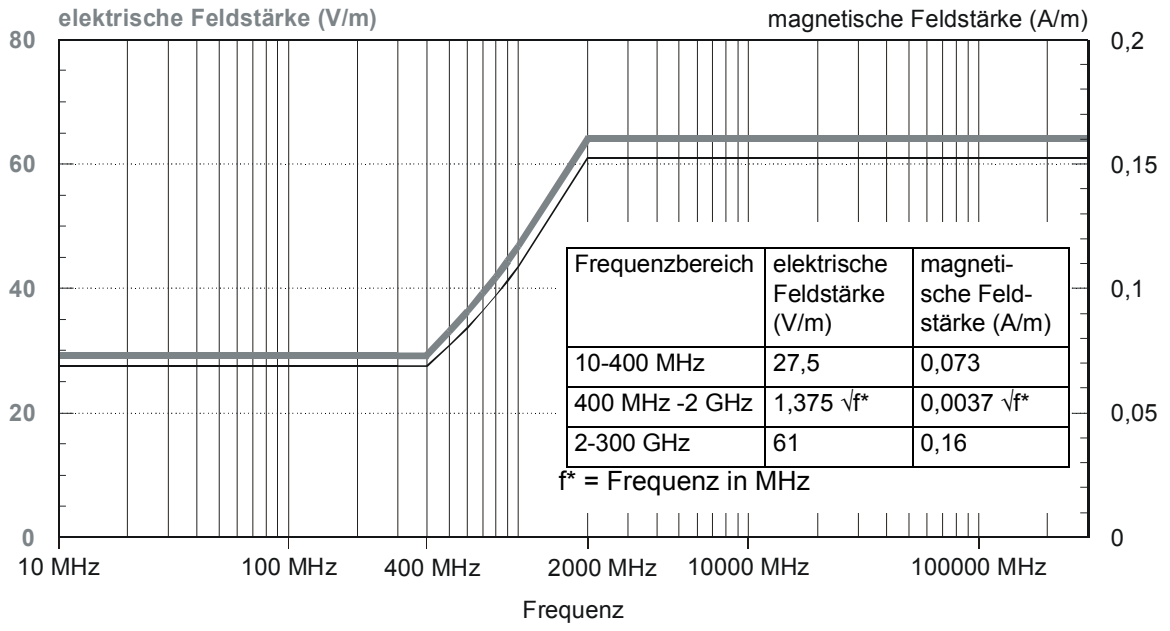
Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein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

Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode NMR werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kernspin-Systems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. 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 Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Damit werden nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand nachgewiesene gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen.

Aus den zulässigen SAR-Werten können die maximal zugelassenen Feldstärkewerte z. B. in der Umgebung von Mobilfunksendeanlagen abgeleitet werden. Diese sind rechtlich in der 26. BImSchV (Abb. 3-1) für gewerblich genutzte Sendeanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt (W) und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (entspricht 300.000 MHz) verankert. .



BfS	Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen *(Limit values of the 26th BImSchV for fixed high frequency installations)*	3-1

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.

Des weiteren werden von der RegTP bundesweite Messaktionen durchgeführt. Dabei werden bis 30 MHz die magnetischen und oberhalb von 30 MHz die elektrischen Feldstärken messtechnisch erfasst. Diese Messreihen stehen nicht im direkten Zusammenhang mit dem von der RegTP durchgeführten Standortverfahren. Die Ergebnisse dieser Messungen werden zeitnah von der RegTP im Internet unter http://www.regtp.de/reg_tele/start/fs_05.html veröffentlicht.

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

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)*

Wirkungen von solarem UV auf Mensch und Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des Gesamtozongehaltes würde diesen Einfluss weiter erhöhen. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und strahlenhygienisch sowie ökologisch bewertet werden muss.

Auf den Menschen bezogen ist neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D_3-Synthese allerdings die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebserkrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Um das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten, ist ein vernünftiger Umgang mit der Sonne geboten. Dazu ist es notwendig, der Bevölkerung eine Einschätzung ihrer aktuellen und zukünftigen UV-Belastung zu ermöglichen (s. UV-Index).

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

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

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

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemale Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m² für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle Erythemschwellendosis.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt die Tabelle 4-1. Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

Tabelle 4-1 Lichtempfindliche Medikamente und chemische Stoffe ***(pharmaceuticals sensitive to light, and chemical substances)***

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

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

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV

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

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

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

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

Solare UV-Strahlung und Ozon

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

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

Der Gesamtozongehalt in unseren Breitengraden unterliegt jahreszeitlich natürlichen Schwankungen mit einem Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Herbst. In den letzten Jahren wurden jedoch zunehmend extrem niedrige Werte, sogenannte ”Mini-Ozonlöcher”, gerade im Spätwinter/Frühjahr registriert. Dies ist vornehmlich auf den Zustrom ozonarmer Luft aus subtropischen Breiten zurückzuführen. Durch die

Auflösung des Polarwirbels im Frühjahr kann ebenfalls auf Grund des FCKW-bedingten Ozonabbaus polare Luft mit geringem Ozongehalt in die gemäßigten Breiten transportiert werden.

UV-Überwachung

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

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

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

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

Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht. Aktuelle Informationen werden in Form von Pressemitteilungen weitergegeben. Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index.

UV-Index

Um das gesundheitliche Risiko solarer UV-Strahlung zu bestimmen, sind die UV-Werte der bodennahen UV-Strahlung von hoher Bedeutung. Nur so ist ein bestmöglicher Schutz für die Bevölkerung möglich. Dazu wurde in den 90er Jahren in verschiedenen Ländern ein UV-Index (UVI) eingeführt, der zwischenzeitlich international harmonisiert worden ist.

Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. An unbewölkten Tagen ist dieser Wert zur Mittagszeit am höchsten. In Deutschland ist der UVI im Winter am kleinsten (<1) und erreicht im Sommer im süddeutschen Raum Werte bis 8. Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab; er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamtozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet vier Hauttypen, die in Tab. 4-2 aufgeführt sind. Menschen mit empfindlichem Hauttyp I erreichen bei hohem UVI die Sonnenbrandschwelle etwa in der halben Zeit wie Personen mit Hauttyp II. Bei Hauttyp III und IV kann von rund der doppelten Zeit bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle ausgegangen werden, wenn die Haut nicht vorgebräunt ist.

Tabelle 4-2 Die vier Hauttypen
(The four skin types)

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

Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen. In Tabelle 4-3 sind die UVI-Schutzschemata aufgeführt, die seit kurzem von der WHO, der WMO und der ICNIRP veröffentlicht worden sind. Die Schutzhinweise und Zeiten bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

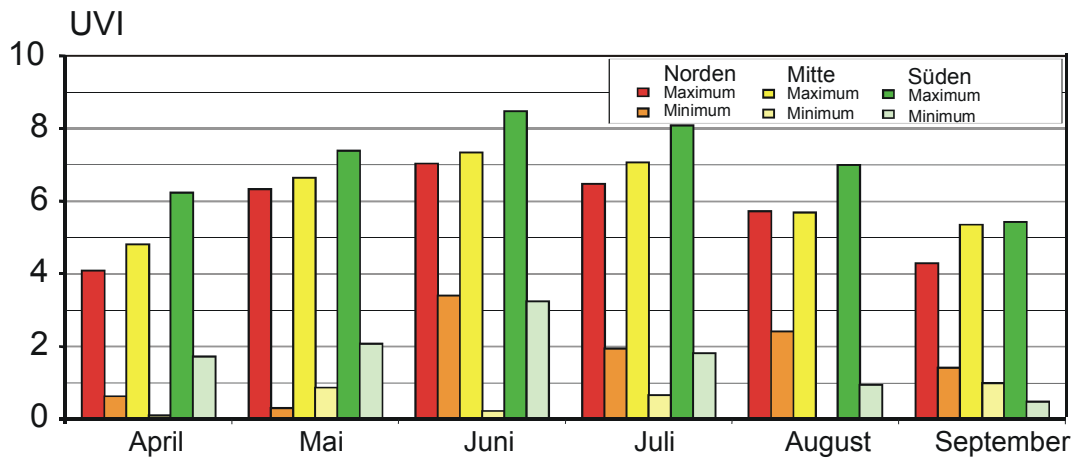
Tabelle 4-3 Empfohlenes UVI-Schutzschema der WHO/WMO/ICNIRP mit Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)
(Recommended UVI protection concept of WHO, WMO, ICNIRP with time periods of erythema induction - skin type II)

UVI	Klassifikation	Zeit zum Erreichen eines Erythems	Schutz	Schutzmaßnahmen
>10	extrem		extra Schutz	mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
10	sehr hoch		extra Schutz	mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
9	sehr hoch	< 20 min	extra Schutz	mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
8	sehr hoch	< 20 min	extra Schutz	mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
7	hoch	ab 20 min	erforderlich	mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
6	hoch	ab 20 min	erforderlich	mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
5	moderat	ab 20 min	erforderlich	mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
4	moderat	ab 30 min	erforderlich	mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
3	moderat	ab 30 min	erforderlich	mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
0-2	niedrig	ab 30 min	nicht erforderlich	

Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden als UVI-Werte veröffentlicht. In Abb. 4.1 wurden für das Jahr 2002 die maximalen und minimalen UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messtation Zingst), die Mitte (Messstation Langen) und den Süden (Messstation München) Deutschlands dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt ist. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in der Mitte Deutschlands UVI – Werte von 5 auftraten, d. h. dass Schutzmaßnahmen ab dieser Zeit empfehlenswert waren.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen, ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden.



BfS	Maximale und minimale UVI-Werte eines Monats im Jahr 2002 *(Maximum and minimum UVI values per month in the year 2002)*	4-1

5. Forschung
(Research)

Statische Felder

Statische Magnetfelder werden in der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) mit einer relativ hohen Feldstärke verwendet. Nach der aktuellen Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) können für Patientenuntersuchungen MR-Tomographen mit einer magnetischen Feldstärke von bis zu 4 Tesla eingesetzt werden. Hierbei stellt die Ausrichtung normaler menschlicher Erythrozyten (rote Blutkörperchen) einen potenziell sicherheitsrelevanten Effekt dar. Es wurde mit Hilfe intravitalmikroskopischer Untersuchungen an der Froschhaut gezeigt, dass es bereits bei Feldstärken unter 0,4 T zu einer Ausrichtung von Erythrozyten und einer Veränderung des Blutflusses in kleinen pulsierenden Blutgefässen (Arteriolen) kommen kann. Diese bislang nicht reproduzierten Ergebnisse werden durch zwei neuere Forschungsergebnisse gestützt, in denen die Ausrichtung normaler menschlicher Erythrozyten bei höheren Feldstärken in vitro nachgewiesen wurde. Bei der Bewertung der intravitalmikroskopischen Untersuchungen sind jedoch die erheblichen morphologischen und funktionellen Speziesunterschiede zwischen Amphibien und Säugetieren zu beachten. So passen sich die kleinen, kernlosen und sehr flexiblen Säugetiererythrozyten bei hohen Scherkräften weitgehend der Plasmaströmung an, während die großen kernhaltigen Froscherythrozyten gerade in sehr kleinen Gefäßen (sogenannten Mikrogefäßen) erheblich zum Strömungswiderstand beitragen. Allerdings gibt es bislang noch keine intravitalmikroskopischen Untersuchungen an Säugetieren, die diese auf Modellrechnungen beruhenden Überlegungen experimentell bestätigen.

Gemeinsam mit der Fachhochschule Jena und dem Institut für Experimentelle Chirurgie der Universität München wird vom BfS ein Forschungsprojekt zu diesem Thema durchgeführt. Ziel es, die durch ein statisches Magnetfeld möglicherweise induzierte Ausrichtung von Erythrozyten und die daraus resultierende Veränderung der Gewebedurchblutung in der Rückenhaut von Hamstern intravitalmikroskopisch zu untersuchen. Hierzu wird derzeit an der FH Jena ein geeigneter Magnet entwickelt und mittels einer Hall-Sonde (Glossar) die Feldverteilung charakterisiert. Im zweiten Schritt werden dann am Institut für Experimentelle Chirurgie in vivo - Untersuchungen am Kammermodell des Hamsters durchgeführt und ausgewertet.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Im Jahr 2001 wurde eine im Auftrag des BMU vergebene epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von > 0,4 µT bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte. Um einen Nachweis für ein mögliches Ursachen-Wirkungsprinzip zu führen, wurde 2002 durch das BfS im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFO-Plan) ein Forschungsprojekt mit dem Thema ”Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR-Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder” vergeben. Ergebnisse liegen bislang nicht vor.

6. Aktuelle Themen
(Actual topics)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Um Wissenslücken im Bereich Mobilfunk zu schließen, fand am 21. und 22. Juni 2001 im BfS in Salzgitter ein Fachgespräch unter breiter Beteiligung von Wissenschaftler/innen, Behördenvertreter/innen und Vertreter/innen verschiedener Organisationen statt. Ziel war es, die wichtigsten Forschungsschwerpunkte zur Thematik ”Wirkung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks" zu identifizieren und zu diskutieren. Das Protokoll dieses Fachgesprächs ist als BfS-Schrift 25/2002 (http://www.bfs.de) veröffentlicht worden.

Auf der Basis der Ergebnisse dieses Fachgesprächs wurde ein Forschungsprogramm ausgearbeitet, das im Rahmen des jährlich fortgeschriebenen Umweltforschungsplans vom Bundesumweltministerium in den Jahren 2002 bis 2005 mit 8,5 Mio. Euro gefördert wird (UFO-Plan; s.: http://www.bmu.de/download/dateien/ufoplan_2003.pdf). Im Rahmen einer Selbstverpflichtung der Betreiber der Mobilfunknetze in Deutschland wurde eine paritätische Finanzierung dieses Forschungsprogramms durch die Netzbetreiber zugesagt. Das Forschungsprogramm wird vom BfS betreut und hat folgende Schwerpunkte: Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation. Zukünftige technische Anwendungen wie UMTS werden in den Vorhaben besonders berücksichtigt.

Ein Großteil der geplanten Projekte befindet sich in der unmittelbaren Vergabephase. Ein Teil ist bereits fest vergeben. Für einzelne Projekte musste der Beginn aber ins Frühjahr 2003 verschoben werden, da z. B. noch fachliche Fragen zu klären sind. In Tabelle 5-1 sind die zur Zeit geplanten bzw. vergebenen Vorhaben und ihr jeweiliger Umsetzungsstand zusammengestellt.

Ergänzend zu den bereits festgelegten und in der Umsetzung befindlichen in-vivo-Untersuchungen sind weitere Themenkomplexe geplant. Sie sollen sich schwerpunktmäßig mit der Kanzerogenese (Krebsentstehung), Einflüssen auf die Blut-Hirn-Schranke in Verbindung mit UMTS, biologischen Effekte bei Tieren und Pflanzen, und mit neuen Technologien der Datenübertragung befassen. Zudem sind weitere Fachtagungen zur Diskussion der laufenden Projekte und zur Modifikation des Gesamtprogramms geplant.

Tabelle 6-1 Forschungsthemen und ihr Umsetzungsstand (Ende 2002)
(Research topics and their state of implementation - end of 2002)

Thema	Stand
Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren	vergeben
Epidemiologische Studie zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen Mobilfunk und Hirntumoren	vergeben
Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie: Die Kohortenstudie soll anhand hochexponierter (Berufs-) gruppen zur Erfassung eines möglicherweise erhöhten Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durchgeführt werden	vergeben
Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren, die es ermöglichen, die Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Funksendeanlagen zu ermitteln. Die Verfahren sollen zur Überprüfung von Grenzwerten geeignet sein	vergeben
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Pinealdrüse)	vergeben
Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate	vergeben
Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen" untersucht werden	vergeben
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Demodulation/ Kommunikation)	Vergabe in 2003
Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter	Vergabe in 2003
Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen	Vergabe in 2003
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks (jährliche Umfragen)	Vergabe in 2003
Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiologisch relevanter Parameter	Vergabe in 2003
in-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation (Langzeituntersuchungen)	Vergabe in 2003
in-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation (Sinnesphysiologie)	Vergabe in 2003
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Funktionen)	Vergabe in 2003
Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern unter besonderer Berücksichtigung des Mobilfunks	Vergabe in 2003
in-vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation (Blut-Hirn-Schranke UMTS)	Vergabe in 2003

Repräsentative Umfrage zum Thema ”Mobilfunk”

Das in der Tabelle 5.1 aufgeführte Projekt ”Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks” wurde vom BfS erstmalig im Jahr 2001 initiiert. Dazu wurde eine repräsentative Umfrage in Auftrag gegeben. Die abschließende Auswertung im Jahr 2002 ergab, dass mehr Personen bzgl. der elektromagnetischen Felder, die von Handys ausgehen, besorgt sind (knapp ein Drittel der Bevölkerung), als in Bezug auf Sendeanlagen (20%). In dieser Untersuchung zeigte sich auch, dass die Wahrnehmung bzgl. Mobilfunk durch Faktoren wie Alter, Bildung, Einkommen, aber auch Region beeinflusst wird. So ist z. B. die Besorgnis in Bayern im Vergleich zu den anderen Bundesländern deutlich höher. Damit einhergehend ist auch das Interesse bzw. die Teilnahme an Bürgerinitiativen stärker ausgeprägt. In ostdeutschen Bundesländern zeigte

sich hingegen ein relativ geringes Interesse am Thema Mobilfunk. Weiterhin ergab diese Umfrage, dass knapp 6% der Befragten sich durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks gesundheitlich beeinträchtigt fühlen, wobei als häufigste Beschwerden Kopfschmerzen, gefolgt von Schlafstörungen, Unruhe, Nervosität, Ohrengeräusche, und Konzentrationsschwäche genannt wurden. Allerdings waren rund 30% dieser Beeinträchtigten nicht in der Lage, die Art der Beeinträchtigungen konkret zu benennen.

Diese Umfrage wird jährlich wiederholt. Aus dem Vergleich der Umfrageergebnisse sollen Rückschlüsse darauf gezogen werden, ob Maßnahmen zur Verbesserung der Information und zur Vermittlung des aktuellen Wissensstandes die Bevölkerung erreichen, und auf welche Weise diese Maßnahmen die Diskussion zum Thema ”Mobilfunk” beeinflussen.

Umweltzeichen ”Blauer Engel”

Um besonders strahlungsarme Handys, die nach dem GSM-, GPRS- oder UMTS-Standard arbeiten, für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen ”Blauer Engel” durch die Jury ”Umweltzeichen” im Juni 2002 festgelegt. Mit der Vergabe des Umweltzeichens ist der RAL e.V. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., gegründet 1925) beauftragt.

Der "Blaue Engel" wird nur an Handys vergeben, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt. Dieser Wert orientiert sich am derzeit technisch Machbaren.

Gleichzeitig signalisiert dieses Zeichen eine umwelt- und recyclingfreundliche Produktion. Chemische Verbindungen, die sich umweltbelastend auswirken, sind für die Kunststoffe, Beschichtungen, Leiterplatten und elektronische Bauelemente der Mobiltelefone weitgehend verboten. Das große Materialspektrum erfordert zudem, dass die Geräte trotz ihrer geringen Abmessungen geeigneten Recycling- und Entsorgungswegen zuzuführen sind, und keinesfalls in den Hausmüll gegeben werden dürfen. Die Rücknahme der Geräte soll kostenlos bei benannten Annahmestellen erfolgen.

Zertifizierung von Solarienbetrieben

In den letzten Jahren ist eine zunehmende Nutzung künstlicher Strahlung zu kosmetischen Zwecken (wie z. B. Bräunung) zu beobachten. In Deutschland gibt es ca. 7.500 Solarienbetriebe. Infolge der damit verbundenen Zunahme der UV-Exposition der Bevölkerung wird eine Zunahme der UV-bedingten Gesundheitsschäden erwartet.

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

ANHANG

(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, 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 Gy = 1 J/kg). Entsprechend ist die Energiedosisleistung eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde (Gy/s) oder Gray pro Stunde (Gy/h) gemessen.

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).

$$1\,Gy = \frac{1\,J}{1\,kg}$$

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z. B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z. B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20-mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die Organdosis. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ Energiedosis im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ Organdosis im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten Strahlenschutzverordnung entsprechend Tabelle 1.1-1 festgelegt.

Tabelle 1.1-1 Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C
(Radiation weighting factors according to Radiation Protection Ordinance)

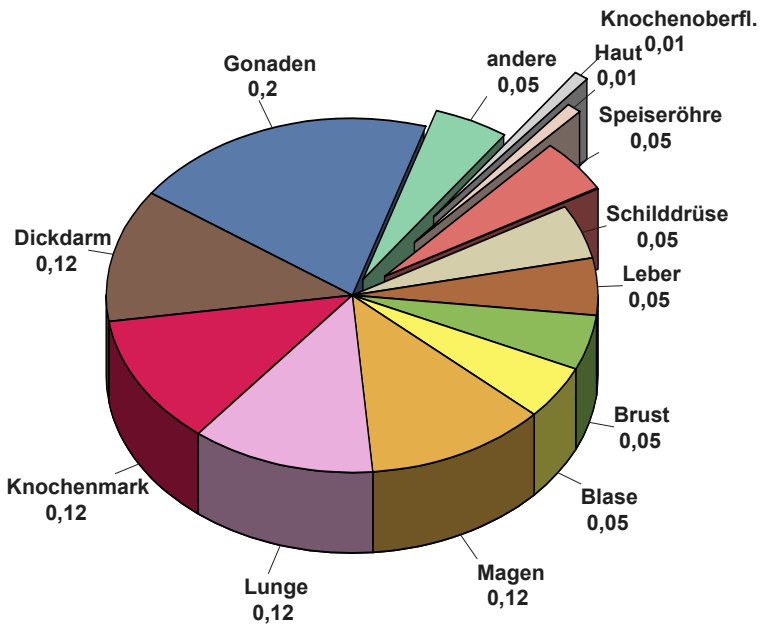
Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das Sievert (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Strahlendosen im Sievertbereich treten selten auf, es wird daher üblicherweise die Untereinheit Millisievert verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden verschieden empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die **e**ffektive Dosis eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert eins.



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

Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

1.2 Die Messung der Strahlendosen *(Measurement of radiation doses)*

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Diese Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g/cm^{-3}, Massenzusammensetzung 76,2% Sauerstoff, 11,1% Kohlenstoff, 10,1% Wasserstoff und 2,6% Stickstoff), der sogenannten ICRU-Kugel mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff Personendosis verwendet. Die Strahlenschutzverordnung definiert als Messgrößen die Personendosis als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z. B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z. B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das Filmdosimeter, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Bei der Dosisbestimmung ohne Vorhandensein einer Person wird die so genannte Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) und die Richtungs-Äquivalentdosis H´(0,07,Ω). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die Kollektivdosis verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert.

1.3 Äußere und innere Bestrahlung[1]
(External and internal radiation exposure)

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann für das Strahlenrisiko relevant, wenn sie mit der Nahrung, dem Trinkwasser oder durch Atmung dem Körper zugeführt werden und die Bestrahlung von innen erfolgt. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus und in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben zahlreichen, u. a. altersabhängigen biokinetischen Parametern gehen in die Dosisermittlung die physikalischen Eigenschaften der Strahlung und die physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Prämissen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen in einem kurzen Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci). 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Äquivalentdosis[2] und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen (s. Kennzeichnung der Strahlenqualität durch den linearen Energietransfer) hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen - für Alphateilchen bei etwa 500 mGy - kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von ei-

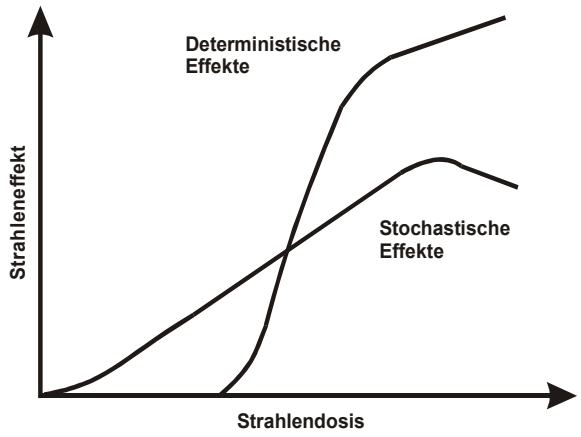
1. Ab hier wurde der Text entnommen aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff
2. Dieser Begriff wurde in der Novelle der Strahlenschutzverordnung 2001 als „Organdosis“ neu definiert

nem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem LET liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s. o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Aerosole) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

1.4 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung *(Stochastic and deterministic radiation effects)*

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische[1] Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb. 1.4-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.



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

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also schon Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abb. 1.4-1).

1. deterministische

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; den Quotienten Risiko/Äquivalentdosis nennt man „Risikokoeffizient“.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich hier um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen. Man geht also davon aus, dass Leukämie oder Krebs mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch eine einzige maligne transformierte Zelle hervorgerufen werden kann (monoklonaler Ursprung).

1.5 Induktion von Leukämie und Krebs *(Induction of leukemia and cancer)*

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an[1]

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen.

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer „spontanen“ malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden. Die Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z. B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopulation, dass nach Strahlendosen im Bereich von 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die unter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologischen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbevölkerung nicht zu einer statistisch signifikant erhöhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dies nicht, dass geringere Strahlendosen als 0,5 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie

1. ebenso kommen Personen mit einer signifikanten Strahlenbelastung durch die Tschernobyl-Katastrophe in Betracht

Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass letzteres sich aus den Schwankungen der „spontanen“ Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki ist das Leukämierisiko nach einer Strahlendosis von 4 Gy etwa um den Faktor 15 erhöht. Dagegen ist das Risiko für alle Krebsformen außer Leukämien bei der gleichen Strahlendosis nur etwa um den Faktor 2 angestiegen. Dieser Zuwachsfaktor wird als „relatives Risiko“ bezeichnet; die „spontanen“ Raten an Leukämie und Krebs (Raten ohne Bestrahlung) entsprechen einem relativen Risiko von 1,0.

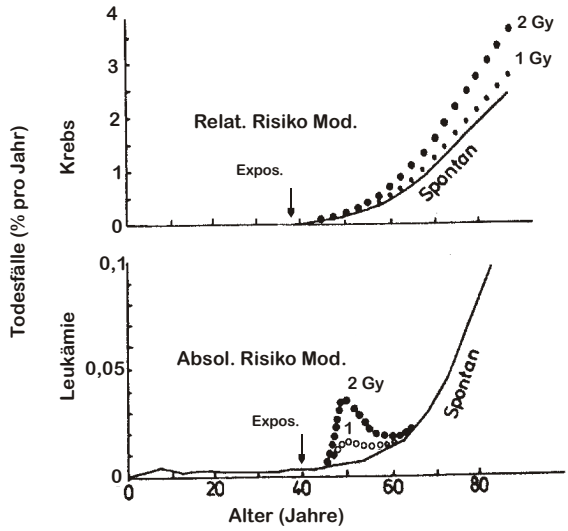
Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Auch bei der Induktion von Knochentumoren liegen Erfahrungen nach Exposition durch Alphastrahlen vor. In diesem Falle sind Untersuchungen nach Behandlung mit Radiumpräparaten durchgeführt worden. Das Radium wurde injiziert und hat sich vor allem im Knochengewebe abgelagert.

1.6 Risikoabschätzung *(Risk assessment)*

Für die Risikoabschätzung wird außer bei Leukämie und Knochentumoren von einem sogenannten relativen Risikomodell ausgegangen. Für Leukämien und Knochentumoren dagegen wird das absolute Risikomodell zur Risikoabschätzung eingesetzt. Bei dem letzteren Risikomodell geht man davon aus, dass nach einer Latenzzeit die Rate an Erkrankungen über der „spontanen“ Rate liegt, nach einer weiteren Periode aber keine zusätzlichen strahlenbedingten Erkrankungen auftreten (Abb. 1.6-3). Offensichtlich haben sich dann alle strahlenbedingten Erkrankungen manifestiert. Beim relativen Risikomodell liegt die Rate an malignen Erkrankungen in der bestrahlten Personengruppe ebenfalls nach einer Latenzzeit über der „spontanen“ Rate, aber diese Erhöhung bleibt bis zum Lebensende erhalten. Das „relative Risiko“, d. h. die relative Zunahme der strahlenbedingten Rate im Vergleich zur „spontanen“ Rate, wird dabei als über die Lebenszeit konstant angenommen (Abb. 1.6-1; Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane“ Mortalität durch diese Erkrankungen an, die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell“ und dem „Absoluten Risikomodell“ an). Das bedeutet, dass auch die strahlenbedingten Tumoren vorwiegend erst in einem Alter beobachtet werden, in dem die „spontanen“ Tumoren ohne Bestrahlung manifest werden. Die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos auf der Basis des relativen Risikomodells stellt eine maximale Risikoabschätzung dar.

Die vielfältigen epidemiologischen Untersuchungen haben ergeben, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung maligner Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. In niedrigeren Dosisbereichen, die für die berufliche Strahlenexposition (einige mSv/a bis einige 10 mSv/a) und vor allem für Expositionen der Bevölkerung etwa in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (einige 10 µSv/a) von Bedeutung sind, müssen daher die Strahlenrisiken durch rechnerische Extrapolation, ausgehend von diesen höheren Strahlendosen, ermittelt werden. Ferner sind die statistisch signifikanten epidemiologischen Daten der Leukämie- und Krebserhöhung nicht nur nach Exposition mit hohen Strahlendosen, sondern häufig auch nach Bestrahlung mit hoher Dosisleistung erhalten worden. Da die Exposition am Arbeitsplatz und in noch stärkerem Maße in der Umwelt bei niedriger Dosisleistung stattfindet, ergeben sich hier zusätzliche Schwierigkeiten bei der Extrapolation zur Ermittlung der Risikokoeffizienten.

Für die Extrapolation wird angenommen, dass eine Schwellendosis nicht existiert und dass die Dosiswirkungsbeziehung für die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auch in diesem niedrigen Dosisbereich linear mit der Strahlendosis verläuft. Auf Grund unserer wissenschaftlichen Kenntnisse ist eine solche Annahme für den Strahlenschutz sinnvoll, der Beweis dafür steht aber noch aus. Um der niedrigen Dosisleistung im niedrigen Dosisbereich Rechnung zu tragen, werden für den Risikokoeffizienten häufig Reduktionsfaktoren von 2-3 eingesetzt. Für die Induktion von Leukämie und Krebs hat sich in einer Reihe von Fällen ergeben, dass sowohl eine lineare als auch eine linear-quadratische Dosiswirkungsbeziehung angenommen werden kann. Allgemein wird heute davon ausgegangen, dass für die Induktion von Brust-



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

krebs und Schilddrüsentumoren eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung die genaueste Beschreibung der Daten ergibt, während für andere maligne Erkrankungen eine linear-quadratische Dosis-Wirkungsbeziehung resultiert. Für die Zwecke des Strahlenschutzes wird jedoch häufig der Einfachheit halber, und um Unterschätzungen auszuschließen, eine lineare Dosiswirkungskurve zu Grunde gelegt.

Unter Zugrundelegung dieser Annahmen ist eine Risikoabschätzung durch Extrapolation, ausgehend von den Daten nach hohen Strahlendosen, zu geringen Strahlendosen hin möglich. Es ergeben sich dann Risikokoeffizienten, die im Bereich von 200 bis 1 000 Todesfällen durch Leukämie und Krebs nach Ganzkörperexposition einer Million Menschen mit 10 mSv (1 rem) liegen (Risikokoeffizient: $2 \cdot 10^{-2}$ bis $1 \cdot 10^{-1}$ pro Sv). Bei Berücksichtigung dieses Bereiches des Risikokoeffizienten ergibt eine Strahlendosis von 10 mSv eine Erhöhung der Leukämie- und Krebstodesrate, die im Bereich von einem bis einigen Promille der „spontanen“ Leukämie- und Krebstodesrate unserer Bevölkerung liegt. Die Exposition der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland liegt beim bestimmungsgemäßen Betrieb einschließlich von Auslegungsstörfällen im Bereich von einigen 10 µSv. Es müssen also Extrapolationen über mehrere Größenordnungen der Dosis (etwa um den Faktor 10^4) vorgenommen werden, um von dem Dosisbereich mit epidemiologisch ermittelten Daten in den Dosisbereich dieser Exposition zu kommen.

Die Breite des Schätzintervalls für den Risikokoeffizienten spiegelt die in den Abschätzungen liegende Ungenauigkeit nur bedingt wider. Sie ergibt sich u. a. daraus, dass die neueren Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan zu höheren Risikofaktoren führen. Die höheren Risikofaktoren bei der japanischen Population ergeben sich aus drei Gründen:

1. Neue Rechnungen zur Dosimetrie nach den Atombombenexplosionen haben zu neuen Dosisabschätzungen geführt.
2. In den letzten Jahren sind neue Daten zu den Leukämie- und Krebsraten erhoben worden. Es sind vor allem neue Erkrankungen bzw. Todesfälle bei den im jungen Alter exponierten Personen beobachtet worden.
3. Diese Befunde haben zu dem Konzept des relativen Risikos geführt. Damit wird das Strahlenrisiko für die noch lebenden exponierten Personen in die Zukunft projiziert. Die noch zu erwartenden Krebstodesfälle werden mit Hilfe der Altersabhängigkeit des Krebsrisikos nicht exponierter Personen unter Annahme eines zeitlich konstanten strahlenbedingten relativen Risikos ermittelt.

Während der erste Umstand den Risikokoeffizienten nicht erheblich beeinflusst hat, tragen die Gründe 2 und 3 in erheblichem Maße zur Erhöhung bei. Der Risikokoeffizient liegt dann etwa um den Faktor 3 bis 5 höher als früher angenommen.

1.7 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

[3] ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford.

[4] 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
(Physical quantities in non-ionising radiation)

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	**E**	**V/m** (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	**H**	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	**B**	**Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) 1 Vs/m² = 1 T gebräuchlich: 1 µT Veraltet: G (Gauss)	B = µ • H = μ_0 • μ_r • H für Luft und organische Materialien gilt: B (µT) = 1,256 • H (A/m) 1 G = 10^{-4} T = 100 µT
Hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke Magnetische Feldstärke	**E** **H**	**V/m** (Volt pro Meter) **A/m** (Ampere pro Meter)	E = Z_0 • H dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Leistungsflussdichte	**S**	**W/m²** (Watt pro Quadratmeter)	S = E • H = Z_0 • 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
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus 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 Subtraktions-angiographie	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
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
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
DNS	Desoxiribonukleinäure - Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
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
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
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.
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlen (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen), welche die Bildung von Ionen bewirken können
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl

Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert
Kontamination	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
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)
MED	Minimale erythemale Dosis
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
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)
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
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	Ultraviolette Strahlung (100 - 400 nm)
UVI	UV-Index, Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung
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)*
AVR	Atomversuchsreaktor *(Nuclear test reactor)*
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)*
BGBl	Bundesgesetzblatt *(Federal Law Gazette)*
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe *(Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)*
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie *(Federal Office for Maritime Shipping and Hydrography)*
/d×p	pro Tag und Person *(per day and person)*
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 *(Research Centre for Environment and Health)*
FZ	Forschungszentrum *(Research Centre)*
$G\alpha$	Gesamt-Alpha-Aktivität *(Total Alpha Activity)*
$G\beta$	Gesamt-Beta-Aktivität *(Total Beta Activity)*
H	Magnetische Feldstärke *(magnetic field strength)*
h_{ED}	Halbstunden- Erythemgewichtete UV-Dosiswerte *(halfhour-erythema-weighted UV dose values)*
HF	Hochfrequenz, hochfrequente *(high frequency)*
HTR	Hochtemperaturreaktor *(High Temperature Reactor)*
HWZ	Halbwertszeit *(halflife)*
Hz	Hertz *(hertz)*
ICNIRP	Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung *(International Commission on Non-Ionising Radiation Protection)*
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission *(International Commission on Radiological Protection)*
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem *(Integrated Measuring and Information System)*
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr *(Annual Intake of Activity)*
KFA	Kernforschungsanlage *(Nuclear Research Facility)*
KFZ	Kernforschungszentrum *(Nuclear Research Centre)*
KKW	Kernkraftwerk *(Nuclear Power Plant)*
KNK	Kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage *(Compact Sodium cooled nuclear plant)*
KTA	Kerntechnischer Ausschuss *(Nuclear Safety Standards Commission)*
MRT	Magnetresonanztomographie *(Magnetic Resonance Tomography)*
MZFR	Mehrzweckvorschungsreaktor *(Multipurpose researach reactor)*
NIR	Nichtionisierende Strahlung *(Non ionizing radiation)*

NWG	Nachweisgrenze *(detection limit)*
ODL	Ortsdosisleistung *(Ambient Dose Rate)*
PET	Positronen-Emissions-Tomographie *(Positron Emission Tomography)*
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt *(Federal Institute of Physics and Metrology)*
Rβ	Rest-Beta-Aktivität *(residual beta activity)*
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen *(Guideline Relating to Emission and Immission Monitoring of Nuclear Facilities)*
RMP	Routinemessprogramm *(Routine Measuring Program)*
RöV	Röntgenverordnung *(X-ray Ordinance)*
S	Leistungsflussdichte *(power flux density)*
SAR	Spezifische Absorptionsrate *(specific absorption rate)*
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie *(Single Photon Emission Computed Tomography)*
SSK	Strahlenschutzkommission *(German Commission on Radiological Protection)*
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung *(Radiation Protection Ordinance)*
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz *Precautionary Radiation Protection Act*
SWR	Siedewasserreaktor *(Boiling Water Reactor)*
Sv	Sievert *(sievert)*
T	Tesla *(tesla)*
TM	Trockenmasse *(dry weight)*
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung *(United Nation's Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)*
V	Volt *(volt)*
VO	Verordnung *(Ordinance)*
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz *(Ordinance on the Guarantee of Nuclear Safety and Radiation Protection)*
W	Watt *(watt)*

WAA	Wiederaufarbeitungsanlage *(Reprocessing Plant)*
WHO	Weltgesundheitsorganisation *(World Health Organization)*
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart *(Russian Type Light Water Pressurized Water Reactor)*
Z_0	Feldwellenwiderstand des leeren Raums *(field characteristic impedance)*
ZdB	Zentralstelle des Bundes *(Central Federal Agency for the Surveillance of radioactivity)*

Tabellenabkürzungen
(abbreviation in tables)

	Angaben nicht sinnvoll *(data not relevant)*
a)	Daten lagen nicht vor *(data not available)*
N	Zahl der Einzelmessungen *(number of individual measurements)*
nn	nicht nachgewiesen / nachweisbar *(not detected/detectable)*
-	Messung / Angabe nicht erforderlich *(measurement / data not required)*

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 (GBl (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBl (DDR) I 1987 Nr. 18)
   - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBl (DDR) 1990 Nr. 34)
9. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I S. 114), geändert durch die Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1849), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604).
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 (GMBl. 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 (GMBl. 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 (GMBl. 1981, S. 363)
30. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBl. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
31. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBl. 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 (GMBl. 1992, S. 991)

33. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBl. 1993, S. 502)
34. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBl. 1996, Nr. 9/10, S. 195)
35. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBl. 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 (GMBl. 1994, S. 930)
37. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBl. 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 (BArbBl 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 BArbBl 9/90, S. 67 und vom 1. Juli 1991 (BArbBl 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 (BArbBl 3/88, S. 89)
41. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBl. 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 (GMBl. 1984, S. 236)
45. Richtlinie über Anforderungen an Personendosismessstellen nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung vom 10. Dezember 2001; Durchführung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) (GMBl. 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, GMBl 19 (1978), S. 313 und GMBl 9/10 (1996) S. 247
52. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBl. 1980, S. 577)
53. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBl. 1981, S. 322)
54. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBl. 1981, S. 511)
55. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBl. 1982, S. 61)
56. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBl. 1983, S. 146)
57. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBl. 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 (GMBl. 1989, S. 71)
60. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBl. 1989, S. 94)
61. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 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)
63. Verordnung (EWG) Nr. 737/90 des Rates vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (ABl. L 82)

6. Nuklidliste der im Text erwähnten Radionuklide
(List of radionuclides referred to in the text)

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ε, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1{,}3 \times 10^9$ a	β^-, γ
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ε, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ε, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-,γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ε, γ
		Co-58	70,9 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	245 d	$\varepsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ε, γ
36	Krypton	Kr-85	10,7 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 min	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,16 min	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4{,}8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	$\beta–, \gamma$
41	Niob	Nb-95	35 d	$\beta–, \gamma$
42	Molybdän	Mo-99	65,9 h	$\beta–, \gamma$
43	Technetium	Tc-99	$2{,}1 \times 10^5$ a	$\beta–$
		Tc-99m	6,01 h	R
44	Ruthenium	Ru-103	39 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-, γ
46	Palladium	Pd-103	16,96 d	ε, γ
47	Silber	Ag-108m	2,4 min	ε, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ε
49	Indium	In-111	2,8 d	ε, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	R

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
53	Jod	I-123	13,1 h	ε, R
		I-125	59,4 d	ε, R
		I-129	$1{,}6 \times 10^7$ a	β^-, γ
		I-131	8,02 d	β^-, γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	R
		Xe-133	5,25 d	β^-, R
		Xe-133m	2,19 d	R
54	Xenon	Xe-135	9,1 h	β^-, γ
		Xe-135m	15,3 min	R
		Xe-137	3,84 min	β^-, γ
		Xe-138	14,1 min	β^-, γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^-, γ
		Cs-137	30,2 a	β^-, γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^-, γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^-, γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^-, γ
		Ce-144	285 d	β^-, γ
61	Promethium	Pm-147	2,6 a	β^-, γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ε, β^+, β^-, γ
		Eu-154	8,8 a	β^-, γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ε, R
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^-, γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^-, R
81	Thallium	Tl-201	73 h	ε, R
82	Blei	Pb-210	22 a	β^-
		Pb-214	27 min	β^-, γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 min	α
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 µsec	α
		Po-218	3,05 min	α
86	Radon	Rn-219	3,96 sec	α, γ
		Rn-220	55,6 sec	α
		Rn-222	3,8 d	α
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α, γ
		Ra-226	1600 a	α, γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium	Th-228	1,91 a	α, γ
		Th-230	$7{,}5 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1{,}4 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^-, R
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^-, γ
92	Uran	U-233	$1{,}6 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2{,}45 \times 10^5$ a	α
		U-235	$7{,}0 \times 10^8$ a	α, R
		U-238	$4{,}5 \times 10^9$ a	α

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
93	Neptunium	Np-239	$2{,}3^5$ d	β^-, γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α, R
		Pu-239	$2{,}4 \times 10^4$ a	α, R
		Pu-240	6563 a	α, R
		Pu-241	14,4 a	β^-
95	Americium	Am-241	432 a	α, R
96	Curium	Cm-242	163 d	α, R
		Cm-244	18,1 a	α, R

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre
ε = Elektroneneinfang
β^+ = Positronen
α = Helium-Kerne
γ = Gammastrahlung
β^- = Elektronen
R = Röntgenstrahlung