

**Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht
2000**

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

Redaktion:
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachbereich Strahlenhygiene
FG SH 3.1
85762 Oberschleißheim

Bonn, April 2002

Vorwort

Der vorliegende Bericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung ausführliche Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Quellen im Jahr 2000. Der Bericht macht deutlich, dass der Strahlenschutz in der Bundesrepublik auf hohem Niveau steht. Gleichwohl ist die Bundesregierung bestrebt, im Rahmen der Novellierung des Strahlenschutzrechts die Strahlenbelastung weiter zu senken.

Der für die mittlere Strahlenbelastung der Bevölkerung im Jahr 2000 ermittelte Wert ist mit dem des Vorjahres von rund 4,5 Millisievert (mSv) verträglich. Die mittlere effektive Dosis durch **natürliche Strahlung** belief sich unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren auf 2,1 mSv; den größten Anteil lieferte dabei das radioaktive Edelgas Radon. Nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission können 4 bis 12 Prozent aller Lungenkrebsfälle in Deutschland auf das Einatmen von Radon und seinen Zerfallsprodukten zurückgeführt werden. Dies wird durch internationale Studien bestätigt.

Die durchschnittliche **zivilisatorische Strahlenbelastung** lag im Jahr 2000 bei etwa 2 mSv; den größten Beitrag mit 2 mSv liefert hier die medizinische Strahlenexposition, insbesondere im Bereich der Röntgendiagnostik.

Die Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen im Jahr 2000 lag wie in den Vorjahren unter 0,01 mSv.

Im Jahr 2000 gab es ca. 330.000 beruflich strahlenexponierte Personen, davon rund 250.000 im Bereich der Medizin; die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,15 mSv. Die Strahlenbelastung durch den Unfall von Tschernobyl im Jahr 2000 war weniger als 0,02 mSv (0,11 mSv im Jahr 1986); in Nahrungsmitteln aus Waldgebieten werden jedoch weiterhin vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte gemessen.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	11
SUMMARY	15
RESUME	18
Teil I UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
EINLEITUNG..... (INTRODUCTION)	24
1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	27
(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
1.1 Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt	27
(Natural radioactive substances in the environment)	
1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden	28
(Natural radioactive substances in soil)	
1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser	29
(Natural radioactive substances in water)	
1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre	31
(Natural radioactive substances the atmosphere close to ground level)	
1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	32
(Natural radioactive substances in foodstuffs)	
1.6 Natürliche Strahlenexposition	34
(Natural radiation exposure)	
2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (TECHNOLOGICALLY ENHANCED NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
2.1 Radon in Gebäuden	36
(Radon in buildings)	
2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	39
(Radioactive substances in building materials and industrial products)	
2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen	42
(Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources)	
2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften.....	47
(Mining relics)	
3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)	
3.1 Luft und Niederschlag	48
(Air and precipitation)	
3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel	61
(Soil, plants, and animal feedstuffs)	
3.3 Gewässer	67
(Bodies of water)	
3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer.....	67
(Surface waters, suspended matter, and sediment in inland waters)	
3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	82
(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	98
(Milk and milk products)	
3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer.....	101
(Fish and seafood, fish from inland waters)	
3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung	109
(Individual foodstuffs, whole diet, baby and infant foods)	

3.4.5	Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe 121 <i>(Tobacco products, consumer goods, medical preparations and their constituent materials)</i>	121
3.5	Abwasser und Klärschlamm 123 <i>(Waste water and sludge)</i>	123
3.6	Reststoffe und Abfälle 132 <i>(Residues and wastes)</i>	132
3.7	Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung 135 <i>(Monitoring of incorporation among the population)</i>	135
3.8	Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl 140 <i>(Radiation exposures from the Chernobyl accident)</i>	140
3.9	Kernwaffenversuche 141 <i>(Nuclear weapons tests)</i>	141
Teil II	RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN <i>(RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR AND URANIUM MINING FACILITIES)</i>	
1.	RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN 146 <i>(RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR FACILITIES)</i>	146
1.1	Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen 146 <i>(General data on nuclear facilities)</i>	146
1.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen 151 <i>(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear facilities)</i>	151
1.3	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen 159 <i>(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear facilities)</i>	159
1.4	Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 161 <i>(Monitoring of environmental media from the surroundings of nuclear facilities)</i>	161
1.4.1	Luft 161 <i>(Air)</i>	161
1.4.2	Boden, Bewuchs und Milch 164 <i>(Soil, vegetation and milk)</i>	164
1.4.3	Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer 174 <i>(Surface waters and sediment from inland waters)</i>	174
1.4.4	Fische und Wasserpflanzen 183 <i>(Fish and aquatic plants)</i>	183
1.4.5	Grundwasser und Trinkwasser 185 <i>(Groundwater and drinking water)</i>	185
1.4.6	Pflanzliche Nahrungsmittel 187 <i>(Foodstuffs of vegetable origin)</i>	187
1.5	Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen 195 <i>(Radiation exposures from nuclear facilities)</i>	195
2.	RADIOAKTIVE STOFFE AUS URANBERGBAUANLAGEN 200 <i>(RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM URANIUM MINING FACILITIES)</i>	200
2.1	Allgemeine Angaben über die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH und die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe 200 <i>(General data on the remediation facilities of the Wismut GmbH and the monitoring of discharges of radioactive substances)</i>	200
2.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern / Abluft und Abwasser infolge der Tätigkeit der Wismut GmbH (Emissionen) 201 <i>(Discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water as a result of the activities of the Wismut GmbH - Emissions)</i>	201
2.3	Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe (Immissionen) 202 <i>(Monitoring of the concentrations of radioactive substances in environmental media from areas in the vicinity of remediation facilities - Immissions)</i>	202
2.3.1	Radon-222-Konzentrationen in der bodennahen Luft 202 <i>(Radon-222 concentrations in air at close to ground level)</i>	202

2.3.2	Überwachung der Urankonzentrationen und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen in Oberflächengewässern <i>(Monitoring of uranium and radium-226 activity concentrations in surface waters)</i>	204
Teil III	BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION <i>(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)</i>	
1.	PERSONENDOSISMESSUNGEN <i>(PERSONAL DOSE MEASUREMENTS)</i>	208
1.1	Vorbemerkungen <i>(Preliminary remarks)</i>	208
1.2	Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen <i>(Overview of data for all occupationally exposed persons)</i>	208
1.3	Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen <i>(Overview of data for occupationally exposed persons employed in nuclear facilities)</i>	212
1.4	Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern <i>(Occupational radiation exposures from radon daughter products in the new federal Länder)</i>	214
1.5	Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung <i>(Radiation exposures to flight personnel from cosmic radiation)</i>	219
2.	INKORPORATIONSÜBERWACHUNG <i>(INCORPORATION MONITORING)</i>	220
3.	MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSSE <i>(RADIOLOGICAL EVENTS SUBJECT TO REPORTING)</i>	221
Teil IV	STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN <i>(RADIATION EXPOSURES FROM MEDICAL APPLICATIONS)</i>	
1	Diagnostische Strahlenanwendungen <i>(diagnostic applications of radiation)</i>	230
1.1	Röntgendiagnostik <i>(X-ray diagnostics)</i>	230
1.2	Nuklearmedizin, Diagnostik <i>(Nuclear medicine diagnostics)</i>	236
1.3	Strahlenhygienische Bewertung <i>(Evaluation in terms of radiation hygiene)</i>	237
1.4	Alternative Untersuchungsverfahren <i>(Alternative examination procedures)</i>	238
1.5	Qualitätssicherung <i>(Quality assurance)</i>	239
2.	Therapeutische Strahlenanwendungen <i>(Therapeutic applications of radiation)</i>	241
2.1	Strahlentherapie <i>(Radiotherapy)</i>	241
2.2	Nuklearmedizin, Therapie <i>(Therapeutic nuclear medicine applications)</i>	241
3.	HERZSCHRITTMACHER <i>(PACEMAKERS)</i>	243
4.	MEDIZINISCHE FORSCHUNG <i>(MEDICAL RESEARCH)</i>	244
4.1	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung <i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on healthy subjects in medical research)</i>	244

4.2	Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patienten in der medizinischen Forschung	245
	<i>(Application of radioactive substances or ionising radiation on patients in medical research)</i>	
4.3	Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung.....	246
	<i>(Application of x rays on humans in medical research)</i>	
Teil V	UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN <i>(HANDLING OF RADIOACTIVE SUBSTANCES)</i>	
1.	EIN- UND AUSFUHR RADIOAKTIVER STOFFE	250
	<i>(IMPORT AND EXPORT OF RADIOACTIVE SUBSTANCES)</i>	
1.1	Einleitung.....	250
	<i>(Introduction)</i>	
1.2	Rechtsgrundlagen und Verfahren	250
	<i>(Legal basis and procedures)</i>	
1.3	Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe.....	252
	<i>(Overview of statistics on the import and export of radioactive substances)</i>	
1.4	Einfuhrstatistik	254
	<i>(Import statistics)</i>	
1.5	Ausfuhrstatistik	256
	<i>(Export statistics)</i>	
2.	BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE.....	261
	<i>(TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE SUBSTANCES)</i>	
2.1	Übersicht über Transporte radioaktiver Stoffe	261
	<i>(Overview of data on the transportation of radioactive substances)</i>	
3.	UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN	262
	<i>(THE HANDLING OF SEALED AND UNSEALED RADIOACTIVE SOURCES)</i>	
3.1	Allgemeine Angaben	262
	<i>(General data)</i>	
3.2	Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen	269
	<i>Radioactive substances in consumer goods, industrial products and technical radiation sources)</i>	
ANHANG (ANNEX)		
1.	ERLÄUTERUNG ZU DEN VERWENDETEN BEGRIFFEN	272
	<i>(EXPLANATION OF TERMS USED)</i>	
2.	SI-EINHEITEN	275
	<i>(SI UNITS)</i>	
3.	LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	276
	<i>(LIST OF ABBREVIATIONS USED)</i>	
4.	GESETZE, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN, EMPFEHLUNGEN, ERLÄUTERUNGEN UND SONSTIGE REGELUNGEN ZUM STRAHLENSCHUTZ	277
	<i>(LAWS, ORDINANCES, GUIDELINES, RECOMMENDATIONS, EXPLANATORY TEXTS AND OTHER REGULATIONS CONCERNING RADIATION PROTECTION)</i>	
5.	NUKLIDLISTE	281
	<i>(LIST OF NUCLIDES)</i>	

ZUSAMMENFASSUNG

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

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

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2000 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. Im Bereich der medizinischen Anwendungen ergab sich eine neue Bewertung auf Grund einer verbesserten Datenlage.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 2000

		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. 2,1	

Natürliche Strahlenquellen und zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Bodenstrahlung des natürlichen Radioisotops Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des Uran-238 und des Thorium-232 bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation des natürlichen Edelgases Radon und dessen Zerfallsprodukte verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit dem Trinkwasser und der Nahrung. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Unter Verwendung der in den EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren ergibt sich ein nomineller Wert von 2,1 Millisievert, wofür insbesondere Radon in Gebäuden maßgebend ist. Eine Abschätzung der Gesamtexposition ist mit dem im Vorjahr ermittelten Wert von etwa 4,5 mSv verträglich. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

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

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

Zivilisatorische Strahlenquellen

Medizinische Anwendung

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

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

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

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

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und aus dem Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse festgestellte Gesamt- β -Aktivität ist natürlichen Ursprungs. Die aus diesen Ableitungen nach der "Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung" ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 1999 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. 7 - 2.1) lag auch 2000 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt

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

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch äußere Strahleneinwirkung für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 330 000) lag 2000 bei 0,16 Millisievert. Bei ca. 87 % der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres die untere Messbereichsgrenze des Personendosimeters von 0,2 mSv nicht überschritten. Bei den übrigen Überwachten ergibt sich eine mittlere Personendosis von 1,18 mSv. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher auch 2000 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 2000 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 2000 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 Tabelle 1 (Teil III 3) einzusehen.

Reaktorunfall von Tschernobyl

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahr 1986 wurden die in der Bundesrepublik Deutschland vorliegenden Messdaten zur Umweltkontamination dokumentiert und strahlenhygienisch bewertet. Die Strahlenexposition infolge dieses Unfalls nahm 2000 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 2000 lässt sich mit weniger als 0,002 Millisievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein.

SUMMARY

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

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

The mean radiation exposure to the population in the Federal Republic of Germany during the year 2000 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose remained, for most areas, unchanged. For the area of medical applications, however, an improved evaluation was made possible by the availability of improved data.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 2000

		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. 2.1

Natural radiation sources and technologically enhanced natural radioactivity

Exposure from natural radiation sources consists of both an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic and terrestrial radiation from the natural radioisotope potassium-40 together with the radionuclides of the natural decay series of uranium-238 and thorium-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, and partially also by the intake of natural radioactive substances with drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The nominal mean value is 2.1 millisievert, resulting in particular from exposure to radon in buildings. The estimated total exposure is acceptable in relation to the value of 4.5 mSv determined for the previous year. 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 at 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 but, since such concentrations occur also in geologically comparable regions, these are assumed to be partly of natural origin. The discharge of uranium and radium and their respective decay products from mining facilities into large drainage areas of the mining regions does not cause an appreciable change in the natural level of these radionuclides.

Man-made sources of radiation

Medical applications

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

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

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

In diagnostic nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequently applied methods of examination. Of increasing importance is the use of radioactively labelled monoclonal

antibodies, within the framework of the diagnosis of inflammatory processes and tumours and in tumour therapy. An ever increasingly important role is also played by Positron Emissions Tomography (PET) applied as a nuclear medicine procedure.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and from the Morsleben repository for low and intermediate-level radioactive waste (ERAM) contributes only insignificantly to radiation exposure to the population. The **total beta activity** measured within the scope of the environmental monitoring at the Asse mining facility is of natural origin. 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; these are significantly lower than the range of variation for exposures from natural sources occurring in the Federal Republic of Germany. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported for 1998. The annual contribution from domestic nuclear installations and other installations located close to the borders of Germany to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained below 0.01 millisievert, also in the year 2000 (Table p. 11 - 2.1).

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

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

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 330 000) controlled using personal dosimeters was about 0.16 millisievert in the year 2000. The lower detection limit for the personal dosimeters of 0.2 mSv was, over the entire year, not exceeded in the case of approx. 87 % of all controlled persons. In all other cases an average individual dose of 1.18 mSv resulted. The contribution to the total mean effective population dose from occupational exposure was therefore also at a level of less than 0.01 millisievert in the year 2000.

Nuclear weapons testing

In the year 2000, 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 2000 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radiological accidents and other particular events

Due to the strict regulations laid down in the Radiation Protection Act, radiological emergencies requiring persons to handle sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. An overview for the year 2000, is shown in Table 1 (Part III 3).

Reactor accident at Chernobyl

After the reactor accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986, all measured data available to the Federal Republic of Germany were documented and evaluated from the point of view of radiation hygiene. Radiation exposure resulting from this accident decreased further in the year 2000; the mean effective dose from caesium-134 and caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus it was clearly below one percent of the dose from natural sources of exposure and was caused to a level of about 90 % by external exposure due to caesium-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium with foodstuffs is estimated to have been less than 0,002 millisievert in the year 2000. In Southern Germany the levels of radiation exposure may be higher by one order of magnitude.

RESUME

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

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

Le tableau suivant indique l'exposition aux rayonnements moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne en 2000. Comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé dans la plupart des domaines. Dans le domaine des applications médicales, une nouvelle évaluation résultait en raison d'une meilleure disponibilité de données.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 2000

		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 ingérées	env. 0,3
Chiffre total de l'exposition naturelle		env. 2,1
2.	Exposition artificielle aux rayonnements	
2.1	due aux installations nucléaires	< 0,01
2.2	due aux applications médicales de rayonnements ionisants et de substances radioactives	env. 2
2.3	due à l'utilisation de substances radioactives et de rayonnements ionisants dans la recherche, la technique et chez les particuliers (sauf 2.4)	< 0,01
	2.3.1 produits industriels	< 0,01
	2.3.2 sources techniques de rayonnement	< 0,01
	2.3.3 émetteurs perturbateurs de rayonnement	< 0,01
2.4	due à l'activité professionnelle (contribution à l'exposition moyenne de la population)	< 0,01
2.5	due aux accidents et événements exceptionnels	0
2.6	due aux retombées des essais d'explosions nucléaires	<0,01
	2.6.1 de l'extérieur, en plein air	<0,01
	2.6.2 due aux substances radioactives incorporées	<0,01
2.7	Exposition aux rayonnements due à l'accident dans la centrale nucléaire de Tchernobyl	<0,015
Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements		env. 2,1

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 mSv. La valeur moyenne nominale est 2,1 mSv, particulièrement en raison du radon à l'intérieur de maisons. Une estimation de l'exposition totale est compatible avec la valeur déterminée l'année passée d'environ 4,5 mSv. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné ci-dessus.

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

Une concentration élevée du radon dans l'air respirable auprès du sol, provenant des mines, n'a été observée que dans l'environnement proche des installations minières, mais elle diminue rapidement à une plus grande distance. En tout, il en résulte des mesurages, que des concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières, 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 mSv/a.

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

nements des autres parties du corps. Des efforts supplémentaires seront nécessaires dans le soin postérieur de tumeurs.

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

Technique nucléaire

L'émission de matières radioactives, provenant des installations nucléaires et du 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. La **radioactivité bêta totale** mesurée dans le cadre de la surveillance de l'environnement à l'exploitation minière d'Asse est de l'origine naturel. Les maxima de l'exposition pour des individus due aux émissions, et qui ont été déterminés selon le Règlement administratif général au paragraphe 45 du Décret sur la Radioprotection (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung), sont nettement restés inférieurs aux limites de dose fixées par le Décret sur la Radioprotection; ils sont sensiblement inférieurs aux variations de l'exposition naturelle aux rayonnements en République fédérale d'Allemagne. En général, les valeurs calculées pour l'exposition aux rayonnements n'ont pas changé considérablement par rapport à 1999. En 2000, la contribution des installations nucléaires internes, ainsi que dans les pays voisins à la dose effective moyenne de la population de la République fédérale d'Allemagne (Tableau p. 7 - 2.1), était aussi inférieure à 0,01 mSv 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 Radioprotection. 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 mSv par an.

Exposition professionnelle aux rayonnements

La dose effective moyenne due aux rayonnements externes des personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 330.000) a été environ 0,16 mSv en 2000. Pendant toute l'année, la limite basse du champs de mesure du dosimètre individuel de 0,2 mSv n'avait pas dépassée chez environ 87 % des personnes surveillées. La dose individuelle moyenne du reste des personnes surveillées était 1,18 mSv. Ainsi la contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne au total de la population était, également en 2000, inférieure à 0,01 mSv.

Essais d'explosions nucléaires

En 2000, 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 2000, 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 mSv par personne.

Accidents radiologiques et événements exceptionnels

Grâce aux strictes dispositions juridiques en matière de radioprotection, des événements exceptionnels avec personnes, survenant au cours de la manipulation de rayonnements ionisants et de substances radioactives, sont rares. Pour l'année 1999, voir tableau récapitulatif 1 (partie III 3).

Accident du réacteur de Tchernobyl

Après l'accident du réacteur dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986, les chiffres sur la contamination de l'environnement mesurés en République fédérale d'Allemagne, étaient documentés et évalués du point de vue de la radiohygiène. En 2000, l'exposition aux rayonnements en conséquence de cet accident a continué à diminuer et, due au Cs-134 et Cs-137, la dose moyenne effective était en dessous de 0,015 mSv. 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 Cs-137. Pour l'année 2000, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 0,002 mSv. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur.

Teil I
Umweltradioaktivität
(Part I)
(*Environmental radioactivity*)

Bearbeitet von den Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität

EINLEITUNG (INTRODUCTION)

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.

Einer Gefährdung 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 Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 28 Abs. 1 und 2 StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen) in dieser Verordnung festgelegt. Ausgegangen wurde dabei von Richtlinien der EU und den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP), die erstmals bereits vor ca. 60 Jahren höchstzulässige Dosiswerte für beruflich strahlenexponierte Personen erarbeitet hat.

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

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

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

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

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

Für das Ermitteln, Übermitteln, Zusammenfassen, Aufbereiten und Dokumentieren von Daten im Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) durch Messstellen des Bundes und der Länder sind inzwischen in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27.09.1995 umfassende Regelungen getroffen, die auch das Routinemessprogramm und das Intensivmessprogramm einbeziehen.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Nach Inbetriebnahme der Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 ist durch den großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung 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

Die Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz der ehemaligen DDR (VOAS) nebst Durchführungsbestimmungen vom 11. Oktober 1984 gilt durch den Einigungsvertrag in den neuen Bundesländern als Bundesrecht fort für "bergbauliche und andere Tätigkeiten, soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind". In gleicher Weise gilt auch die "Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und Industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien" vom 17. November 1980 weiter, da in der StrlSchV und im Bundesberggesetz keine vergleichbaren Überwachungsregelungen für den Bergbau existieren.

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

Deutscher Wetterdienst , Zentralamt Offenbach am Main	Messung von Luft und Niederschlag Ausbreitungsprognose Spurenanalyse
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig	Spurenanalyse Bereitstellung von Aktivitätsnormalen
Bundesanstalt für Gewässerkunde , Koblenz	Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie , Hamburg	Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment
Bundesforschungsanstalt für Fischerei , Labor für Fischereiökologie, Hamburg	Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasserpflanzen, Plankton
Bundesanstalt für Milchforschung , Institut für Chemie und Technologie der Milch, Kiel	Milch, Milchprodukte, Futtermittel, Boden, Pflanzen und Düngemittel Einzellebensmittel, Gesamt- und Babynahrung
Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin	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 Strahlenhygiene, Neuherberg	Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölke- rung Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe
Institut für Atmosphärische Radioaktivität, 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 Angewandter Strahlenschutz, Berlin und Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

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:

1. Radionuklide ohne Zerfallsreihen
2. Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen
3. 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) von über 10^9 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:

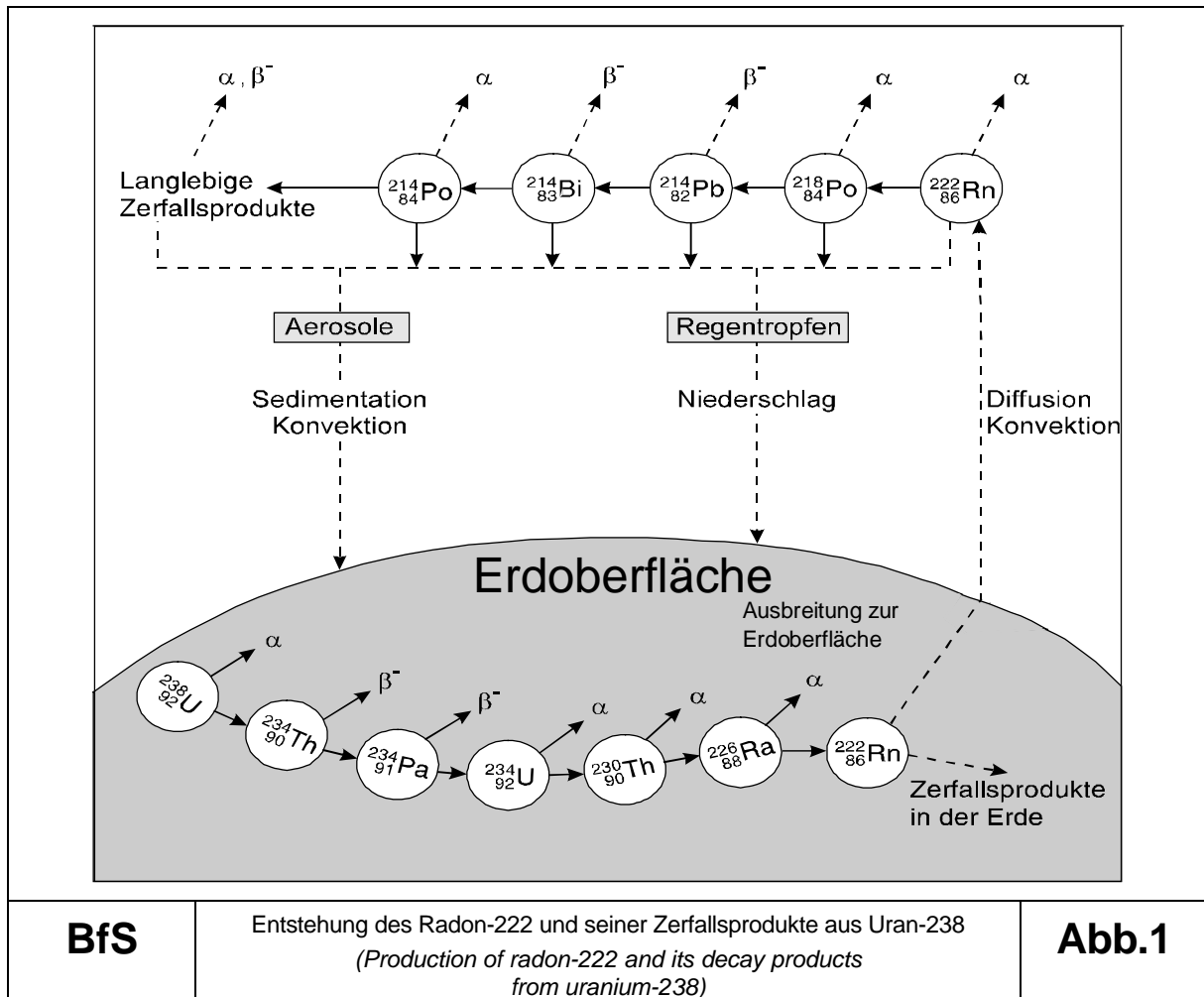
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Uran-238** mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Uran-235** mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Thorium-232** mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

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

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



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

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteine 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 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität für einige Bodenarten.

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

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

In Tabelle 2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Bergbauregionen 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 Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

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

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

^{*)} Einzelwerte bis 300 Bq/kg

^{**)} Einzelwerte bis 400 Bq/kg

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

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

In Tabelle 3 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 3 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	6	(1) ^{*)}	< 0,2 - 170
Polonium-210	2	(0,5) ^{*)}	< 0,1 - 40
Kalium-40	70		3 - 800
Kalium-40 (Mineralwasser)	1500		30 - 16 000

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

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

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

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

Unter den natürlichen Radionukliden sind vor allen Dingen **Kalium-40**, **Rubidium-87** sowie die Radionuklide der **Uran-238**-, **Uran-235**- und **Thorium-232**-Zerfallsreihen zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche U-238-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide **Tritium** (H-3) und **Beryllium-7** werden über die Atmosphäre in das Meer eingetragen. Tabelle 4 gibt die Hintergrundkonzentrationen der wichtigsten natürlichen Radionuklide wieder. Für eine Strahlenexposition des Menschen durch Verzehr von Meerestieren spielt der α-Strahler **Polonium-210** die größte Rolle.

Tabelle 4 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten
(Natural radioactive substances in bodies of water and sediments)

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

Fortsetzung Tabelle4

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

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

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

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

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

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 – 30 Bq/m³. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tallagen) sind auch höhere Konzentrationen möglich. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³. Bedingt durch Freisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonisotops der Th-232-Zerfallsreihe, Rn-220, sind in

Deutschland deutlich niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt. Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die Tabelle 5. 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 5 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte)
(*Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values*)

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

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

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Für das mit der Nahrung aufgenommene K-40 wird eine spezifische Aktivität von 60 Bq/kg im Körper gemessen. 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 6 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Bereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln. Die untersuchten Proben entstammen allerdings überwiegend Gebieten mit überdurchschnittlichen Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe im Boden und können deshalb nicht für Abschätzungen einer repräsentativen Strahlenexposition verwendet werden.

Tabelle 6 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 Frischmasse)				
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

Fortsetzung Tabelle 6

Nahrungsmittel	Kalium-40	Uran-238	Radium-226	Blei-210	Polonium-210
	spezifische Aktivität (Bq/kg Frischmasse)				
Fleisch	90 60 - 120	0,01 0,001 - 0,02	0,1 0,03 - 0,18	0,5 0,1 - 1	2 0,2 - 4
Fischfleisch	100 80 - 120	4,1 0,5 - 7,4	1,5 0,05 - 7,8	0,8 0,02 - 4,42	1,1 0,05 - 5,2
Milch	50 35 - 65		0,025 0,001 - 0,13	0,04 0,004 - 0,26	0,024 0,003 - 0,07

Die spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung des Menschen (feste und flüssige Form), die in der gemischten Kost eines Krankenhauses über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt die Tabelle 7. Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung kann aus diesen Angaben abgeschätzt werden.

Tabelle 7 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung
(gemischte Kost eines Krankenhauses)
(Specific activity of natural radioactive substances in the whole diet - mixed diet in a hospital)

Radionuklid	Mittelwert	Wertebereich
	spezifische Aktivität (Bq/kg Frischmasse)	
Uran-238	0,011	0,005 - 0,016
Radium-226	0,011	0,005 - 0,017
Blei-210	0,118	0,034 - 0,186
Polonium-210	0,119	0,090 - 0,196
Thorium-232	0,007	0,004 - 0,012

Die Tabelle 8 gibt einen Überblick über den mittleren Gehalt natürlich radioaktiver Stoffe im Menschen.

Tabelle 8 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 nSv/h (Nanosievert pro Stunde) bestimmt. Höhere γ -Ortsdosisleistungen, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven und über natürlichen Böden dieser Regionen, z. B. in den Südregionen der neuen Bundesländer, im Bayerischen Wald und im Schwarzwald gemessen.

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

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

Zur externen Strahlenexposition trägt weiterhin die kosmische Strahlung bei. Sie besteht primär aus der hochenergetischen Teilchenstrahlung der Galaxis und einer solaren Komponente, die in den äußeren Luftschichten der Erde die sekundäre kosmische Strahlung erzeugen. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die direkt ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine γ -Ortsdosisleistung von 32 nSv pro Stunde 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 pro Stunde, 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 pro Jahr.

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 pro Jahr und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch **Kalium-40** wird durch den Kaliumgehalt im Körper bestimmt, da 0,0118% des natürlichen Isotopengemisches von Kalium auf das radioaktive Isotop K-40 entfallen. Der K-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq (s. Tabelle 8). Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

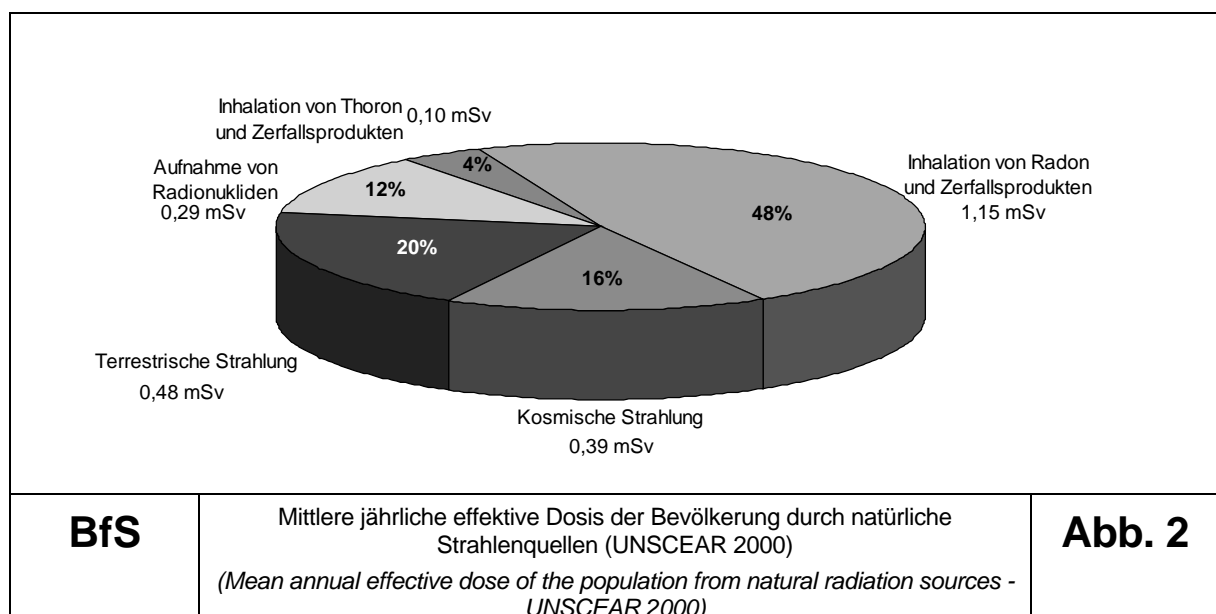
Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem 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 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 künftig zu betrachtenden sechs Altersgruppen sollte sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv ergeben. Dies ist mit dem bisher berichteten Wert von 2,4 mSv verträglich. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ebenfalls ein Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben. Die sich nach dem UNSCEAR Report für die einzelnen Komponenten ergebenden Anteile an der Gesamtexposition sind in der Abbildung 2 graphisch dargestellt /1/.

Literatur

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



2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (*Technologically enhanced natural environmental radioactivity*)

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

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, das wiederum von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängt. Ein wesentlich modifizierender Faktor ist jedoch die Bauweise, vor allem die Dichtheit der Häuser gegenüber dem Baugrund, die innere Strukturierung der Gebäude und das technisch vorgegebene sowie individuell bestimmte Heizungs-/Lüftungsregime.

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

Nach der „Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden“ der Europäischen Kommission sollen die Jahresdurchschnittswerte der Radonkonzentration in existierenden Gebäuden den Referenzwert von 400 Bq/m^3 nicht überschreiten und in neu zu errichtenden Gebäuden unter dem Planungswert von 200 Bq/m^3 liegen /1/.

Durch die oben genannten Gründe existieren in Deutschland beträchtliche regionale Unterschiede hinsichtlich der Radonkonzentration in Häusern. Sowohl die bisher in mehr als 50 000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es große Gebiete gibt, in denen Radon in Gebäuden keine für den Strahlenschutz relevante Bedeutung hat. In den anderen Gebieten (Radongebiete) sind dagegen systematische Untersuchungen erforderlich, um die Situationen zu identifizieren, in denen Schutzmaßnahmen gegen erhöhte Radonexposition zu empfehlen sind.

Für die Identifikation derartiger Gebiete werden vorrangig die Ergebnisse vorliegender und noch durchzuführender Radonmessungen in Häusern, die geologischen Gegebenheiten und das Radonpotenzial im Baugrund herangezogen.

Radonmessungen in Häusern sind vor allem in den Gebieten erforderlich, in denen wegen der geologischen Bedingungen zwar erhöhte Radonkonzentrationen zu erwarten sind, aber bisher keine oder zu wenig Radonmessungen durchgeführt wurden.

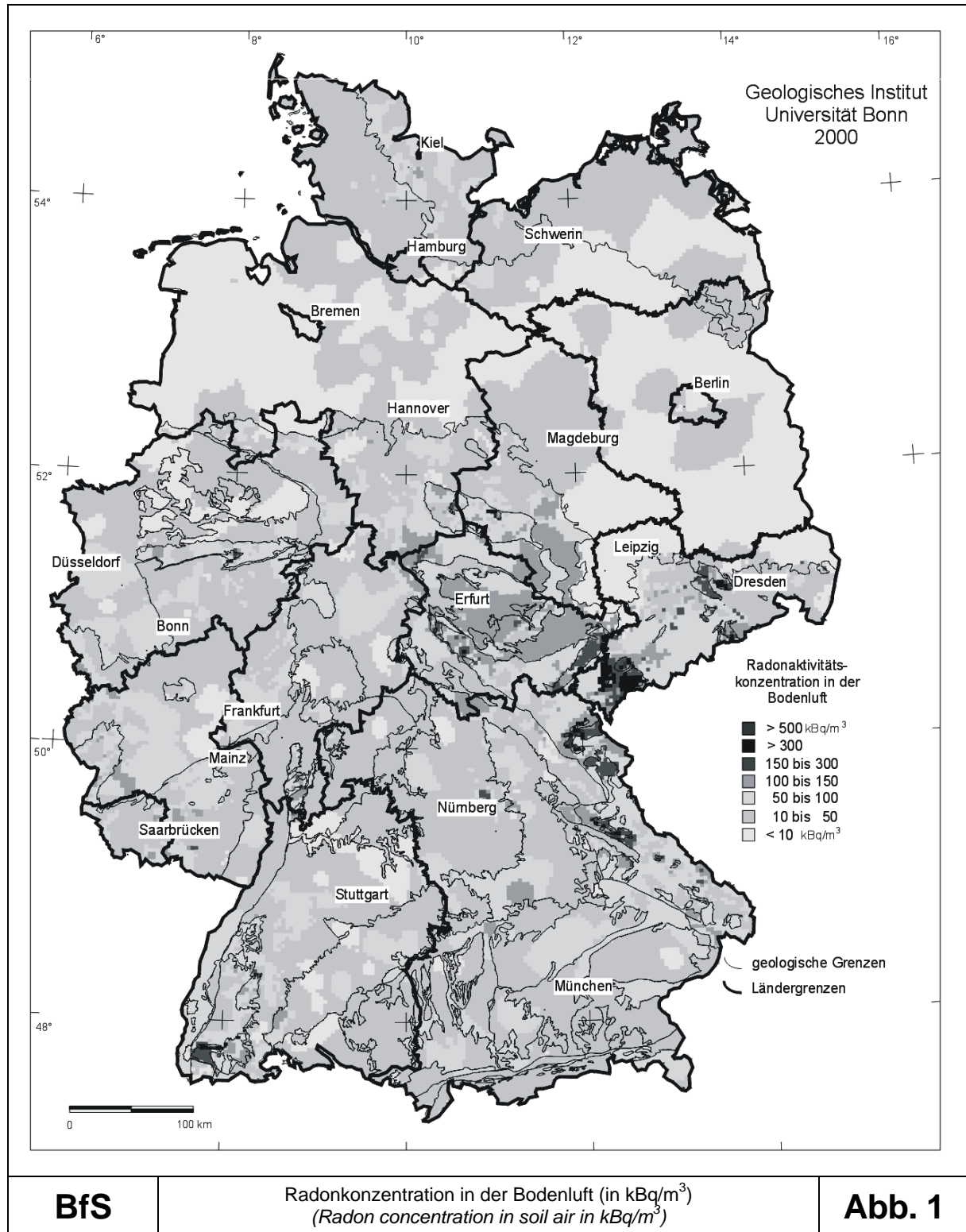
Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens wurde im Jahr 2000 die regionale Bewertung des Einflusses der geologischen Situation auf die Konzentration des Radons in Gebäuden fortgesetzt. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gibt Abbildung 1 eine orientierende Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe. Diese Messwerte stellen ein gutes Maß für das Potenzial des Untergrunds dar, Radon an die Luft in Innenräumen abzugeben.

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

In 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 Tieflands.

Die in Häusern der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Radonkonzentrationen sind in Bezug auf ihren geogenen Anteil mit denen aus anderen Ländern Mitteleuropas vergleichbar. Rein geologisch bedingt können Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m³ auftreten. Die höchsten ausschließlich auf geologische Ursachen zurückführbaren Radonkonzentrationen hat man in Häusern gemessen, die auf Graniten errichtet wurden.



Aktuelle Abschätzungen zeigen, dass in ca. 5 % der Fläche Deutschlands Radonkonzentrationen über 100 kBq/m³ in der Bodenluft vorkommen (vergleiche Abbildung 1). In diesen Gebieten sind insbesondere in älteren Häusern gehäuft Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen anzutreffen. Neubauten sollten an Standorten mit derart hohen Radonkonzentrationen im Baugrund radongeschützt errichtet werden.

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten zu Gebäudekellern Grubenwetter mit häufig sehr hoher Radonkonzentration in die Gebäude gelangen. Da Gebiete mit Bergbau oft von Bodensenkungen und damit verbundenen Gebäudeschäden betroffen sind, können noch zusätzliche Wegsamkeiten für das Radon in die Gebäude geschaffen werden. In Häusern der Bergbaugebiete wurden in Einzelfällen kurzzeitig bis zu 600 000 Bq/m³ und Jahresmittelwerte über 15 000 Bq/m³ festgestellt. Auf Grund der in einigen Lagerstätten vorhandenen paragenetischen Uranvererzungen, aber auch wegen der meist hohen Gasdurchlässigkeit von geschüttetem Material sollten Halden generell als Flächen mit erhöhtem Radonpotenzial eingestuft werden und im Allgemeinen nicht bebaut werden.

Baumaterialien tragen in Gebieten mit niedrigem Radonpotenzial im Untergrund mit einem Anteil von rund einem Drittel zur Konzentration des Radons in Gebäuden bei. Sie sind aber selten die Ursache hoher Konzentrationen. Zu beachten ist jedoch die Verwendung von Haldenmaterial oder bestimmten Reststoffen der Rohstoffverarbeitung zu Bauzwecken. Infolge der früher unkontrolliert erfolgten Verwendung von Reststoffen als Baumaterial wurden in Einzelfällen Jahresmittelwerte von Radonkonzentrationen bis zu einigen Tausend Bq/m³ gemessen. Diese Fälle sind zumeist auf Gebiete beschränkt, in denen Rohstoffe mit hoher natürlicher Radioaktivität gewonnen oder verarbeitet wurden. Es treten auch in solchen Gebieten keine großflächigen Beeinflussungen der Radonkonzentration in Häusern auf, es wurden nur sporadische Erhöhungen gegenüber den umgebungstypischen Werten festgestellt.

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

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

Im Rahmen des Umwelt-Forschungsplanes wurden im Jahre 2000 weitere detaillierte Untersuchungen des Zusammenhanges zwischen der Radonkonzentration im Boden und in Gebäuden durchgeführt. Die Messungen ergaben wichtige Informationen über den von speziellen baulichen Gegebenheiten abhängigen Transfer des Radons aus dem Untergrund in die Gebäude. Zum Beispiel wurde für unterkellerte Häuser mit betoniertem Kellerfußboden und Geschossdecken aus Beton ein mittleres Verhältnis der Radonkonzentration in der Raumluft zu der in der Bodenluft von 1,5 Promille für Keller und 0,8 Promille für Erdgeschoss festgestellt /3/.

Literatur

- /1/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.1990
- /2/ Kemski, J.; Klingel, R.: "Radon-Transferraten Bodenluft - Raumluft". Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschung zum Problemkreis „Radon“, Bonn, Dezember 2000
- /3/ Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: "Die aktuelle Karte des geogenen Radonpotenzials in Deutschland". Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschung zum Problemkreis "Radon", Bonn, Dezember 2000

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

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 20 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien und in industriellen Reststoffen durchgeführt. Es wurde die spezifische Aktivität des **Radium-226**, **Thorium-232** und **Kalium-40** in mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

Die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien verursachen im Wesentlichen eine äußere Exposition durch γ -Strahlung aber auch eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von in die Raumluft freigesetztem Radon und seinen Zerfallsprodukten.

In Deutschland wird zunehmend die Verwendungsfähigkeit von Reststoffen in der Baustoffindustrie untersucht. Bei Materialien mit überdurchschnittlich hohen Gehalten natürlicher Radionuklide können erhöhte Strahlenexpositionen auftreten. Das Bundesamt für Strahlenschutz wird deshalb vom Deutschen Institut für Bautechnik in das Prüfverfahren der Umweltverträglichkeit von neuen Baustoffen, und Bauteilen 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. In der 1999 von der Europäischen Kommission verabschiedeten Empfehlung „Radiation Protection 112 – Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials“ /1/ werden Rahmenbedingungen für die Kontrolle der Radioaktivität von Baumaterialien veröffentlicht.

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

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
Spez. Aktivität (Bq/kg TM)						
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyrit	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	

Fortsetzung Tabelle 1

Bausstoffe und sonstige Materialien	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämme	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdensmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1100	(1000 - 1200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		nicht gemessen		nicht gemessen	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)	nicht gemessen	
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		nicht gemessen	
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)

Fortsetzung Tabelle 1

Bausstoffe und sonstige Materialien	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
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			nicht gemessen
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			nicht gemessen
Phosphat (GUS - Kola)	59		64			nicht gemessen
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	12000		11000			nicht gemessen
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14000		3900			nicht gemessen
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36000		84000			nicht gemessen
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)		nicht gemessen
(GUS)	110		44		120	
(Belgien)	910		< 25		< 180	
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
PN-Dünger						
(Deutschland)	310		30		41	
(GUS)	460	(100 - 820)	29	(10 - 48)		nicht gemessen
(USA)	115	(20 - 210)	39	(15 - 63)		nicht gemessen
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)

Untersuchungen und Ergebnisse

In der Tabelle 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. Die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide weisen von Material zu Material große Unterschiede auf und zeigen auch innerhalb der Stoffarten eine große Variationsbreite. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmasteine, insbesondere Granit, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden γ -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 Ra-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering sind,

dass sie nicht die Ursache für Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen darstellen. 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 Reststoffen aus industriellen Verarbeitungsprozessen haben sich die natürlichen radioaktiven Stoffe angereichert. Bei unkritischer Verwendung, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoffe im Bauwesen, können dadurch erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung hervorgerufen werden. So wurden z. B. in Häusern, die früher aus Kupferschlackesteinen des Mansfelder Gebietes errichtet worden sind, γ -Ortsdosisleistungen bis ca. 700 nSv/h gemessen. Um dies zu vermeiden, wird heute solchen Materialgruppen besondere Aufmerksamkeit gewidmet, vor allem unter dem Aspekt der Nutzung von Rohstoffen aus aller Welt. Bei der überwiegenden Menge mineralischer Reststoffe wurden Radionuklidkonzentrationen in dem Niveau gemessen, wie sie in konventionellen Baustoffen vorkommen.

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.

Literatur

- /1/ European Commission; 2000: 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

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

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

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

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

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

Bei Flügen in größeren Höhen können für das fliegende Personal erhöhte Strahlenexpositionen auftreten.

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

Stilllegung und Sanierung des Uranerzbergbaus und der Aufbereitung

Die berufliche Strahlenexposition bei der Urangewinnung in Sachsen und Thüringen und bei den ab 1991 durchgeführten Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten ist im Teil III 1.4 dargestellt. Ursache der dabei auftretenden beruflichen Strahlenexposition sind die Nuklide der Uran-Radium-Zerfallsreihe. Die spezifische Aktivität dieser Nuklide in den bergbaulichen Materialien ist deutlich höher als in Böden und Baumaterialien (Haldenmaterial/Bergematerial im Bereich bis zu 1000 Bq/kg, Rückstände der Uranerzaufbereitung -Tailings - im Bereich von 5 000 bis 15 000 Bq/kg). Die Strahlenexposition wird aber vor allem durch Radon und die kurzlebigen Radonzerfallsprodukte verursacht. Die mittlere jährliche effektive Dosis für die Beschäftigten lag 2000 bei 1,08 mSv (bei Berechnung der effektiven Dosis nach der Dosiskonventionskonvention auf der Grundlage der ICRP Empfehlung Nr. 65 /2/, siehe auch Teil III 1.4).

Untertägige Bereiche und Anlagen außerhalb der Uranindustrie, Rohstoffgewinnung

In vielen Arbeitsbereichen des Nichturanerzbergbaus, der Bergsicherung, der Schauhöhlen und -bergwerke können ebenfalls hohe Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten auftreten. Die Strahlenexpositionen für beschäftigte Personen im Nichturanbergbau lagen im Mittel bei 2,17 mSv, in Betrieben der Bergsicherung bei 1,42 mSv und in Schauhöhlen und Schaubergwerken bei 1,71 mSv. Einzelheiten dazu werden im Teil III 1.4 beschrieben. Die mittlere jährliche effektive Dosis aller durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern beruflich exponierten überwachten Personen außerhalb der Sanierungsbetriebe des ehemaligen Uranerzbergbaus betrug 2000 1,23 mSv.

Anlagen der Wasserwirtschaft und Radonbäder

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

In den westsächsischen Wasserwerken werden seit Mitte der 80er Jahre Strahlenschutzüberwachungen der dort Beschäftigten und erforderlichenfalls Maßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition (Sanierungsmaßnahmen) durchgeführt. Die mittlere effektive Dosis der Beschäftigten konnte in diesen Betrieben wesentlich gesenkt werden und betrug im Jahr 2000 1,27 mSv (siehe Teil III 1.4). Derartige Untersuchungen wurden in der Folgezeit auch in anderen Gebieten durchgeführt.

Erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon können weiterhin in Radonbädern und sonstigen übertägigen Arbeitsplätzen, in Büros, Schulen, Geschäften und Werkstätten auftreten. Die mittlere effektive Dosis für Beschäftigte in Radonbädern betrug im Jahr 2000 2,16 mSv.

Langstreckenflüge in großen Höhen

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

In einer Stellungnahme der SSK (1994) zur Strahlenexposition des fliegenden Personals wurden neuere Messergebnisse dargestellt und Abschätzungen der Strahlenexposition vorgenommen /3/. Für einen Langstreckenflug bei einer Reiseflughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km ergibt sich eine über die

Flughöhe gewichtete Umgebungs-Äquivalentdosisleistung von 6,6 μSv pro Stunde. Die Umgebungs-Äquivalentdosis schätzt die effektive Dosis im Flugzeug konservativ ab und wird als Messgröße verwendet. Bei Berücksichtigung der maximalen kosmischen Strahlenexposition, sie liegt in Zeiten minimaler Sonnenaktivität vor, beträgt die Umgebungs-Äquivalentdosis (Qualitätsfaktor nach ICRP-Publikation 26 /4/) 8,6 μSv pro Stunde. Daraus ergibt sich für die Zeiten, die für den Aufenthalt in Reise-flughöhe angenommen werden (875 Stunden im Jahr) eine jährliche effektive Dosis von 7,5 mSv. Bei Anwendung der Qualitätsfaktoren von ICRP-Publikation 60 /5/ erhöhen sich die Werte der Umgebungs-Äquivalentdosis, je nach Annahme der Zusammensetzung des Strahlenfeldes, bis auf 8,3 mSv. Eine solche Jahresdosis wird wegen der konservativen Annahmen in der Praxis nicht erreicht, und bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind bei sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Umgang mit thorierten Schweißelektroden

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

Umgang mit Thoriumglühstrümpfen

Bei der Herstellung, der Verteilung und beim Umgang mit Glühstrümpfen und Glühkörpern für Gaslampen, die Thorium enthalten, ergeben sich äußere und innere Strahlenexpositionen. Für die äußere Strahlenexposition von Lager- und Transportarbeitern wurde eine effektive Dosis von bis zu 10 mSv pro Jahr errechnet. Bei den Beschäftigten des Reparatur- und Wartungsdienstes von Gasleuchten ist eine Aufnahme des Thoriums durch Inhalation nicht auszuschließen. Die Untersuchungen zu diesem Problem sind noch nicht abgeschlossen.

Verwendung von Phosphatdüngemitteln

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

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

Verwendung industrieller Reststoffe als Baumaterial

Haldenmaterial aus dem Erzbergbau

Das beim Uranerzbergbau in den neuen Bundesländern angefallene "taube" Gestein (Haldenmaterial) weist eine mittlere spezifische Aktivität von etwa 700 Bq Ra-226 pro kg (Bereich bis 1000 Bq/kg) auf. Die spezifische Aktivität von Haldenmaterialien aus dem sonstigen Erzbergbau liegt meist in der

gleichen Größenordnung, teilweise aber auch deutlich höher. In der Vergangenheit wurde das Material häufig für Straßenbau, Geländeaufschüttungen, manchmal jedoch auch zur Gebäudehinterfüllung und für sonstige Bauzwecke verwendet.

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

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

Schlacke des Mansfelder Kupferschiefers

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

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

Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

- /5/ ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford
- /6/ SSK: Bewertung der Verwendung von Kupferschlacke aus dem Mansfelder Raum. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 31, S. 1, Gustav Fischer Verlag 1997
- /7/ SSK: Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 36, S. 23, Gustav Fischer Verlag 1997

2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften (Mining relics)

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

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

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

Die Daten und Informationen sowie die Ergebnisse der auf der Grundlage von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommenen radiologischen Bewertung wurden in Datenbanksystemen gespeichert, die auch von den Landesbehörden genutzt werden können. Im Jahr 2000 hat das BfS damit begonnen, die Untersuchungsergebnisse in verdachtsflächenbezogenen Berichten den zuständigen Behörden zur Verfügung zu stellen.

3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT (ARTIFICIAL SOURCES OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)

3.1 Luft und Niederschlag (Air and precipitation)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg und vom Deutschen Wetterdienst - Zentrale -, Offenbach am Main

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ist zuständig für den Betrieb des ODL-Messnetzes (ca. 2150 Messorte) zur kontinuierlichen Überwachung der γ -Ortsdosisleistung sowie des ABI-Messnetzes mit 12 Stationen zur Überwachung der Luft auf natürliche α -Aktivität, künstliche β -Aktivität und radioaktive Jodisotope. Das Radioaktivitätsmessnetz des DWD umfasst 40 Messorte, die gemäß der im IMIS geforderten Messaufgaben gerätetechnisch ausgestattet sind. Dazu gehören insbesondere die rund um die Uhr eingesetzten nuklidspezifisch messenden γ -Schrittfilteranlagen zur kontinuierlichen Überwachung der Luft. Darüber hinaus stehen Niederschlagsproben von 7 weiteren Messorten zur Verfügung. Das Messnetz des DWD und dessen radiochemisches Zentrallabor in Offenbach sind Bestandteile des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) zur Überwachung der Umweltradioaktivität des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Die Ergebnisse der Messnetze des BfS und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden täglich an IMIS weitergeleitet.

Im Rahmen dieses Berichtes kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und die Tabellen stellen repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in der Leitstelle verfügbar.

Zusätzlich sind hier die Messergebnisse des Instituts für Atmosphärische Radioaktivität des Bundesamtes für Strahlenschutz (IAR), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München-Neuherberg aufgenommen, die der Überwachung der Umweltradioaktivität auf dem Niveau sehr geringer Aktivitätskonzentrationen dienen.

Dabei wurden die Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der bodennahen Luft und im Niederschlag mittels γ -Spektrometrie, α -Spektrometrie und integraler Messung der β -Aktivität bestimmt. Diese Daten werden ergänzt durch Messungen der γ -Ortsdosisleistung.

Die Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind im Jahr 2000 gegenüber denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen 2000 - wie im vorangegangenen Jahr - in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

Radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

In dem Zeitraum vom 08.05.-15.05.2000 (KW 19) wurde an der Spurenmessstation des IAR auf dem Schauinsland (47,9 °N, 7,9 °E, 1205 m ü. NN) eine erhöhte Aktivitätskonzentrationen von **Cäsium-137** in der bodennahen Luft gemessen (vgl. Abbildung 1). Mit 3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ liegt der Messwert etwa um den Faktor 6 über dem Jahresmittelwert für die Aktivitätskonzentration von Cs-137. An anderen, weiter nördlich gelegenen Spurenmessstationen wurden bereits in der Vorwoche (KW 18) leicht erhöhte Messwerte für die Cs-137-Aktivitätskonzentration beobachtet. Die Analyse von Trajektorienrechnungen für diesen Zeitraum lässt auf Grund der wechselnden Windverhältnisse während der Probenahme keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Quelle der Erhöhung zu. Als mögliche Ursache kommen Moor- und Waldbrände in der Umgebung von Tschernobyl in Betracht, durch die Cs-137 in die Atmosphäre gelangt sein könnte.

Von der PTB wurden in Quartalsproben Aktivitätskonzentrationen in Luft für die Alphastrahler **Plutonium-238** sowie **Plutonium-239/240** bestimmt. Die extrem niedrigen Aktivitätskonzentrationen im Nanobecquerelbereich gehen hauptsächlich noch auf oberirdische Kernwaffenversuche (bis 1980) zurück. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Für Pu-239/240 erkennt man seit Jahren einen langfristig abnehmenden Trend. Die Aktivitätskonzentration des Pu-238 nimmt seit Mitte der neunziger Jahre ab und liegt inzwischen auf dem Niveau der erreichbaren Erkennungsgrenzen. Im ersten Quartal 2000 wurde jedoch ein deutlich höherer Messwert – vergleichbar mit den Werten Mitte der

neunziger Jahre - beobachtet. Auf Grund des großen Probennahmezeitraums können keine Trajektorienrechnungen zur Ermittlung der Ursache für die Erhöhung herangezogen werden. Der Beitrag zur Strahlenbelastung durch diese Aktivitätskonzentrationen im Bereich von 10^{-11} bis 10^{-9} Bq/m³ ist vernachlässigbar.

Die vom IAR durchgeführten Messungen der radioaktiven Edelgase ergab keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von **Xenon-133** an den deutschen Stationen lagen wie schon in den vergangenen Jahren zwischen 1 und 100 mBq/m³. Als Beispiel ist in Abbildung 3 die Zeitreihe der Aktivitätskonzentration der radioaktiven Xenonisotope am Probennahmeort Freiburg dargestellt.

Der Grundpegel von **Krypton-85** ist im Jahr 2000 weiter leicht angestiegen (vgl. Abbildung. 4); der Medianwert im Jahr 2000 lag z. B. für den Probennahmeort Freiburg – repräsentativ für die mitteleuropäischen Stationen - bei 1,5 Bq/m³. Der jährliche Anstieg von ca. 30 mBq/m³ entspricht dem globalen Trend. Die Freisetzungsrates von Kr-85 ist größer 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 dem durchschnittlichen Werten für die Ortsdosisleistung in Deutschland vernachlässigbar.

Aus nuklid-spezifischen Messungen (γ -Spektrometrie) von wöchentlich beaufschlagten Staubfiltern wurden für künstliche Radionuklide keine signifikant höheren Messwerte als die errechneten nuklid-spezifischen Nachweisgrenzen zwischen 2 und 5 μ Bq/m³ ermittelt. Die Monatswerte im Jahr 2000 für die Radionuklide Be-7, I-131, Cs-134 und Cs-137 in der bodennahen Luft für die ausgewählten Messstellen Aachen, Berlin, München, Offenbach und Schleswig werden in den Tabelle 1a) bis 1e) aufgezeigt. Exemplarisch für die Messstellen Offenbach und Berlin sind die Messergebnisse für Be-7 und Cs-137 in Abbildung 5 grafisch dargestellt. Für künstliche Radionuklide werden im Wesentlichen Nachweisgrenzen festgestellt, während sich das kosmogene Be-7 mit Werten zwischen 2,5 und 6,0 mBq/m³ deutlich hervorhebt.

Für eine Auswahl von 8 Messstellen wurden zur Ermittlung von Monatswerten radiochemische Untersuchungen anhand von vier Wochenfiltern zur Bestimmung von Radionukliden des Urans, Plutoniums und Strontiums durchgeführt. Die Nachweisgrenzen für Uran- und Plutoniumisotope betragen zwischen 0,01 und 0,5 μ Bq/m³, für Sr-90 zwischen 0,3 und 1,3 μ Bq/m³. Im September wurde anhand einer Probe der Messstation Berlin eine Konzentration von 1,5 μ Bq/m³ U-234 festgestellt. Es handelt sich um natürliches Uran, welches vermutlich auf dem Luftweg von den Abraumhalden in Südsachsen verfrachtet wurde.

Radioaktive Stoffe im Niederschlag

Anhand von Monatssammelproben wurden γ -spektrometrisch für 40 Messstationen die Einzelnuclide im Niederschlag gemessen. Die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, München, Offenbach und Schleswig sind in den Tabellen 2a) bis 2e) zusammengefasst. Die ermittelten Aktivitätskonzentrationen für Cs-137 betragen 0,5 - 5 mBq/l. In dieser Größenordnung liegt auch die Nachweisgrenze des Messverfahrens. Exemplarisch zeigt Abbildung 6 für die Messstationen Offenbach und Berlin Messergebnisse für die Deposition von Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Messwerte von ca. 50 mBq/m² bzw. Nachweisgrenzen in dieser Größenordnung ermittelt, während für kosmogenes Be-7 deutlich höhere Messwerte zwischen 11 und 164 Bq/m² bestimmt wurden.

Zur Fortsetzung einer langjährigen Messreihe wurde die **Gesamt- β -Aktivität** im Niederschlag ermittelt. Für das Jahr 2000 resultiert ein über 46 Mess- und Sammelstationen arithmetisch gemittelter Jahreswert für die Deposition von 62 Bq/m² (Vorjahreswert 1999: 69 Bq/m²). Unter Berücksichtigung der Monatsniederschlagshöhen resultiert daraus ein Mittelwert für die **Gesamt- β -Aktivitätskonzentration** von 76 mBq/l (Vorjahreswert 1999: 81 mBq/l). Die Messwerte bewegen sich im Niveau der

Werte vor dem Tschernobyl-Unfall, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Niederschlag zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 2000 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Jahr 2000 als Jahressummenwerte in Bq/m^2 sind in Abbildung 8 dargestellt. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 9 die Ergebnisse des Jahres 1999.

Im Labor wurden radiochemische Analysen der Niederschlagsproben von 8 Messstationen zur Bestimmung von **Strontium-90** und einzelner Isotope der Alphastrahler (**Uran, Plutonium**) sowie für **Tritium** im Niederschlag durchgeführt. Die Nachweisgrenzen für die Alphastrahler betragen zwischen 0,01 bis 0,08 mBq/l und für Strontium-90 ca. 0,5 bis 5,3 mBq/l . An einzelnen Messstationen wie zum Beispiel Arkona wurden erhöhte Konzentrationen von U-234 und U-238 bis zu Werten von 2,73 mBq/l festgestellt. Auf Grund der Isotopenverteilung und der meteorologischen Situation im betrachteten Zeitraum sind als Quellen die Abraumhalten des Uranbergbaus in Sachsen zu vermuten.

γ -Ortsdosisleistung

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 des Bodens an natürlichen Radionukliden 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. Abb. 5, Karte der mittleren γ -Ortsdosis 2000). Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 40 nSv/h (Jahresdosis 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 m. 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.

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

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1993	3145	0,32	10,3	1,06	379
1994	3390	0,33	10,1	0,86	298
1995	2600	0,27	7,2	0,41	177
1996	2500	0,33	7,6	0,40	238
1997	3669	0,37	11,0	0,73	372
1998	3235	0,35	8,4	0,63	298
1999	3361	0,43	8,8	0,50	319
2000	2855	0,34	9,4	0,51	278
Januar	2310	0,23	5,4	0,52	272
Februar	2556	0,26	5,5	0,23	155
März	2317	0,26	5,5	0,50	203
April	3018	0,41	12,0	0,63	320
Mai	5611	0,93	14,9	1,17	373
Juni	3589	0,52	9,5	0,41	276
Juli	2175	0,32	10,4	0,15	220
August	3071	0,38	11,9	0,35	286
September	2711	0,26	14,4	0,87	314
Oktober	2415	0,21	7,9	0,37	388
November	2153	0,19	5,9	0,39	247
Dezember	2336	0,17	15,6	0,61	376

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1993	3900	0,4	0,3	4,6	560
1994	3500	0,4	< 0,2	2,3	420
1995	3500	0,4	< 0,12	2,3	425
1996	3300	0,4	0,1	2,4	480
1997	3400	0,4	< 0,1	2,2	480
1998	3660	0,5	< 0,11	2,1	400
1999	3320	0,4	< 0,06	1,5	380
2000	3030	0,4	< 0,06	1,7	420
Januar	2630	< 0,3	< 0,07	3,2	605
Februar	3020	0,3	< 0,06	1,2	220
März	2730	0,3	< 0,06	1,3	270
April	3270	0,4	< 0,06	1,7	370
Mai	3870	0,5	< 0,07	1,4	390
Juni	4770	0,8	< 0,06	0,8	385
Juli	3290	0,6	< 0,06	0,6	265
August	3810	0,4	< 0,06	0,9	515
September	2450	0,3	< 0,06	1,0	600
Oktober	2440	< 0,2	< 0,06	1,8	435
November	1650	< 0,2	< 0,06	2,4	310
Dezember	2460	< 0,2	< 0,06	3,9	655

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

Zeit- raum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
1993	2570	<10	3076	<2,7	2928	<2,5	2940	<10
1994	2720	<10	3789	<2,7	3001	<1,8	3920	<1,6
1995	3028	<3,9	3667	<3,6	3772	<3,6	3942	<2,3
1996	3080	<4,4	2850	<3,6	3360	<2,1	3480	<2,4
1997	3368	<3,1	3709	<3,4	3751	<2,2	3878	<2,1
1998	2646	<3,4	3443	<3,1	3066	<2,2	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
Januar	1840	<2,8	2530	<2,4	2320	<3,2	2600	<1,6
Februar	2340	<2,3	2520	<2,7	2500	<3,1	2900	<1,7
März	1930	<3,3	2140	<3,2	2310	<3,8	2560	<1,7
April	2800	<1,8	3450	<3,2	3440	<3,9	2980	<1,6
Mai	4100	<2,9	5120	<3,6	5660	<4,2	4130	1,3
Juni	2490	<3,9	4400	<3,3	3780	<3,9	3640	<1,6
Juli	1580	<3,4	2320	<2,5	1930	<3,3	2040	<1,4
August	1610	<4,0	3500	<3,1	2940	<3,9	2620	<1,6
September	2430	<4,9	2360	<3,1	3030	<4,3	2810	<1,9
Oktober	1760	<4,0	2330	<2,8	2570	<4,3	2190	<1,9
November	1480	<3,4	1790	<2,5	1970	<4,1	2110	<2,0
Dezember	1660	<3,01	2240	<2,9	2330	<3,5	2240	<1,7

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	
	Be-7	Cs-137
1993	3390	0,81
1994	3525	0,61
1995	3348	0,63
1996	3454	0,4
1997	4916	0,6
1998	4488	1,0
1999	4106	0,63
2000	3754	0,47
Januar	3415	0,48
Februar	3038	0,32
März	3241	0,39
April	3965	0,63
Mai	4735	1,27
Juni	5449	0,39
Juli	4001	0,25
August	4748	0,49
September	3574	0,40
Oktober	3138	0,41
November	2408	0,36
Dezember	3334	0,31

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration in $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1993	1205	4,7	1243	5,4
1994	1301	4	1327	5
1995	1526	5,0	1544	5,5
1996	1438	5,1	1466	5,9
1997	1580	5,8	1590	6,8
1998	1623	5,1	1619	4,3
1999	1699	3,6	1736	5,0
2000	1641	3,4	1692	5,6
Januar	1464	4,6	1483	5,0
Februar	1531	3,3	1522	3,9
März	2038	5,3	2067	11,5
April	1496	2,2	1506	5,2
Mai	1344	0,8	1415	2,1
Juni	2285	3,3	2641	6,4
Juli	1472	2,8	1523	7,9
August	1507	6,4	1541	3,9
September	1748	4,5	1729	4,5
Oktober	1835	2,3	1849	5,4
November	1533	1,4	1554	2,9
Dezember	1440	3,9	1478	8,3

Tabelle 2 Deposition von Einzelnucliden mit dem Niederschlag
(*Deposition of individual nuclides with precipitation*)

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

Zeitraum	Deposition (Bq/m^2)				
	l/m^2	Be-7	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1993	984,8	2520	0,79	6,4	250
1994	859,3	2010	< 0,5	3,8	190
1995	959,9	2000	< 0,6	4,28	210
1996	867,9	2010	< 0,4	3,5	250
1997	754,1	2000	< 0,4	2,8	140
1998	846,7	2000	< 0,4	2,9	175
1999	1009,8	1820	< 0,4	2,0	*
2000	1054,7	1840	< 0,4	1,6	*
Januar	46,5	63	< 0,04	0,21	3,3
Februar	71,9	65	< 0,03	0,06	5,1
März	112,4	160	< 0,04	0,28	*
April	68,2	80	< 0,03	0,15	*
Mai	158,2	340	< 0,04	0,37	*
Juni	74,1	190	< 0,04	0,14	*
Juli	99,8	360	< 0,03	0,12	*
August	128,6	240	< 0,03	0,07	*
September	128,6	160	< 0,03	0,06	*
Oktober	74,7	81	< 0,03	0,05	*
November	46,8	57	< 0,04	0,08	*
Dezember	44,9	49	< 0,04	0,03	*

* : Analysen noch nicht abgeschlossen

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

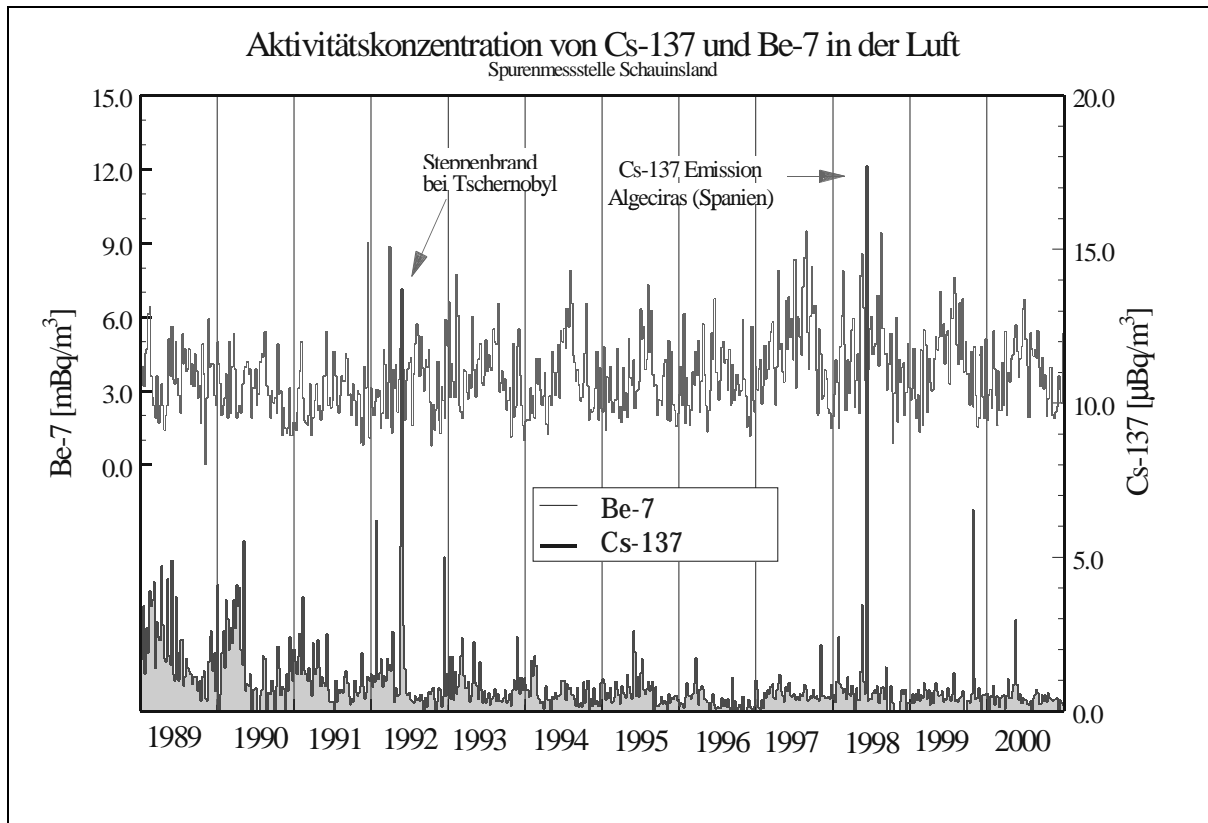
Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1993	597,0	831	<1,52	619,2	971	<0,76
1994	533,3	849	<0,61	703,6	991	<0,47
1995	607,3	1117	<0,84	925,8	1258	<0,83
1996	551,0	559	<0,42	462,9	629	<0,67
1997	436,2	580	<0,53	526,2	628	<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
Januar	26,9	40	<0,02	46,2	31	<0,12
Februar	53,6	61	<0,03	61,7	34	<0,06
März	60,2	99	0,04	92,3	78	<1,12
April	27,0	28	<0,05	32,0	20	<0,10
Mai	52,4	56	0,05	29,5	13	<0,10
Juni	61,2	66	<0,08	26,9	19	0,07
Juli	155,4	149	<0,05	70,4	26	<0,12
August	55,0	92	<0,05	82,5	79	0,11
September	77,9	100	<0,05	61,7	52	<0,16
Oktober	55,0	44	<0,05	23,6	39	0,33
November	58,8	34	<0,05	24,7	14	<0,10
Dezember	52,8	59	<0,03	38,8	44	<0,10

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

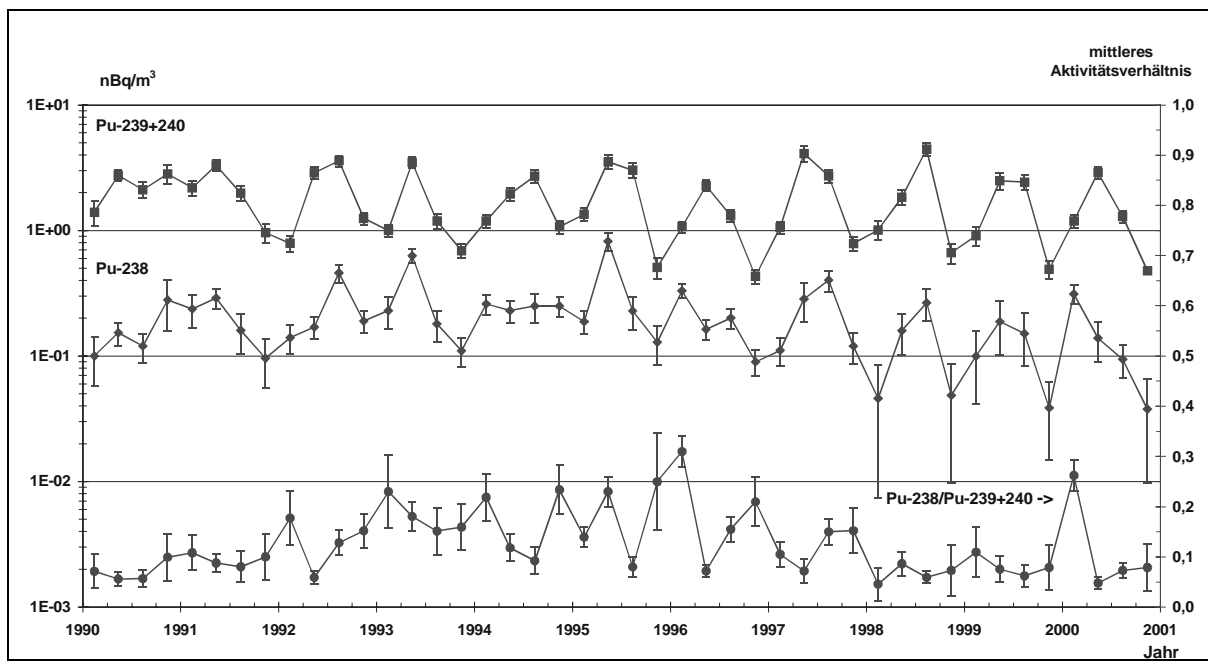
c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1996	626,6	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		736,3	619	
Januar	59,9	65	< 8,63	63,9	97	< 9,01
Februar	106,6	104	< 1,04E-01	81,1	88	< 9,41
März	66,5	124	< 8,98	80,3	44	< 9,56
April	52,6	50	< 9,84	49,9	43	< 9,28
Mai	65,4	86	< 9,31	43,7	26	< 1,17E-01
Juni	69,3	89	< 1,06E-01	69,0	58	< 1,12E-01
Juli	217,1	250	< 5,28	80,9	36	< 8,66
August	73,2	99	< 9,00	17,5	11	< 8,75
September	86,2	88	< 9,91	46,3	79	< 6,85
Oktober	55,1	27	< 8,54	93,8	62	< 5,17
November	42,1	15	< 8,38	50,8	26	< 1,25E-01
Dezember	52,3	31	< 6,90	59,1	49	5,64

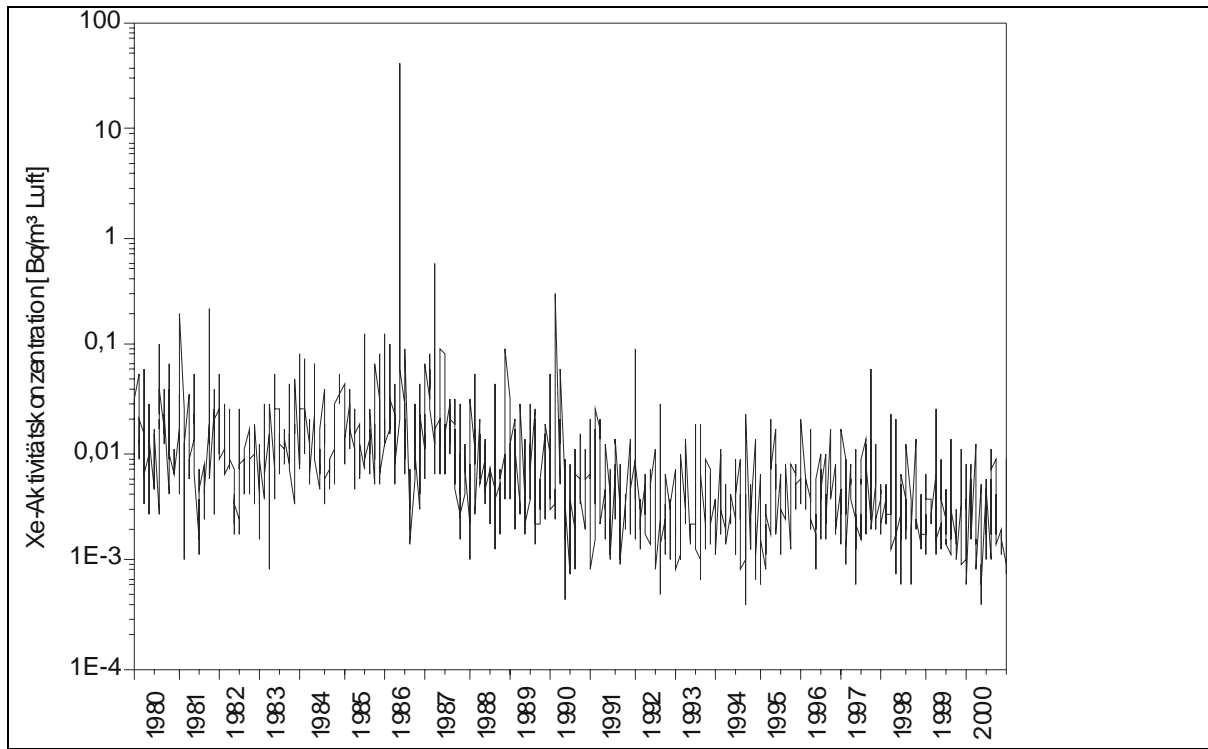
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze



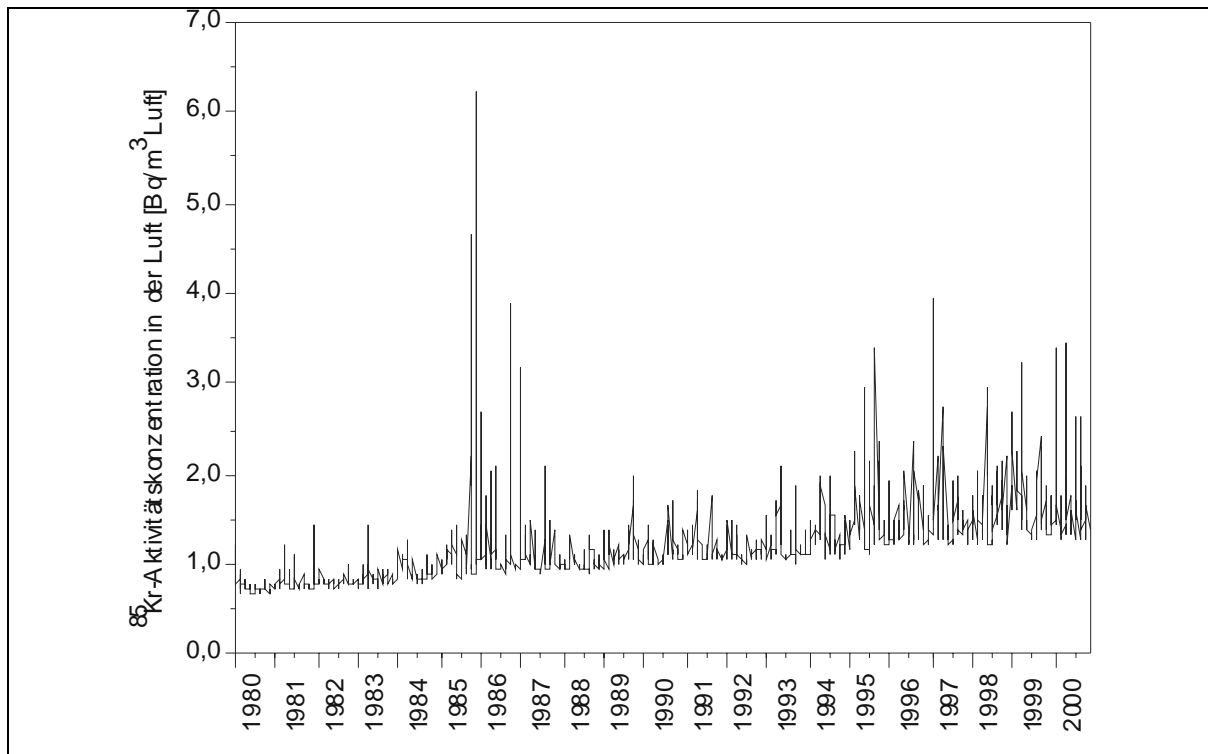
BfS	Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft (Probennahmeort: Messstation Schauinsland) <i>(Activity concentration of Cs-137 in air)</i> <i>(Sampling location: Schauinsland measuring station)</i>	Abb. 1
------------	--	---------------



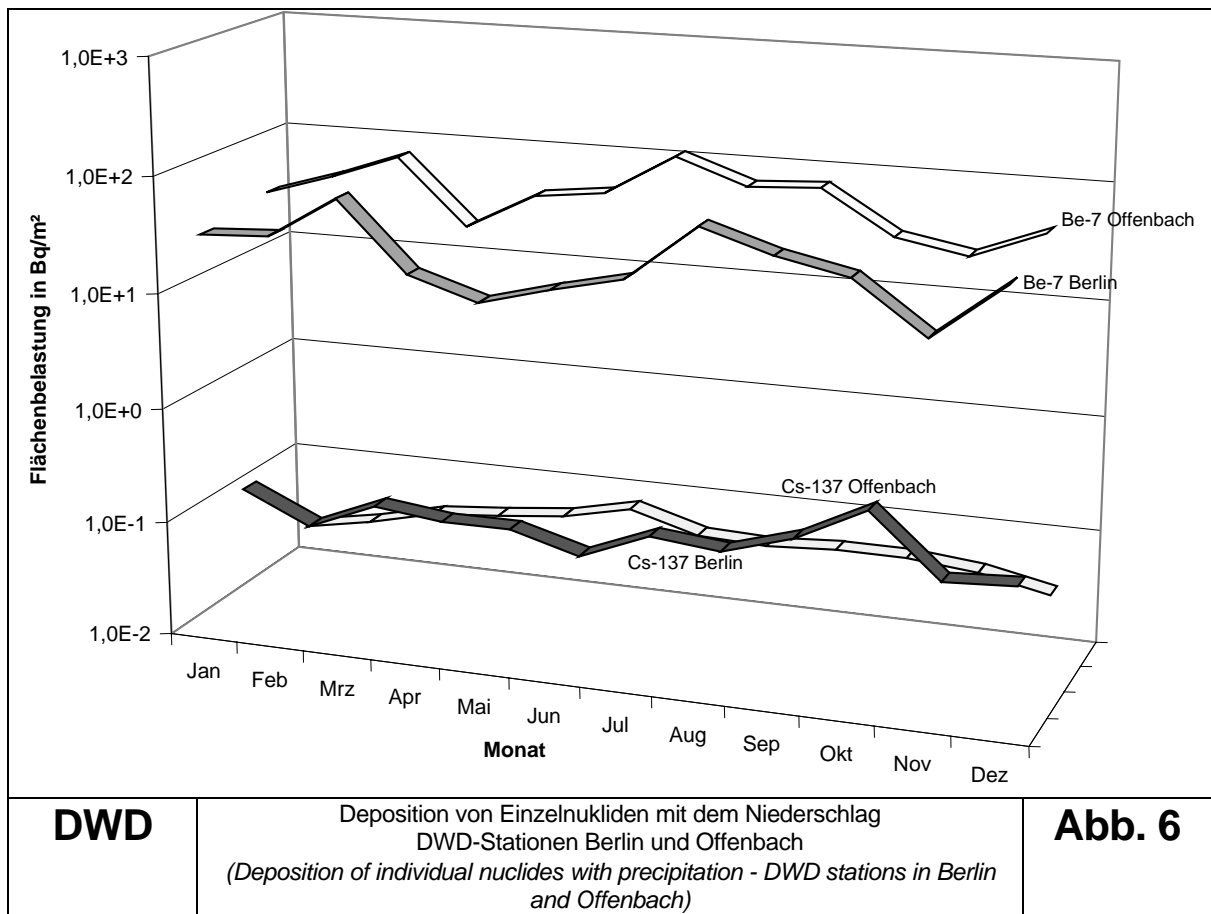
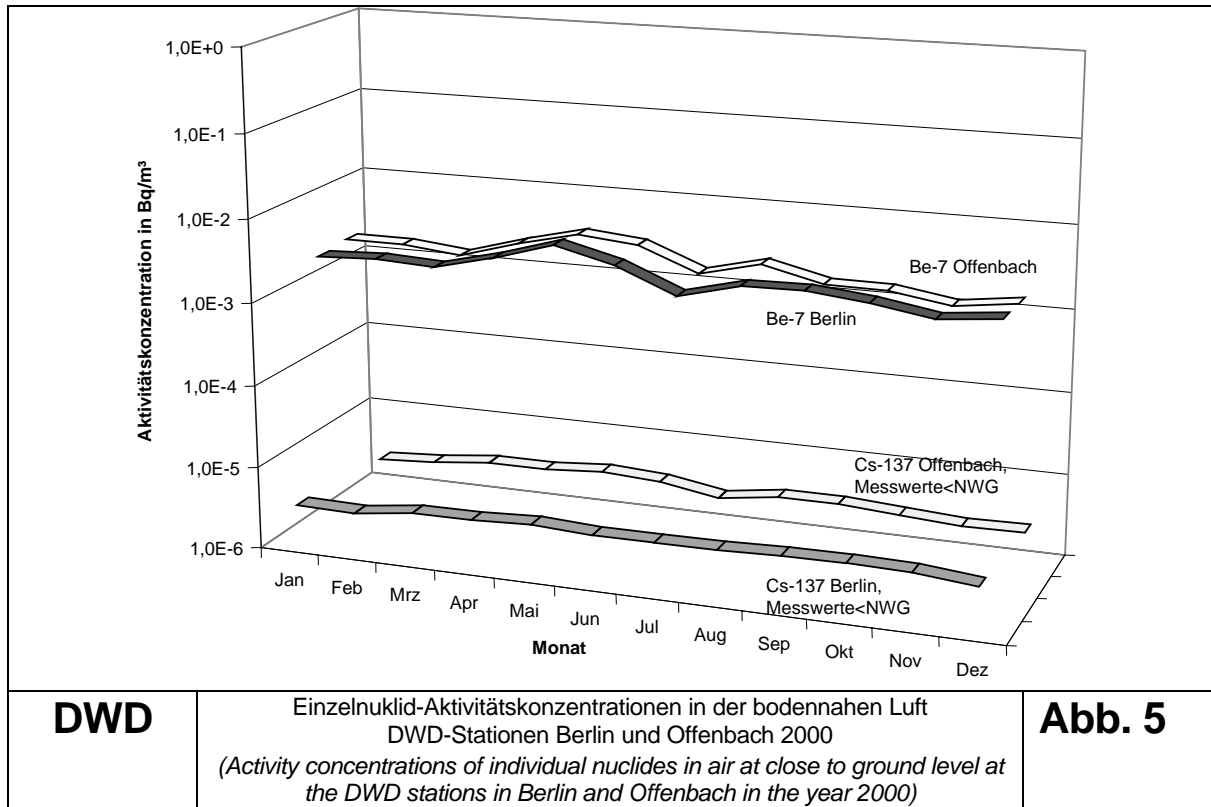
PTB	Aktivitätskonzentration der Plutoniumisotope in der bodennahen Luft am Probennahmeort Braunschweig (PTB, Braunschweig) <i>(Activity concentration of plutonium isotopes in air at close to ground level at the sampling location in Braunschweig - PTB Braunschweig)</i>	Abb. 2
------------	--	---------------

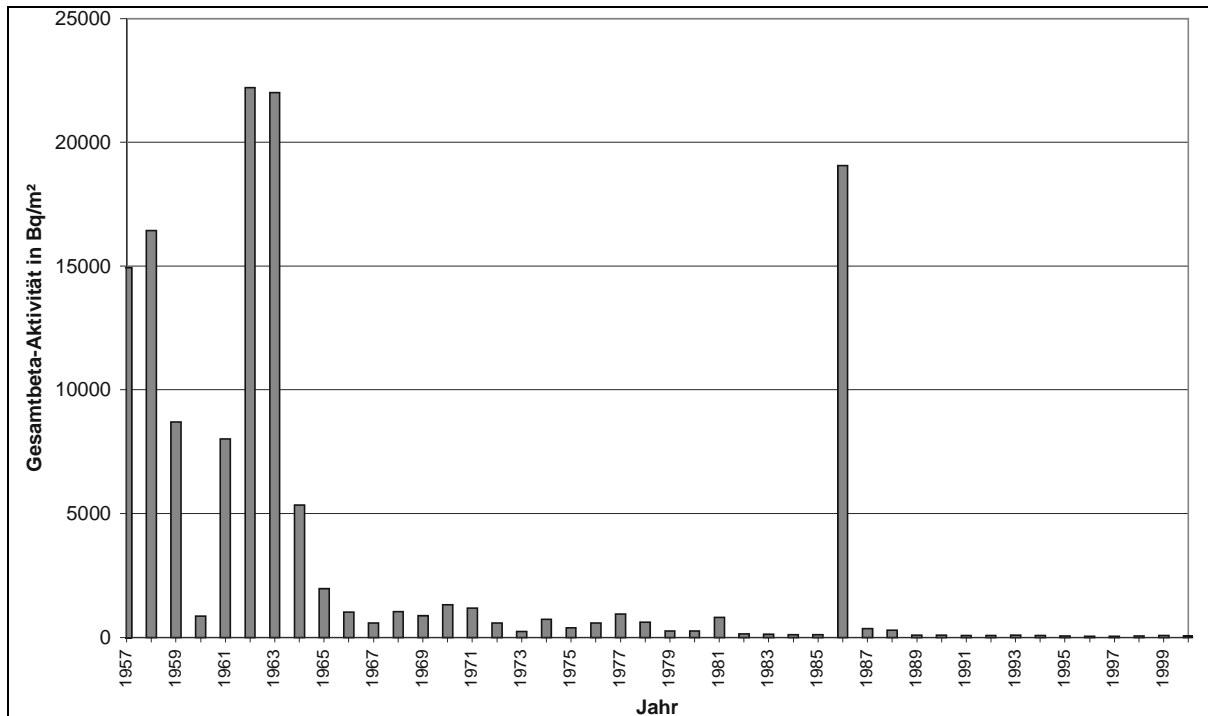


BfS	Xenon-Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg (BfS, Freiburg) <i>(Xenon activity concentration in air at close to ground level at the sampling location in Freiburg - BfS Freiburg)</i>	Abb. 3
------------	---	---------------



BfS	Aktivitätskonzentrationen von Kr-85 in der bodennahen Luft am Probenahmeort Freiburg (BfS, Freiburg) <i>(Activity concentrations of Kr-85 in air at close to ground level at the sampling location Freiburg - BfS Freiburg)</i>	Abb. 4
------------	--	---------------

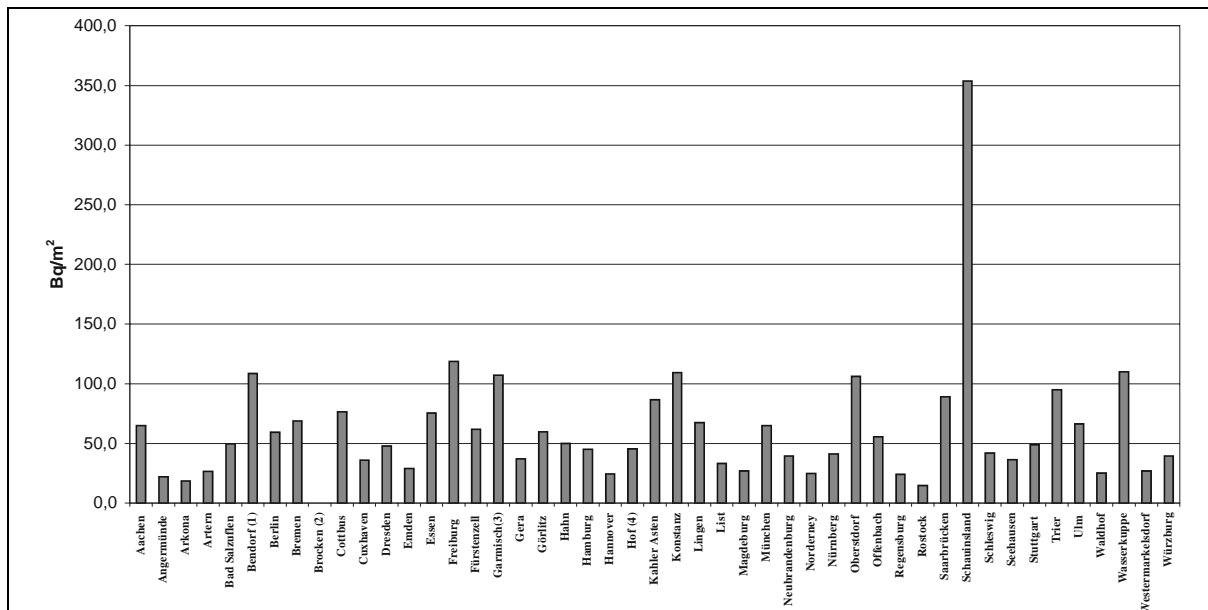




DWD

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)

Abb. 7

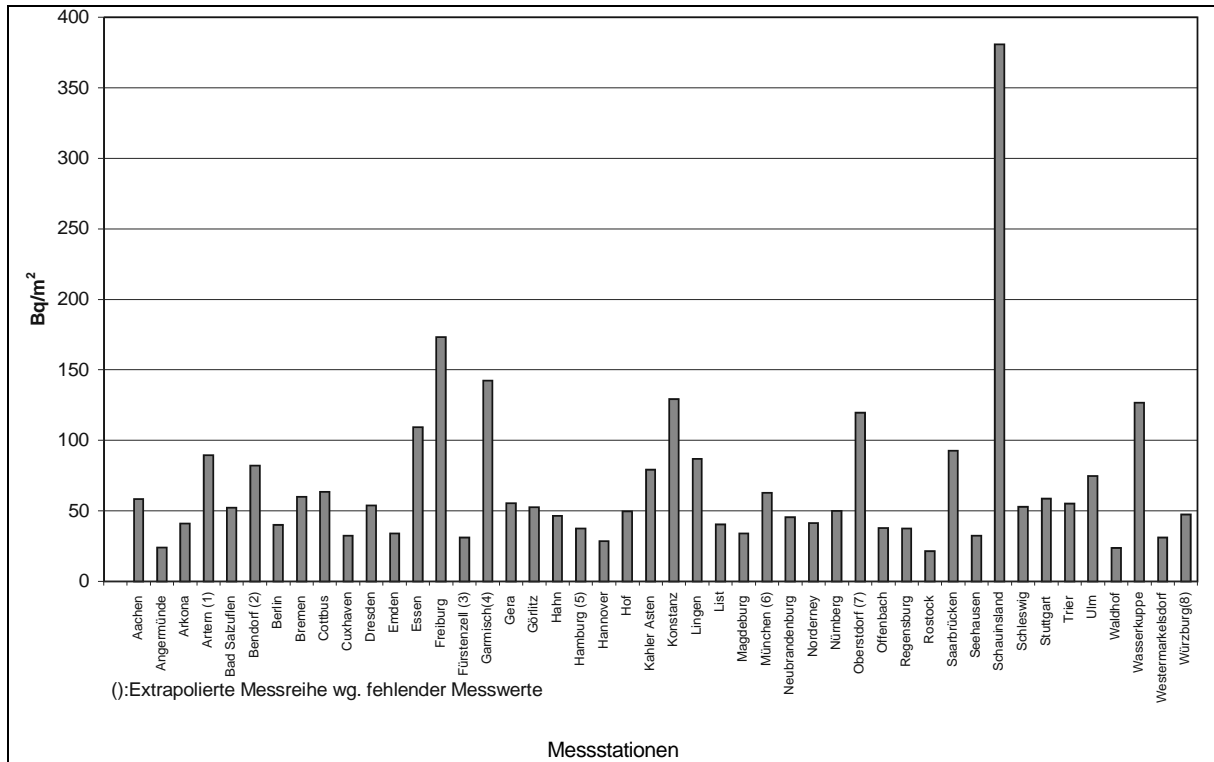


(): Extrapolierte Messreihe wegen fehlender Messwerte **Messstationen**

DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 2000 zugeführte langlebige Gesamt-β-Aktivität - stationspezifische Jahressummen
 (Deposition of additional long-lived total β activity due to precipitation - station specific annual total values in the year 2000)

Abb. 8

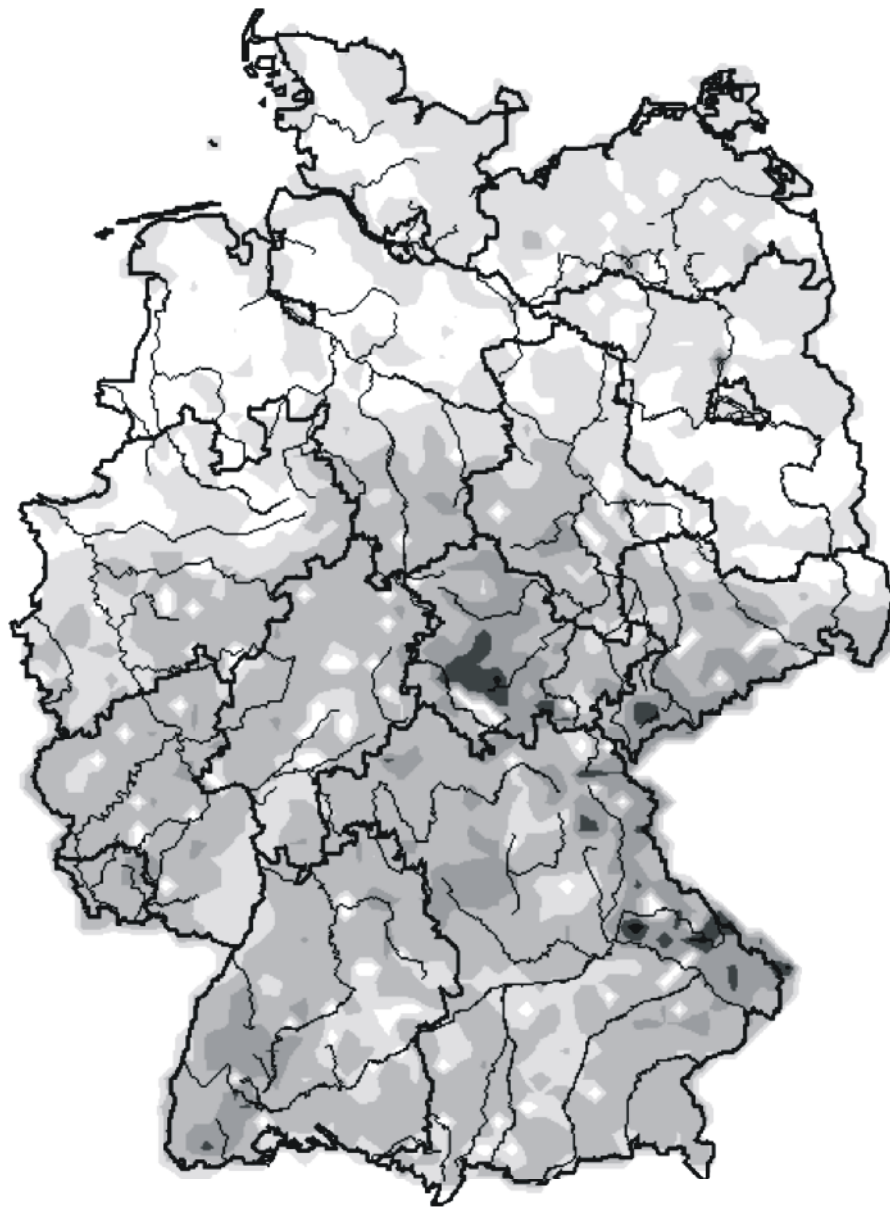


DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 1999 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 1999)

Abb. 9



Mittlere externe Strahlenexposition
in der Bundesrepublik Deutschland
im Freien 2000

Daten aus IMIS

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit, Bonn

mSv pro Jahr

-  > 1,4
-  1,2 - 1,4
-  1,0 - 1,2
-  0,8 - 1,0
-  0,6 - 0,8
-  < 0,6



BfS

Mittlere γ -Ortsdosis im Jahr 2000 auf dem Gebiet der
Bundesrepublik Deutschland
(Mean ambient γ dose in the area of the FRG - year 2000)

Abb. 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 2000 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 2000 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 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 5 und 6 zusammengestellt. In Tabelle 7 sind Messergebnisse von pflanzlichen Indikatoren (Blätter, Nadeln, Gras, Farne) wiedergegeben. In den Tabellen 5 bis 7 sind die Ergebnisse aus Platzgründen nur summarisch für das Bundesgebiet und nicht für einzelne Länder aufgeführt.

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

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1998	0 - 10	10	22,6	47,7	4	0,3	0,5
	1999	0 - 10	11	56,8	183,0	2	2,9	3,8
	2000	0 - 10	15	45,4	116,0	9	2,0	5,3
Bayern	1998	0 - 10	19	129,4	465,0	17	3,4	7,8
	1999	0 - 10	19	122,4	496,0	17	3,1	7,5
	2000	0 - 10	19	130,4	492,0	17	2,4	5,5
Berlin	1998	0 - 10	4	21,3	17,5	1	1,0	-
	1999	0 - 10	3	19,9	33,0	1	0,5	-
	2000	0 - 10	3	14,5	21,6	1	0,9	-
Brandenburg	1998	0 - 10	9	22,7	38,8	4	1,8	2,3
	1999	0 - 10	13	17,2	34,0	4	2,0	2,7
	2000	0 - 10	13	19,6	77,0	4	2,4	2,9
Bremen	1998	0 - 10	1	26,1	-	1	0,4	-
	1999	0 - 10	1	57,7	-	1	2,2	-
	2000	0 - 10	1	17,4	-	1	0,8	-
Hamburg	1998	0 - 10	2	19,8	25,6	1	0,8	-
	1999	0 - 10	2	20,7	29,1	1	0,9	-
	2000	0 - 10	2	22,5	30,6	1	0,6	-

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1998	0 - 10	5	26,5	45,6	3	3,8	6,9
	1999	0 - 10	5	19,3	39,7	3	3,1	5,8
	2000	0 - 10	5	22,2	39,1	3	2,1	3,2
Mecklenburg-Vorpommern	1998	0 - 10	8	24,3	95,9	4	< 0,7	0,9
	1999	0 - 10	8	22,1	62,1	4	1,0	1,6
	2000	0 - 10	8	18,9	30,1	4	1,9	3,1
Niedersachsen	1998	0 - 10	11	28,7	43,6	8	4,5	12,2
	1999	0 - 10	12	34,1	74,8	5	8,1	14,9
	2000	0 - 10	13	31,6	71,6	a)	a)	a)
Nordrhein-Westfalen	1998	0 - 10	20	20,5	37,1	4	1,8	3,2
	1999	0 - 10	21	20,9	66,7	5	1,5	2,8
	2000	0 - 10	16	18,3	44,1	4	3,0	7,3
Rheinland-Pfalz	1998	0 - 10	7	20,8	32,1	3	1,5	1,9
	1999	0 - 10	7	19,9	31,3	3	1,9	2,8
	2000	0 - 10	7	18,4	27,2	3	0,7	0,8
Saarland	1998	0 - 10	3	13,0	15,4	2	2,0	2,5
	1999	0 - 10	3	21,4	35,8	2	2,5	2,5
	2000	0 - 10	3	15,1	24,7	2	2,1	2,4
Sachsen	1998	0 - 10	6	24,4	77,6	5	2,0	3,5
	1999	0 - 10	6	22,7	74,9	5	2,4	4,4
	2000	0 - 10	-	-	-	5	1,9	3,1
Sachsen-Anhalt	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	0 - 10	4	8,3	17,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 10	4	9,9	19,0	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	1998	0 - 10	7	20,5	27,7	5	2,0	2,7
	1999	0 - 10	7	19,4	28,4	5	1,8	2,1
	2000	0 - 10	7	12,5	20,5	5	1,4	2,2
Thüringen	1998	0 - 10	6	23,8	36,7	3	1,6	1,9
	1999	0 - 10	6	28,4	41,5	3	2,0	2,3
	2000	0 - 10	6	26,5	41,2	3	1,5	1,9

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1998	0 - 30	10	29,0	101,0	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	8	32,2	100,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 30	10	24,0	87,8	a)	a)	a)
Bayern	1998	0 - 30	25	37,3	296,0	3	4,1	9,8
	1999	0 - 30	25	32,2	188,0	3	3,0	6,9
	2000	0 - 30	25	32,2	165,0	3	2,0	3,8
Berlin	1998	0 - 30	2	9,2	9,5	1	1,8	-
	1999	0 - 30	1	9,2	-	1	1,1	-
	2000	0 - 30	1	9,3	-	1	1,4	-

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	Max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Brandenburg	1998	0 - 30	9	15,3	34,0	3	0,9	1,2
	1999	0 - 30	9	16,4	43,0	3	0,8	1,0
	2000	0 - 30	9	16,1	47,0	3	0,8	1,4
Bremen	1998	0 - 30	2	7,2	8,4	1	0,1	-
	1999	0 - 30	2	26,1	47,8	1	2,5	-
	2000	0 - 30	2	7,2	12,8	1	1,4	-
Hamburg	1998	0 - 30	1	9,3	-	1	1,2	-
	1999	0 - 30	1	8,9	-	1	1,3	-
	2000	0 - 30	1	7,8	-	1	0,9	-
Hessen	1998	0 - 30	7	12,1	23,3	2	1,1	1,8
	1999	0 - 30	7	10,1	19,2	2	0,8	1,3
	2000	0 - 30	7	11,4	22,5	2	1,1	1,1
Mecklenburg-Vorpommern	1998	0 - 30	7	12,5	21,1	2	1,0	1,2
	1999	0 - 30	7	11,6	24,5	2	0,8	1,1
	2000	0 - 30	7	11,6	26,1	2	1,7	3,1
Niedersachsen	1998	0 - (25/30)	20	10,5	19,8	4	0,9	1,8
	1999	0 - (25/30)	26	15,1	44,9	9	1,7	5,0
	2000	0 - (25/30)	26	12,6	26,4	9	2,0	8,5
Nordrhein-Westfalen	1998	0 - 30	21	11,4	21,5	6	1,4	2,3
	1999	0 - 30	20	10,7	19,8	5	1,3	2,8
	2000	0 - 30	19	10,2	18,5	5	2,6	9,2
Rheinland-Pfalz	1998	0 - (25/30)	7	8,4	18,7	3	1,2	1,4
	1999	0 - (25/30)	7	11,4	27,9	3	1,3	1,6
	2000	0 - (25/30)	7	12,2	32,5	3	1,1	2,0
Saarland	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen	1998	0 - 30	6	11,1	27,3	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	6	13,4	40,6	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	1998	0 - 30	14	17,3	50,6	5	1,9	4,0
	1999	0 - 30	14	19,8	60,1	5	1,8	3,1
	2000	0 - 30	13	18,8	52,6	5	1,3	1,8
Schleswig-Holstein	1998	0 - 30	5	9,5	13,3	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	5	9,1	11,6	a)	a)	a)
	2000	0 - 30	5	10,5	18,4	a)	a)	a)
Thüringen	1998	0 - 30	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	6	11,3	19,0	2	1,6	1,6
	2000	0 - 30	6	10,7	17,6	2	1,6	1,6

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe (cm)	Aktivität in Bq/kg TM					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1998	0 - 10	4	65,3	123,0	2	3,3	5,7
	1999	0 - 10	4	74,2	132,0	2	7,4	13,0
	2000	0 - 10	4	49,0	77,4	2	1,7	2,9
Niedersachsen	1998	0 - 10	2	35,2	62,8	2	5,7	9,2
	1999	0 - 10	1	29,0	-	1	2,5	-
	2000	0 - 10	1	47,0	-	1	9,1	-
Nordrhein-Westfalen	1998	0 - 10	6	72,5	137,0	a)	a)	a)
	1999	0 - 10	6	69,9	204,0	a)	a)	a)
	2000	0 - 10	6	65,3	217,0	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1998	19	< 1,2	7,4	9	0,3	1,0
	1999	18	< 1,9	11,3	7	3,3	5,2
	2000	21	< 1,8	16,9	10	2,3	6,1
Bayern	1998	80	< 6,1	89,8	30	3,4	12,6
	1999	80	< 5,8	94,6	30	2,8	11,1
	2000	80	< 4,8	86,9	30	2,6	9,4
Berlin	1998	3	0,8	1,2	1	1,8	-
	1999	3	0,9	1,5	1	0,4	-
	2000	2	1,0	1,5	1	1,6	-
Brandenburg	1998	22	< 2,2	6,3	11	2,3	5,6
	1999	26	< 4,3	43,0	6	1,9	5,5
	2000	26	< 2,5	19,0	8	2,0	4,3
Bremen	1998	2	2,9	2,9	1	1,6	-
	1999	2	< 1,4	2,2	1	0,5	-
	2000	3	< 0,3	< 0,5	1	0,4	-
Hamburg	1998	2	2,2	2,4	1	2,2	-
	1999	2	2,6	1,5	1	3,7	-
	2000	2	1,7	1,9	1	2,4	-
Hessen	1998	6	< 1,4	2,8	3	6,0	9,6
	1999	5	< 0,7	1,2	2	4,3	5,0
	2000	4	< 0,3	0,4	a)	a)	a)
Mecklenburg-Vorpommern	1998	25	< 1,9	19,8	12	1,9	3,7
	1999	25	< 5,0	49,5	12	1,7	5,3
	2000	18	< 5,8	58,5	10	2,1	4,1
Niedersachsen	1998	49	< 5,7	44,7	26	1,4	4,2
	1999	47	5,1	39,7	22	1,4	3,5
	2000	75	< 2,4	58,8	21	2,8	7,3

Fortsetzung Tabelle 4

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Nordrhein-Westfalen	1998	18	< 0,8	1,8	9	2,2	6,5
	1999	20	< 5,1	83,1	9	2,3	7,6
	2000	17	< 1,4	6,9	9	1,1	2,3
Rheinland-Pfalz	1998	8	< 0,8	1,9	4	1,9	2,5
	1999	8	< 0,9	2,4	4	2,1	3,1
	2000	8	< 1,0	2,5	4	2,4	3,8
Saarland	1998	2	< 1,4	1,5	1	2,1	-
	1999	2	0,8	1,1	1	1,4	-
	2000	2	< 0,2	< 0,2	1	0,3	-
Sachsen-Anhalt	1998	14	< 1,7	5,1	7	2,0	3,3
	1999	18	< 2,0	11,2	7	2,0	4,9
	2000	18	< 1,9	16,9	7	1,2	2,6
Sachsen	1998	20	< 4,7	71,3	10	1,3	2,5
	1999	20	< 1,3	9,5	9	2,2	3,2
	2000	9	< 0,6	1,7	10	1,5	3,1
Schleswig-Holstein	1998	20	< 1,0	7,8	10	2,0	3,2
	1999	20	< 0,9	2,8	10	2,4	3,8
	2000	20	< 1,7	5,0	10	2,6	5,1
Thüringen	1998	12	< 0,7	1,6	6	1,7	2,8
	1999	12	< 0,6	2,9	6	1,3	2,1
	2000	12	< 0,6	1,9	6	1,7	3,2

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u. Maissilagen	1998	246	< 0,8	75,0	a)	a)	a)
	1999	248	< 0,5	5,6	1	0,5	-
	2000	202	< 0,5	18,1	1	0,2	-
Futterrüben	1998	40	< 1,0	2,6			
	1999	37	< 0,6	2,2			
	2000	39	< 0,6	7,5			
Futtergetreide	1998	160	< 0,2	1,3			
	1999	140	< 0,2	1,5			
	2000	150	< 0,2	1,8			
Futterkartoffeln	1998	78	< 0,5	2,5			
	1999	77	< 0,4	3,1			
	2000	74	< 0,6	6,1			
Erbsen	1999	5	< 0,28	0,6			
	2000	3	< 0,2	0,4			

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

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg TM	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	1998	6	< 0,16	< 0,25
	1999	11	< 0,14	0,26
	2000	5	< 0,13	0,29
Mais , Maisprodukte	1998	21	< 0,27	< 0,41
	1999	12	< 0,37	1,54
	2000	14	< 0,25	< 0,3
Maniok,Tapioka	1998	a)	a)	a)
	1999	6	< 0,28	0,78
	2000	8	< 0,19	< 0,3
Ölkuchen,Ölschrote	1998	75	< 0,52	4,28
	1999	68	< 0,36	2,00
	2000	84	< 0,48	3,62
Erbsen	1998	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)
	2000	2	< 0,3	< 0,3
Leguminosen, Lupinen	1998	2	0,30	0,30
	1999	6	< 0,52	1,60
	2000	4	0,5	0,7
Äpfel	1999	8	< 0,52	1,52
Tier-, Fleisch-, Knochenmehl	1999	7	< 0,32	0,68
Tiernebenprodukte	1998	5	0,52	1,01
	1999	a)	a)	a)
	2000	1	< 0,24	-

a) Messwerte lagen nicht vor

**Tabelle 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	1998	114	< 18,1	649,0
	1999	117	< 15,8	530,0
	2000	115	< 12,9	337,0
Nadeln	1998	59	< 63,7	1690,0
	1999	59	< 46,2	1120,0
	2000	58	< 45,2	876,0
Gras	1998	116	< 23,2	460,0
	1999	113	< 39,0	2600,0
	2000	106	< 46,2	2510,0
Farne (Thüringen)	1998	2	61,5	116,0
	1999	2	64,8	126,0
	2000	2	61,0	117,0

3.3 Gewässer (*Bodies of water*)

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

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) über Radionuklidkonzentrationen in Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für das **Jahr 2000**. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern mitgeteilten Ergebnisse sind in Kapitel II Abschnitt 1.4.3 zusammengefasst und bewertet.

Hinweise über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse einschließlich der maximalen Messwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach REI und StrVG können der Tabelle 1 entnommen werden.

Im Rahmen der Überwachung nach dem **StrVG** wurden im Berichtsjahr Messungen mit insgesamt 16.004 Einzelwerten (1999: 16.616) von 454 (1999: 468) Probenentnahmestellen ausgewertet. Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte der Radionuklidkonzentrationen berechnet und zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten in Tabelle 2 (Fließgewässer) bzw. Tabelle 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. Jahresmittelwerte bei gemischten Datenreihen (Messwerte und Angaben der Nachweisgrenze) sind stets derart ermittelt worden, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Sind Jahresmittelwerte mit "<" gekennzeichnet, so wurden die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, ist in der jeweiligen Auftragsangabe "nn" angegeben. Als maximaler Einzelwert ist bei gemischten Datenreihen der maximale Messwert angegeben.

Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen bei der Kontamination der Binnengewässer mit radioaktiven Stoffen sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 2 bis 5 beispielhaft aufgezeigt.

Bei den in Binnengewässern derzeit vorhandenen 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 (insbesondere Cs-137) in die Gewässer eingetragen. In geringerem Ausmaß treten weiterhin die Aktivierungsprodukte **Kobalt-58 (Co-58)** und **Kobalt-60 (Co-60)** aus kerntechnischen Anlagen sowie das kurzlebige **Iod-131 (I-131)** aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen auf.

Die dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff reagieren relativ kurzzeitig und empfindlich auf den Eintrag radioaktiver Stoffe. 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. In Sedimenten lassen sich die langzeitigen Auswirkungen radioaktiver Kontaminationen aufzeigen. Sie sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium zu betrachten. Infolge Remobilisierung von Sedimenten - beispielsweise bei Hochwassersituationen - ist eine spätere Weiterverfrachtung bereits abgelagerter Radionuklide möglich.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 2000 erhalte-

nen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild: **Oberflächenwasser** wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb von 10 Bq/l (entspricht der Nachweisgrenze des Routinemessprogramms, RMP) auf. In der Mosel wurden als Folge von Ableitungen aus einer kerntechnischen Anlage in Frankreich Jahresmittelwerte bis 19 Bq/l gemessen. Die mittleren Konzentrationen von Sr-90 und Cs-137 schwankten meist zwischen 0,001 und 0,01 Bq/l und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren im Fernbereich der Emittenten i. Allg. nicht mehr nachweisbar; lediglich in der Ems konnte Co-60 unterhalb von 0,01 Bq/l nachgewiesen werden. I-131 wurde bis 0,02 Bq/l vereinzelt gemessen. Die Bestimmungen der Gesamt- α -Aktivität ($G\alpha$) bzw. **Uran-234** (U-234), U-235 und U-238 ergaben durchweg Werte, die den natürlichen Gehalten der Binnengewässer entsprechen: für U-238 schwankten die Werte beispielsweise regional zwischen unter 0,001 und 0,1 Bq/l. **Plutonium-238** (Pu-238) und Pu-239/240 wurden - bezogen auf die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l - nicht nachgewiesen.

In **Schwefstoffen** erreichte Cs-137 überwiegend mittlere Konzentrationen unterhalb von 100 (meist unter 50) Bq/kg TM. In einzelnen Seen waren die Werte von Cs-137 - wie in den vergangenen Jahren - wesentlich erhöht: Steinhuder Meer 403 Bq/kg TM, Starnberger See 344 Bq/kg TM im Jahresmittel. Co-58 konnte in Rhein und Mosel über große Fließstrecken verfolgt werden; die mittleren Gehalte betragen bis 8,8 Bq/kg TM. In Eider, Elbe, Ems, Jadebusen, Main, Mosel, Neckar und Rhein bestimmte Co-60-Gehalte lagen unter 3 Bq/kg TM und damit unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. I-131 wurde in Konzentrationen (Einzelwerte) von vorwiegend unter 50 Bq/kg TM gemessen; etwas höhere Werte bis 165 Bq/kg TM im Mittel stammten von der Spree.

Zur Darstellung der langfristigen Kontamination eines Gewässers sind Untersuchungen von **Sedimenten** besonders angezeigt. Cs-137 trat überwiegend in mittleren Gehalten von bis zu 100 Bq/kg TM auf. In Seen lagen auch hier immer noch höhere mittlere Konzentrationen an Cs-137 vor: Schollener See (Sachsen-Anhalt) 240 Bq/kg TM, Schaalsee und Lanker See (Schleswig-Holstein) 228 bzw. 249 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 wurden in Sedimenten aus Elbe, Mosel, Rhein und Weser in Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM bestimmt und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

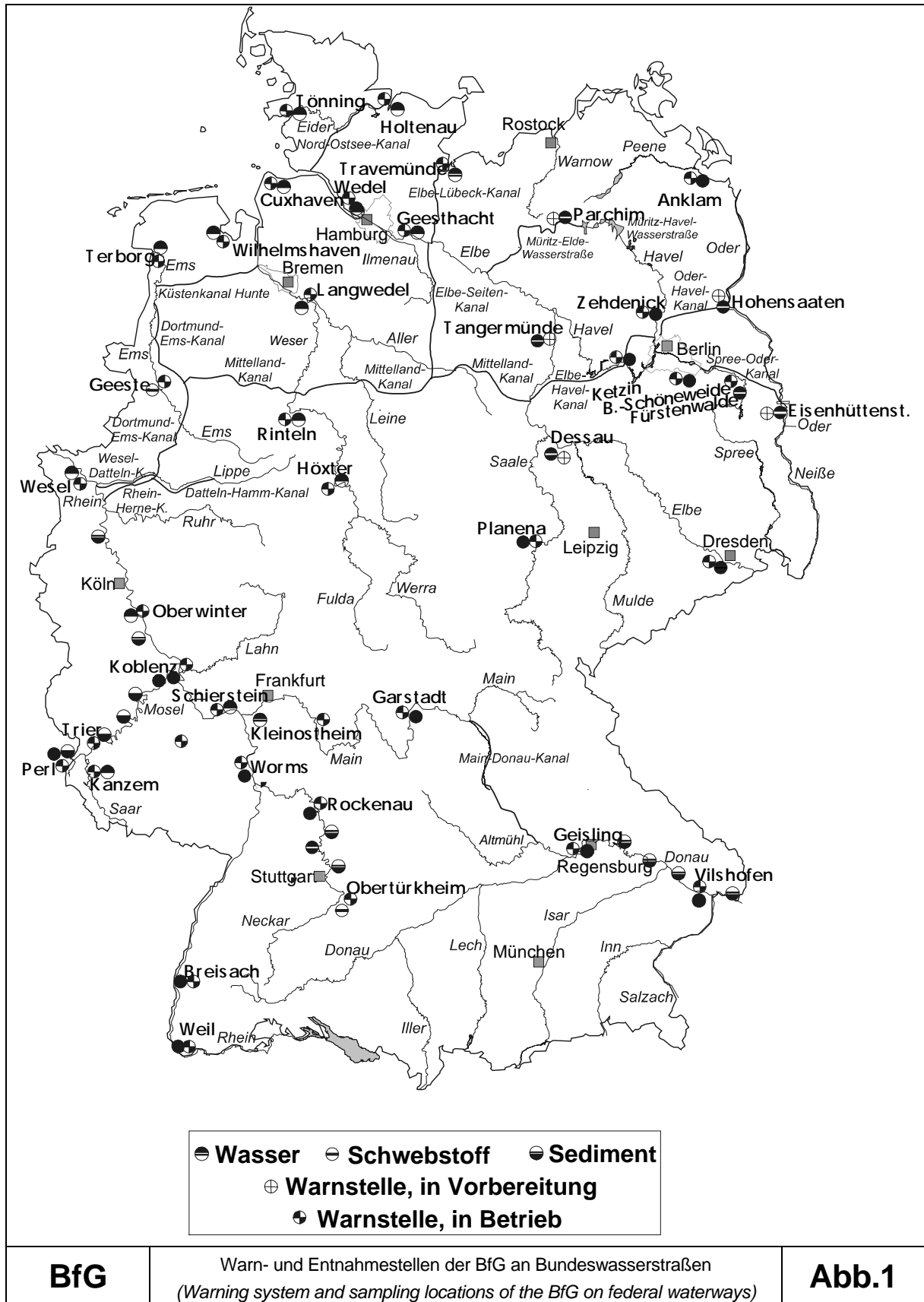
Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 2000 mit dem des Vorjahres insgesamt vergleichbar. Die langlebigen Radionuklide werden nur in größeren Zeiträumen merklich abnehmen. Die Schwankungen können - von radioaktivem Zerfall und Statistik abgesehen - mit den in Gewässern dynamisch ablaufenden Dispersions-, Sedimentations- und Resuspensionsprozessen erklärt werden, die zu inhomogenen Verteilungen der Radionuklide in den Gewässern führen können. In Sedimenten sind die Radionuklidkonzentrationen zudem von der Korngrößenverteilung abhängig. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass Radionuklide aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet werden.

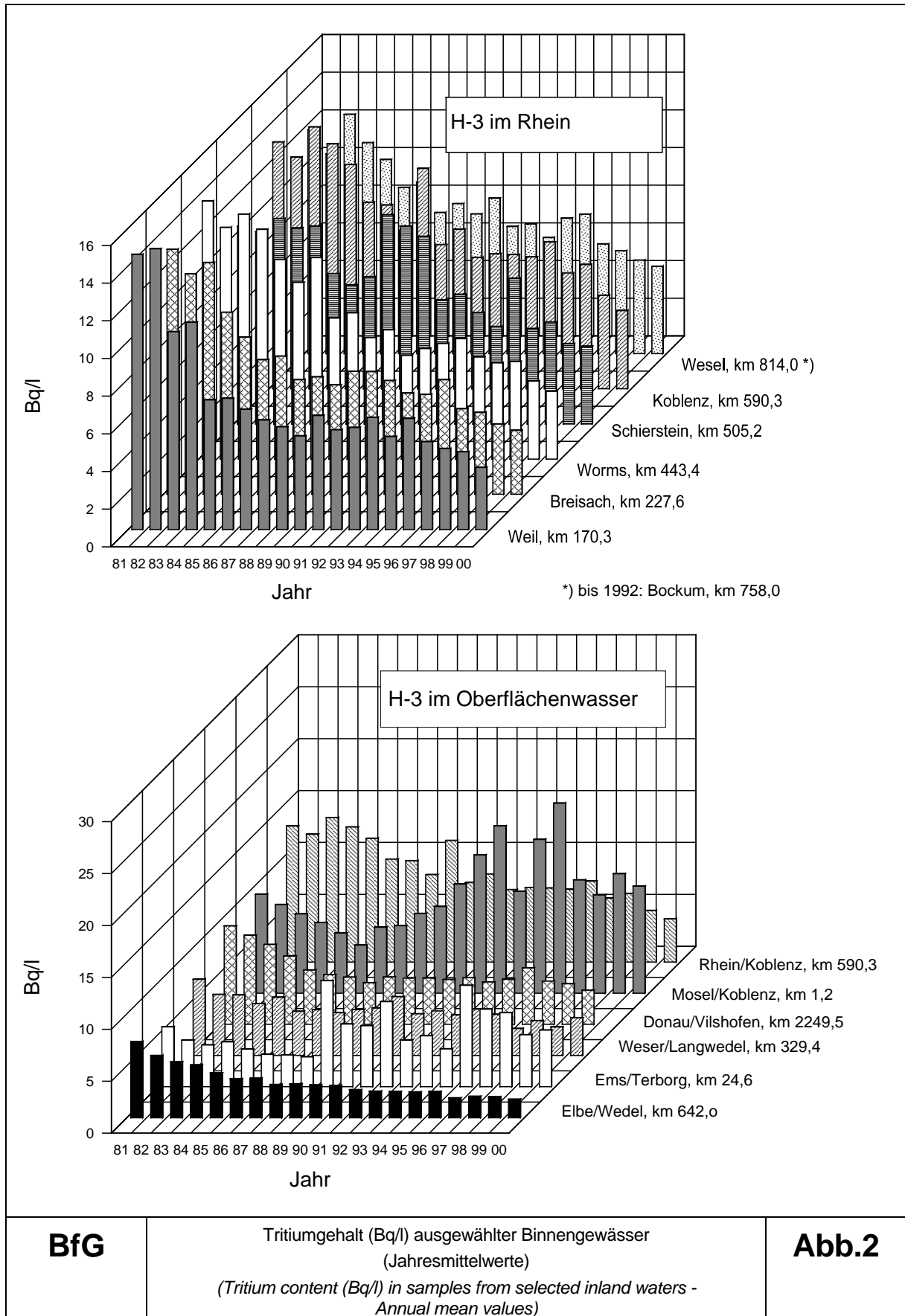
Strahlenexposition

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

Nimmt man eine Kontamination von **Oberflächenwasser** mit H-3 von 5 Bq/l sowie mit Sr-90 und Cs-137 von jeweils 0,005 Bq/l an, so errechnet sich die zusätzliche effektive Dosis für Erwachsene auf dem "**Trinkwasser**"-Pfad zu unter 0,3 μ Sv/a, falls derartiges Wasser unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde. Allein der auf die natürlichen Radionuklide **Kalium-40** (K-40) und **Radium-226** (Ra-226) für typische Gehalte zu erwartende Dosisbeitrag liegt hier mit ca. 2 μ Sv/a etwa um eine Größenordnung höher.

Insbesondere Cs-137 war auch 2000 noch in **Sedimentproben** aus deutschen Binnengewässern deutlich nachweisbar. So konnten in der Sohlenschicht in Abschnitten der Donau immer noch mittlere Gehalte von Cs-137 bis 132 Bq/kg TM gemessen werden. Unter Zugrundelegung dieser gemessenen Werte kann die auf dem Expositionspfad "**Aufenthalt auf Spülfeldern**" für Standardbedingungen zu erwartende zusätzliche effektive Dosis zu 15 μ Sv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegt der mittlere Dosisbeitrag der natürlichen Radionuklide K-40, Ra-226 und Thorium-232 (Th-232) für diesen Expositionspfad mit insgesamt ca. 46 μ Sv/a deutlich höher.

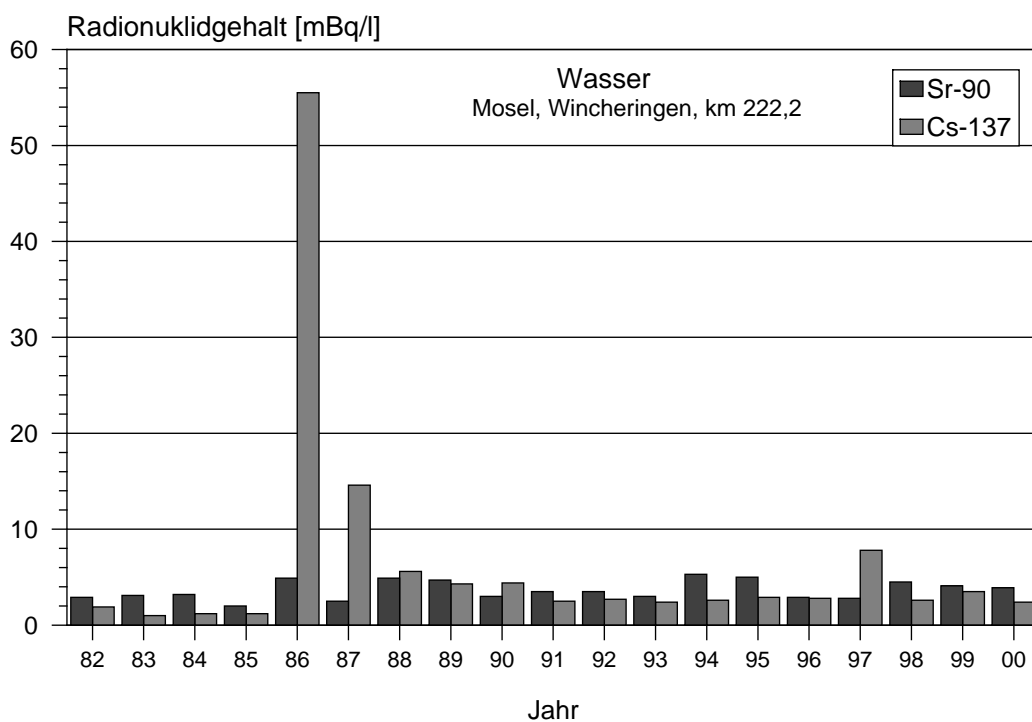
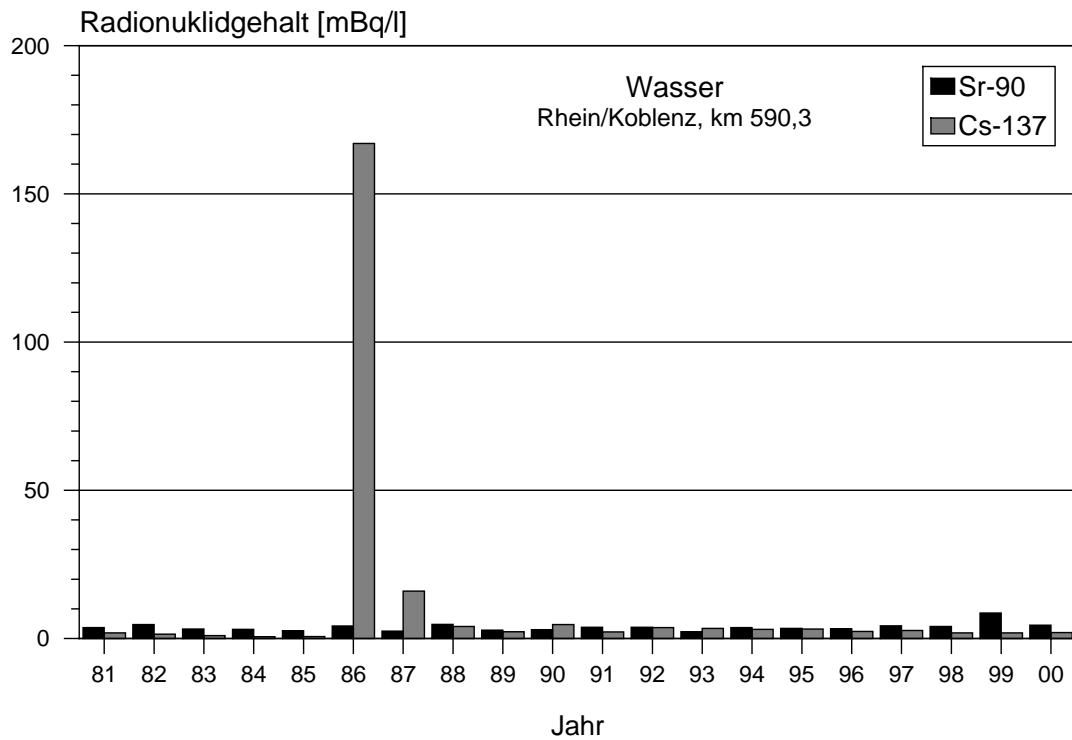




BfG

Tritiumgehalt (Bq/l) ausgewählter Binnengewässer
(Jahresmittelwerte)
(Tritium content (Bq/l) in samples from selected inland waters -
Annual mean values)

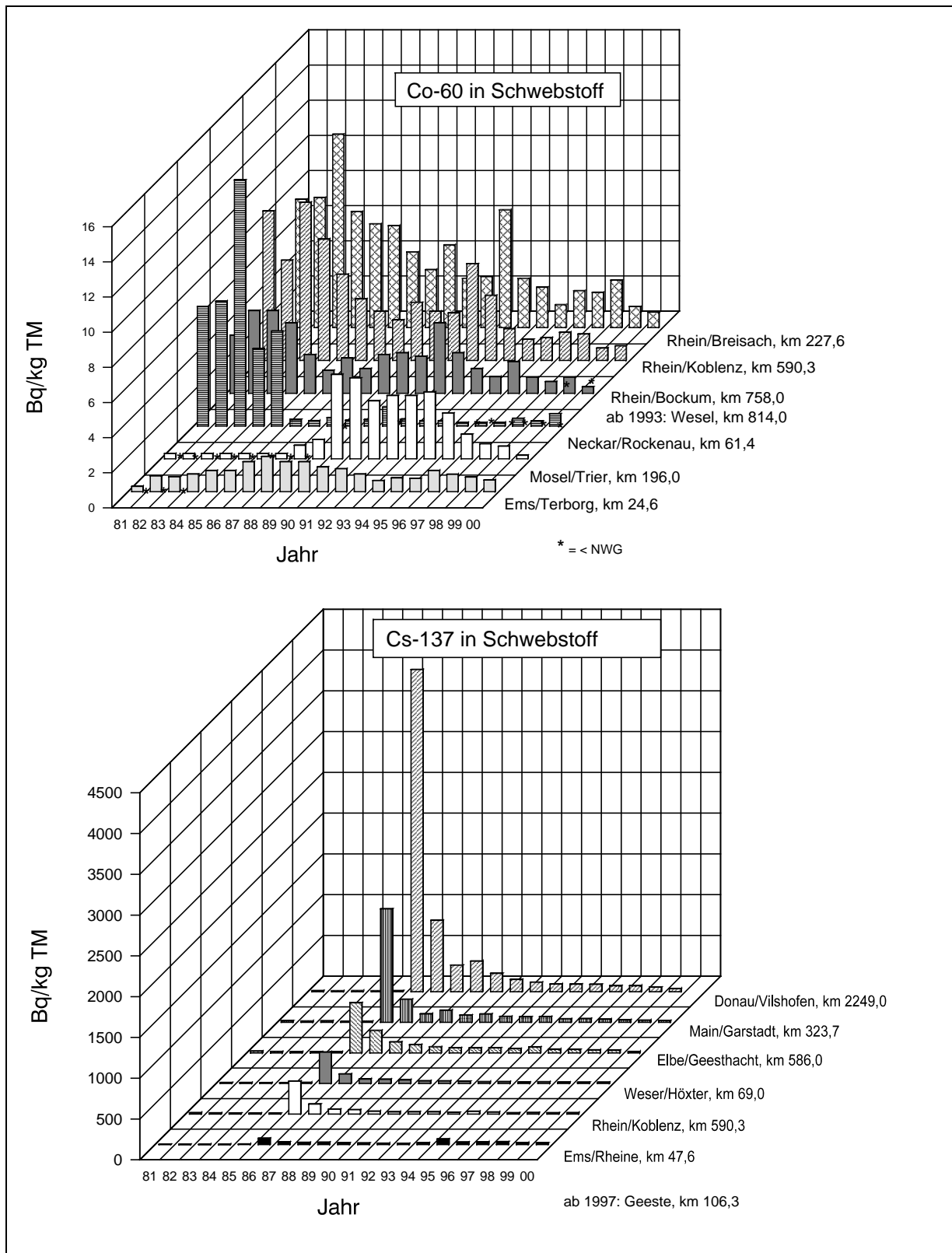
Abb.2



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*)

Abb.3



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

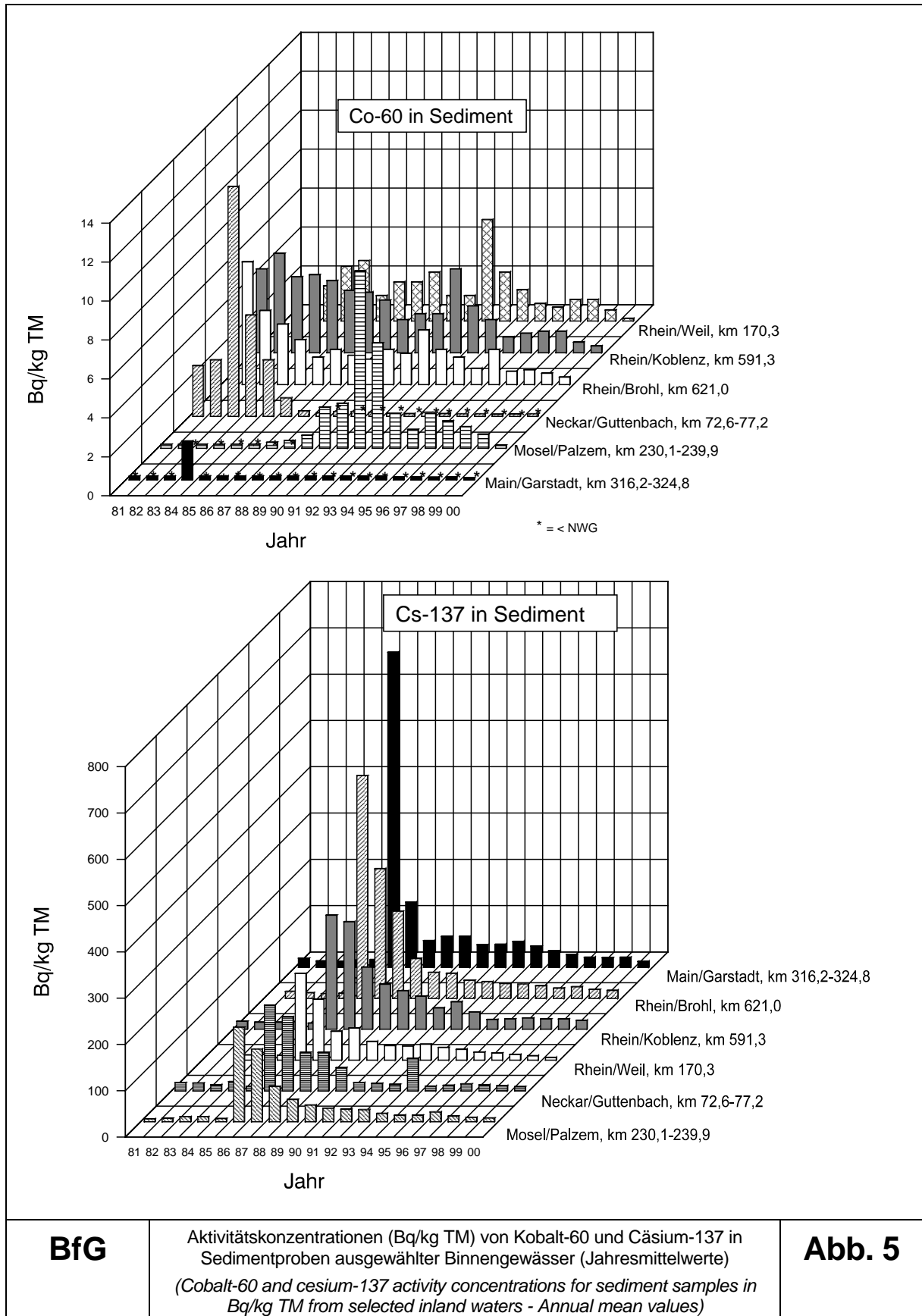


Tabelle 1 Übersicht über die für 2000 insgesamt ausgewerteten Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und REI für 686 Entnahmestellen sowie die jeweiligen maximalen Messwerte mit den zugehörigen Gewässern und Bezugszeiten

(Overview of all measuring results for water, suspended matter, and sediment evaluated in 2000, in accordance with the StVG and REI, for 686 sampling positions along with the respective maximal measured values and the corresponding water sources and reference times)

Umweltmedium	Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert (Bq/l bzw. Bq/kg TM)	Gewässer	Ort/Anlage	Datum/Zeitraum
Oberflächenwasser	α-Aktivität	187	0,92 (Gα)	Ems, km 24,7	Terborg	August
	β-Aktivität	98	0,15 (Gβ)	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	Mai und Oktober
	H-3	1491	320	Rhein	KKW Biblis, am Auslaufbauwerk	III. Quartal
	Sr-90	279	0,035	Schaalsee	Seedorf	22. Mai
	I-131	166	0,021	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	März
	Cs-137	1236	0,12	Arendsee	Arendsee	7. November
	Sonstige	5023	-	-	-	-
Schwebstoff	Co-58	39	20,9	Rhein, km 172,97	Weil	IV. Quartal
	Co-60	457	2,5	Jadebusen	Wilhelmshaven	III. Quartal
	I-131	144	390	Spree, km 27,2	Berlin-Schöneeweide	November
	Cs-137	457	420	Steinhuder Meer	Wunstorf	IV. Quartal
	Sonstige	1769	-	-	-	-
Sediment	α-Aktivität	17	3500 (Gα)	Doppelbiergraben	Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang	15. Mai
	β-Aktivität	12	1700 (Gβ)	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	IV. Quartal
	Co-58	79	5,7	Rhein	KKW Philippsburg, am Auslaufbauwerk	IV. Quarta
	Co-60	1202	37	Weser, km 49,6	KKW Würgassen, am Auslaufbauwerk	12. April
	Sr-90	5	0,48	Elbe, km 693	KKW Brunsbüttel	16. März
	Cs-137	1252	760	Hirschkanal	Forschungszentrum Karlsruhe	7. Juli
	Pu-238	10	0,29	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	III. Quartal
	Pu-239/240	10	0,55	Rheinniederungskanal	Forschungszentrum Karlsruhe	IV. Quartal
	Sonstige	4384	-	-	-	-

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
RHEIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	10	-	1,9	7,4	3,3	4,1
		Koblenz, km 590,3	12	-	3,3	6,3	4,1	5,0
		Wesel, km 814,0	12	-	3,3	6,4	4,6	5,0
	Sr-90	Weil, km 172,97	2	-	0,0045	0,0084	0,0064	0,0086
		Koblenz, km 590,3	4	-	0,0037	0,0053	0,0045	0,0042
		Wesel, km 814,0	4	-	0,0022	0,0056	0,0035	0,0040
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	3	<0,0008	0,0032	0,0020	0,0019
		Koblenz, km 590,3	12	-	0,0011	0,0039	0,0020	0,0020
		Wesel, km 814,0	12	3	0,0009	0,0030	0,0015	0,0021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	3	-	0,63	20,9	8,8	2,38
		Koblenz, km 590,3	10	-	0,91	3,51	1,65	0,60
	Co-60	Weil, km 172,97	3	-	0,53	2,02	1,17	1,24
		Koblenz, km 590,3	11	5	<0,16	0,99	0,83	0,70
	Wesel, km 814,0	3	3	<0,24	<0,45	nn	<0,91	
		3	-	8,00	14,2	10,9	13,2	
	Cs-137	Weil, km 172,97	3	-	8,00	14,2	10,9	13,2
		Koblenz, km 590,3	11	-	13,8	18,9	16,0	15,3
	Wesel, km 814,0	3	-	13,6	19,8	16,9	14,3	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	10	-	0,18	0,89	0,41	0,73
		Worms, km 445,0-446,6	5	-	0,12	0,30	0,18	0,29
		Koblenz, km 591,3	5	-	0,16	0,99	0,34	0,19
	Co-60	Weil, km 170,3	20	17	<0,057	0,36	<0,13	0,56
		Worms, km 445,0-446,6	33	27	<0,061	0,60	<0,18	0,43
		Koblenz, km 591,3	10	7	<0,13	0,36	<0,24	0,63
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	9	<0,13	0,71	<0,34	0,66
	Cs-137	Weil, km 170,3	20	-	3,55	15,4	5,4	9,07
		Worms, km 445,0-446,6	33	-	1,02	23,4	9,9	9,14
		Koblenz, km 591,3	10	-	16,8	23,9	18,9	22,4
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	-	7,87	25,8	15,5	19,1
		12	-	7,87	25,8	15,5	19,1	
NECKAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	12	-	3,7	22,2	11,7	11,9
		Rockenau, km 61,4	12	-	3,5	15,8	9,5	9,5
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	-	0,0022	0,0044	0,0030	0,0032
		Rockenau, km 61,4	4	-	0,0023	0,0042	0,0034	0,0053
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	2	0,0007	0,0031	0,0016	0,0020
		Rockenau, km 61,4	12	3	0,0009	0,0087	0,0029	0,0028
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Obertürkheim, km 189,5	4	4	<0,22	<0,30	nn	-
		Rockenau, km 61,4	4	2	<0,16	0,82	0,70	<0,28
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	-	12,6	19,8	15,3	11,5
		Rockenau, km 61,4	4	-	7,02	11,7	9,3	10,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	20	-	5,02	26,0	9,4	16,2
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	18	-	7,35	16,8	10,5	11,5
		Guttenbach, km 72,0-77,0	15	-	1,18	21,9	8,6	10,8
MAIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	12	-	1,7	14,0	5,4	3,0
		Eddersheim, km 15,3	10	-	1,6	5,9	3,6	3,3
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	-	0,0060	0,0098	0,0074	0,0044
		Eddersheim, km 15,3	3	-	0,0035	0,0043	0,0038	0,0033
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	-	0,0009	0,0043	0,0022	0,0027
		Eddersheim, km 15,3	10	1	0,0008	0,0040	0,0024	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Hallstadt, km 388,2	4	4	<1,63	<3,00	nn	nn
		Garstadt, km 323,7	4	3	<0,084	0,93	<0,36	nn
	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	19,4	49,3	36,5	32,6
		Garstadt, km 323,7	4	-	17,0	24,3	21,0	25,3

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2 Garstadt, km 316,2-324,8	4 10	- -	5,51 3,76	17,7 30,2	10,4 12,6	13,1 21,9
MOSEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	-	9,3	31,7	19,1	20,4
		Lehmen, km 20,83	4	-	7,0	16,2	10,5	10,4
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	-	0,0019	0,0055	0,0037	0,0041
		Lehmen, km 20,83	4	-	0,0033	0,0053	0,0041	0,0044
Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	1	0,0007	0,0056	0,0024	0,0035	
	Lehmen, km 20,83	12	2	0,0006	0,0046	0,0017	0,0022	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	7	1	<0,23	2,19	1,62	2,50
		Trier, km 196,0	1	-	0,14	0,14	0,14	1,02
		Lehmen, km 20,83	1	-	0,34	0,34	0,34	-
	Co-60	Perl, km 241,96	11	8	<0,20	2,19	<1,42	2,80
		Trier, km 196,0	6	6	<0,10	<0,40	nn	<0,39
		Lehmen, km 20,83	12	12	<0,31	<1,66	nn	nn
	Cs-137	Perl, km 241,96	11	-	14,5	22,6	19,3	19,0
		Trier, km 196,0	6	-	8,21	18,0	12,0	16,6
	Lehmen, km 20,83	12	-	17,6	47,4	29,1	24,1	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 239,7-242,0	3	-	0,072	0,34	0,18	0,22
		Trier, km 184,1-196,1	1	-	0,13	0,13	0,13	0,17
	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	23	21	<0,049	0,28	<0,13	0,65
		Trier, km 184,1-196,1	23	23	<0,094	<0,30	nn	0,63
		Koblenz, km 4,05	9	9	<0,068	<0,23	nn	<0,20
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	23	-	1,18	17,0	8,5	7,19
		Trier, km 184,1-196,1	23	-	10,2	18,8	14,5	13,9
	Koblenz, km 4,05	9	-	18,1	57,5	35,5	34,6	
SAAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	9	-	1,4	1,9	1,7	1,8
	Sr-90	Kanzem, km 5,0	4	-	0,0032	0,0057	0,0047	0,0052
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	9	2	0,0008	0,0031	0,0018	0,0022
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	-	17,3	24,5	20,4	21,0
DONAU								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		Geisling, km 2354,28	12	-	2,1	3,0	2,5	2,6
		Vilshofen, km 2249,0	-	-	-	-	-	3,3
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	4	-	0,0028	0,0074	0,0054	0,0031
		Vilshofen, km 2249,0	-	-	-	-	-	0,0045
	Cs-137	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8	4	4	<0,0064	<0,011	nn	<0,0096
	Geisling, km 2354,28	12	1	0,0007	0,0034	0,0018	0,0043	
	Vilshofen, km 2249,0	-	-	-	-	-	0,0066	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8	2	-	104	179	142	133
		Regensburg, km 2381,3	4	-	53,4	86,3	67,9	56,6
		Vilshofen, km 2249,0	-	-	-	-	-	38,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8	4	-	99,2	178	132	133
		Regensburg, km 2400,1-2379,1	12	-	2,53	66,7	28,3	35,2
		Straubing, km 2320,93	4	-	57,2	83,9	69,4	67,8
		Jochenstein, km 2202,7	4	-	4,29	23,3	15,3	12,1
ISAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	-	1,6	2,1	1,9	2,0
		Plattling, km 9,1	3	2	<5,2	11,5	<7,3	7,6
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	1	0,0006	0,0030	0,0019	0,0008
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0029	<0,0065	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	17,3	25,2	22,2	35,7
		Plattling, km 9,1	4	-	69,7	84,5	76,0	81,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	26,3	50,5	34,1	41,7
		Plattling, km 9,1	4	-	7,03	16,5	10,0	22,6

Fortsetzung Tabelle 2

			Aktivitätskonzentration					
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
EMS								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	-	2,0	36,1	10,1	12,0
		Terborg, km 24,7	12	-	1,4	18,2	5,4	5,0
	Co-60	Geeste, km 106,3	12	12	<0,0005	<0,0009	nn	<0,0010
		Terborg, km 24,7	12	2	<0,0006	0,0096	0,0062	0,0049
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4	-	0,0042	0,0052	0,0046	0,0051
		Terborg, km 24,7	3	-	0,0038	0,011	0,0070	0,0050
Cs-137	Geeste, km 106,3	12	4	0,0008	0,0066	0,0029	0,0044	
	Terborg, km 24,7	12	-	0,0082	0,053	0,028	0,018	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,16	<0,23	nn	nn
		Terborg, km 24,7	4	-	0,42	0,85	0,66	0,83
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	-	20,2	31,4	25,8	22,6
		Terborg, km 24,7	4	-	3,31	4,54	4,04	4,35
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Außenems, Knock, km 51	-	-	-	-	-	2,0
		Außenems, Gandersum, km 32	-	-	-	-	-	nn
	Cs-137	Außenems, Knock, km 51	-	-	-	-	-	9,20
		Außenems, Gandersum, km 32	-	-	-	-	-	0,38
WESER / JADEBUSEN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12	-	1,4	2,4	1,7	2,0
		Rinteln, km 163,2	12	-	1,6	24,4	5,1	3,5
		Langwedel, km 329,4	12	-	1,6	13,3	3,6	2,7
		Blexen, km 63,3	10	-	2,6	7,4	4,9	3,9
	Sr-90	Höxter, km 69,0	4	-	0,0027	0,012	0,005	0,0030
		Rinteln, km 163,2	4	-	0,0022	0,0047	0,0033	0,0053
		Langwedel, km 329,4	3	-	0,0015	0,0041	0,0028	0,0033
		Blexen, km 63,3	4	-	0,0030	0,0083	0,0053	0,0070
	Cs-137	Höxter, km 69,0	12	1	0,0013	0,0049	0,0025	0,0029
		Rinteln, km 163,2	12	-	0,0012	0,0039	0,0021	0,0028
		Langwedel, km 329,4	12	1	0,0006	0,0035	0,0022	0,0033
		Blexen, km 63,3	10	-	0,0022	0,018	0,0083	0,0096
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	4	<0,18	<0,28	nn	nn
		Rinteln, km 163,2	4	4	<0,12	<0,23	nn	nn
		Langwedel, km 329,4	4	4	<0,16	<0,51	nn	nn
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	2	<0,59	2,50	2,11	2,25
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4	-	9,95	18,0	14,0	13,7
		Rinteln, km 163,2	4	-	9,38	14,1	11,9	12,0
		Langwedel, km 329,4	4	-	13,9	22,1	17,8	15,7
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	3,08	9,21	5,42	11,7
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Unteresalrtarm, Schweiburg, km 49	2	-	1,10	1,80	1,45	1,20
	Cs-137	Hann.Münden, km 0,0	2	-	6,70	7,60	7,15	6,10
		Intschede, km 329,3	2	-	26,0	31,0	23,5	25,5
		Habenhausen, km 361,0	1	-	31,0	31,0	31,0	27,0
	Unteresalrtarm, Schweiburg, km 49	2	-	15,0	13,0	14,0	12,5	
ELBE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	-	1,3	2,3	1,6	2,0
		Geesthacht, km 586,0	12	-	1,4	2,1	1,8	1,9
		Cuxhaven, km 724,5	11	-	2,7	4,5	3,7	3,2
	Sr-90	Dresden, km 58,0	4	-	0,0063	0,012	0,009	0,0050
		Geesthacht, km 586,0	4	-	0,0021	0,0053	0,0037	0,0035
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,0021	0,0050	0,0041	0,0038
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	7	<0,0081	0,0070	<0,0022	0,0037
		Geesthacht, km 586,0	12	1	0,0006	0,0022	0,0014	0,0020
		Cuxhaven, km 724,5	11	1	<0,0018	0,010	0,005	0,0045
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	-	23,8	40,8	31,2	28,2
		Geesthacht, km 586,0	4	-	6,46	22,2	14,8	31,5
		Wedel, km 642,0	4	-	6,37	10,2	7,6	10,3
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,21	2,28	0,91	0,91

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0 Schnackenburg, km 475	10 -	- -	29,0 -	42,8 -	34,2 -	35,9 18,2
ODER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	-	1,3	1,9	1,5	1,8
		Hohensaaten, km 667,5	11	-	1,3	1,8	1,5	1,7
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	0,0045	0,011	0,007	0,0090
		Hohensaaten, km 667,5	4	-	0,0073	0,0098	0,0087	0,0089
Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	4	<0,0084	0,014	0,0054	0,0034	
	Hohensaaten, km 667,5	11	2	<0,0087	0,0086	0,0035	0,0039	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2 Hohensaaten, km 667,5	2 12	- -	18,9 20,6	63,0 251	41,0 49	30,2 66,9
SPREE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<4,5	<4,6	nn	nn
		Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	-	0,98	1,9	1,3	1,6
	Sr-90	Berlin-Schöneeweide, km 0,60	4	-	0,0059	0,0077	0,0065	0,0048
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	0,0012	0,0025	0,0019	0,0026
Cs-137	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	12	7	<0,0008	0,0053	<0,0020	0,0029	
	Schwabstoffe (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60 Berlin-Schöneeweide, km 27,2	2 12	- -	3,00 23,3	26,0 42,1	14,5 33,1
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60 Berlin-Schöneeweide, km 27,2	3 4	- -	11,5 13,4	12,7 19,1	12,2 16,2	13,5 19,7
HAVEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	-	1,0	1,4	1,2	1,5
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4	-	0,0063	0,012	0,009	0,0067
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	-	0,0022	0,013	0,006	0,0075
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	-	55,1	106	90	88,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	-	0,43	105	36	37,2
SAALE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	4	-	1,2	1,8	1,5	1,5
	Sr-90	Merseburg, km 104,5	4	-	0,0046	0,0064	0,0055	0,0085
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	12	5	<0,0008	0,0043	0,0036	0,0039
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	12	-	10,1	20,3	13,6	14,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	8	-	12,0	21,0	16,0	17,6
PEENE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	-	0,99	1,4	1,2	1,4
	Sr-90	Anklam, km 96,1	4	-	0,0035	0,0076	0,0059	0,0053
	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	4	<0,0008	0,0037	0,0025	0,0027
Schwabstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	-	27,1	50,8	36,9	48,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	10	-	20,5	48,6	37,9	43,7

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

GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
BADEN-WÜRTTEMBERG								
BODENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
	Cs-137		8	8	<0,0024	<0,014	nn	<0,018
BAYERN								
CHIEMSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	-	1,4	1,9	1,7	1,8
	Sr-90		4	-	0,0037	0,0054	0,0045	0,0047
	Cs-137		4	1	0,0004	0,0006	0,0005	0,0013
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	78,5	112	96	98,8
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	12,5	87,4	45,3	77,8
STARNBERGER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	-	2,9	3,4	3,3	3,1
	Sr-90		4	-	0,0023	0,015	0,010	0,011
	Cs-137		4	-	0,0025	0,0052	0,0043	0,0060
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	4	-	271	384	344	376
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Starnberg	4	-	20,4	48,5	39,7	42,2
BERLIN								
MÜGGELSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	PE-Stelle41035	4	4	<4,5	<4,6	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0046	0,0050	0,0048	0,0048
	Cs-137		4	-	0,0019	0,0047	0,0034	0,0031
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	-	1,00	2,60	1,80	3,48
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	PE-Stelle41035	4	-	72,8	116	101	91,0
BRANDENBURG								
STECHLINSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,8	<6,2	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,019	0,023	0,020	0,022
	Cs-137		4	-	0,010	0,010	0,010	0,015
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Neuglobsow	4	-	17,0	32,0	21,3	19,0
NEUENDORFERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<5,9	<8,4	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0050	0,0080	0,0060	0,0065
	Cs-137		4	4	<0,0028	<0,0072	nn	nn
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	-	0,80	2,20	1,70	1,55
HESSEN								
MARBACH-TALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,014	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	3	-	23,6	30,4	26,0	28,1
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4	-	20,4	28,5	25,0	27,5

Fortsetzung Tabelle 3

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
BORGWALLSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Lüssow	3	1	3,5	3,9	3,7	<4,5
			3	3	<0,0056	<0,0080	nn	0,0060
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Lüssow	4	4	10,9	15,6	12,6	12,8
SCHWERINER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Schwerin	4	2	2,7	4,3	3,5	3,7
			4	-	0,0090	0,018	0,013	0,015
			4	-	0,018	0,020	0,019	0,020
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schwerin	4	-	26,0	76,7	44,6	31,6
NIEDERSACHSEN								
SÖSETALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Osterode am Harz	4	-	0,69	1,2	1,0	1,4
			4	-	0,0015	0,0030	0,0026	0,0025
			4	3	0,0002	<0,0012	<0,0005	0,0004
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	2,20	71,0	44,8	56,0
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	61,0	82,0	69,0	95,8
STEINHUDEMEER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Wunstorf	4	-	0,66	1,5	1,1	1,3
			4	-	0,0081	0,016	0,013	0,017
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	380	420	403	397
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	61,0	160	106	91,0
NORDRHEIN-WESTFALEN								
MÖHNE-STAUSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Sr-90 Cs-137	Möhnesee	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
			1	1	<0,010	<0,010	nn	0,0083
			4	4	<0,0038	<0,0090	nn	nn
RHEINLAND-PFALZ								
LAACHER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Maria Laach	4	4	<1,7	<2,8	nn	nn
			4	-	0,037	0,042	0,040	0,045
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Maria Laach	4	-	110	140	125	120
SACHSEN								
TALSPERRE PÖHL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Thoßfell	4	4	<4,3	<8,4	nn	nn
			4	3	<0,0032	0,0042	<0,0046	0,0042
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Thoßfell	4	-	7,04	9,68	8,54	10,6
SACHSEN-ANHALT								
ARENDSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
			4	-	0,090	0,12	0,10	0,10
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Arendsee	4	-	57,2	94,4	72,1	62,2
SCHOLLENERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3 Cs-137	Schollener See	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
			4	-	0,020	0,070	0,053	0,037
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schollener See	4	-	118	479	240	295

Fortsetzung Tabelle 3

GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
SCHAALSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,013	0,035	0,019	0,013
	Cs-137		4	-	0,0090	0,016	0,013	0,013
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seedorf	4	-	219	241	228	228
WITTENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	2	<0,010	0,017	0,014	0,011
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	-	16,3	21,1	18,8	20,8

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

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

Dieses Kapitel beschreibt den Zustand von Nord- und Ostsee hinsichtlich der Kontamination durch künstliche Radionuklide im Jahr 2000. Grundlage der Bewertung sind drei Forschungsreisen mit dem Forschungsschiff GAUSS des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie mit insgesamt ca. 120 Probenahmepositionen. Untersucht wurden die Radionuklide **Cäsium-137**, **Strontium-90**, **Plutonium-239/240**, **Plutonium-238**, **Americium-241** und **Tritium**.

Die Aktivitätskonzentrationen langlebiger künstlicher Radionuklide in der Nordsee waren über viele Jahre überwiegend durch 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 bestimmt. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre bestimmt.

Die vorherrschenden Meeresströmungen verfrachten das durch die europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminierte Wasser in die Nordsee. Dort lassen sich zwei, durch künstliche Radionuklide markierte, einströmende Wassermassen unterscheiden:

1. ein aus dem Englischen Kanal kommender Strom, der parallel zur Küstenlinie Frankreich-Belgien-Niederlande-Deutschland-Dänemark verläuft (Europäischer Küstenstrom), und
2. der Einstrom im Bereich der Orkney-Inseln, der sich zunächst entlang der ostschottischen Küste nach Süden und später über die mittlere Nordsee nach Osten in Richtung Skagerrak bewegt.

Entsprechend den unterschiedlichen Nuklidmustern der Einleitungen durch La Hague und Sellafield in früheren Jahren wiesen diese beiden Wassermassen auch unterschiedliche Kontaminationen an künstlichen Radionukliden auf. In den letzten Jahren ist allerdings eine allgemeine Tendenz zur Abnahme der Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen zu erkennen, wobei die Einleitungen aus der Anlage Sellafield mit der Inbetriebnahme einer Ionenaustauscheranlage im Jahre 1985 außerordentlich stark zurückgingen. 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. Im Gegensatz zur allgemeinen Tendenz wurden die Einleitungsgrenzwerte der Anlage Sellafield ab dem Jahre 1994 für einige Radionuklide nach oben angehoben (z. B. für Kohlenstoff-14, Sr-90, Technetium-99 und Iod-129). Dieser Anstieg der Konzentration von Technetium-99 führte dazu, dass dieses Nuklid einen stärkeren Beitrag an der Strahlenexposition der „kritischen Bevölkerungsgruppe“ in den letzten Jahren liefert, während der Beitrag durch das früher dosisdominierende Nuklid Cs-137 abnahm. "Kritische Bevölkerungsgruppen" sind Personen, die sich bezüglich eines Expositionspfades durch besondere Verzehr- oder Lebensgewohnheiten auszeichnen, in diesem Falle durch besonders hohen Verzehr an Meeresfrüchten, in der Nähe der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield.

Die Gesamtaktivität der Einleitungen von La Hague lag ständig weit unter derjenigen von Sellafield. Beide Wiederaufarbeitungsanlagen erhöhen seit Jahren ihre Einleitungen an Tritium. Da dieses Radionuklid aber praktisch in Meeresorganismen nicht angereichert wird, ist es für eine Strahlenexposition des Menschen irrelevant.

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

In den Abbildungen 1 und 2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137 bzw. Sr-90 Aktivitätskonzentrationen an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Der Fallout von Tschernobyl lässt sich in der Nordsee kaum noch nachweisen. Lediglich im Skagerrak

entlang der norwegischen Küste kann man noch Spuren aus dieser Quelle in dem Ausstromwasser aus der Ostsee erkennen.

In den Abbildungen 3 und 4 sind die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 in der Deutschen Bucht im Februar 2000 dargestellt. In der inneren Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen atlantischen Meerwassers. Dagegen lässt sich mit den erhöhten Konzentrationen des Cs-137 in der äußeren Deutschen Bucht ein geringer Einfluss der WAA Sellafield nach wie vor eindeutig nachweisen.

Nur selten verdriften Wasserkörper, die von Abwässern der WAA Sellafield kontaminiert wurden, in die innere Deutsche Bucht oder an die Küste. Diese Ausnahmefälle sind starke Nordweststurmungen, die über mehrere Tage anhalten. Zuletzt nachgewiesen wurde eine solche Situation im Frühjahr 1996. Aber auch in diesem Fall dominierte wieder nach ein bis zwei Wochen der sogenannte "Europäische Küstenstrom" und drängte das von Sellafield markierte Wasser in die mittlere Nordsee ab.

In den Abbildungen 5-9 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90, Pu- 239+240, Pu-238, Am-241 und Curium-244 in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Aktivitätskonzentration aller überwachten Nuklide in der Nordsee um den Faktor 2-5 über denen des einströmenden Atlantikwassers lagen. Dabei sind die Konzentrationen in der Nordsee während der neunziger Jahre für die meisten der hier betrachteten Nuklide abnehmend und deutlich niedriger als in den Jahren zuvor. Eine Ausnahme ist das Nuklid Am-241. Vor allem in den Gewässern um die britischen Inseln ist die Aktivitätskonzentration dieses Nuklids in den neunziger Jahren nahezu gleichbleibend. Als Quelle sind die erheblichen Mengen des Mutternuklids Pu-241 (HWZ = 14,35 a) zu nennen, die im Sediment der Irischen See aufgrund der früheren Ableitungen eingelagert sind.

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 geringerer Masse auch für das Sediment der kontinentalen Küste. Die Resuspension wird sowohl durch natürliche Ereignisse wie Stürme als auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei hervorgerufen.

Zusammenfassend kann man für die Nordsee festhalten:

1. Trotz der Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen treten die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 im Skagerrak durch abfließendes Ostseewasser auf. Die Ostsee stellt derzeit, und für die nächsten Jahre, die stärkste Quelle für Cs-137 in der Nordsee dar.
2. Das Sediment der Irischen See stellt die zweitstärkste Quelle für Cs-137 dar. Vergleichende Betrachtungen mit anderen konservativen Nukliden ergeben, dass zwischen 50 und 70 TBq/Jahr an Cs-137 resuspendiert werden. Dies ist das 5–7fache der derzeitigen Einleitungen. Die in der Irischen See im Wasser befindlichen Radionuklide gelangen zu einem großen Teil in die Nordsee.
3. Die Einleitungen an Sr-90 der WAA La Hague sind gegenüber den Erhöhungen der Jahre 1991/92 wieder stark zurückgegangen. Die erhöhten Sr-90-Einleitungen der WAA Sellafield sind im auch Jahre 2000 in der Nordsee nachzuweisen.
4. Die immer noch erhöhten Konzentrationen an Transuranen in der Nordsee liegen im Wesentlichen in den hohen spezifischen Aktivitäten des Sedimentes in der Irischen See durch die hohen Ableitungen der früheren Jahre begründet. Dies lässt sich aus den im Wasser gefundenen Aktivitätsverhältnissen ableiten, die nicht denen der aktuellen Einleitungen, sondern denen des Sedimentinventars entsprechen.

Tritium ist das einzige Radionuklid, das von beiden Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren im erheblichen Maße verstärkt eingeleitet wurde. Die Tritiumkonzentrationen in der Deutschen Bucht

und in der westlichen Ostsee im Jahr 2000 sind in Abbildung 10 dargestellt. Die langjährige Entwicklung der mittleren Tritiumgehalte der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (Abb. 11) zeigt für die Ostsee einen stark rückläufigen Trend, der auf die abnehmende Konzentration im Süßwassereintrag zurückzuführen ist. Die Ursache für ansteigende Tritiummesswerte in der Deutschen Bucht in den Jahren 1993 bis 2000 sind die deutlich höheren Einleitungen der WAA La Hague. Da in der marinen Nahrungskette keine Anreicherung von Tritium stattfindet, werden höhere Tritiumkonzentration im Meer nicht als radiologisch relevant für den Menschen angesehen.

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

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

Abbildung 12 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.

Durch den im Jahresmittel sehr geringen Wasseraustausch der Ostsee mit der Nordsee durch die dänischen Meerengen ist die durch Tschernobyl eingetragene Aktivität im Wasser der Ostsee über einen längeren Zeitraum verblieben. Die Zeit für einen vollständigen Wasseraustausch der Ostsee wird mit 20 bis 30 Jahren angenommen.

In den Abbildungen 13 bis 16 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90 und Tritium in der westlichen und zentralen Ostsee und der Bottnischen See im Juli 2000 dargestellt.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 lagen im untersuchten Gebiet der Ostsee zwischen 8 und 80 Bq/m³ (Abb. 13 und 14). Dabei finden sich die höchsten Konzentrationen in der Wassersäule und im Bodenwasser der Bottnischen See. In diesem Seegebiet traten, wie auch im Finnischen Golf, die höchsten Einträge aus dem Tschernobylunfall im Jahr 1986 auf. Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, ist sie immer noch etwa 10 mal höher als die 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 auf einen ordnungsgemäßen Betrieb der dort arbeitenden Nuklearanlagen schließen lässt.

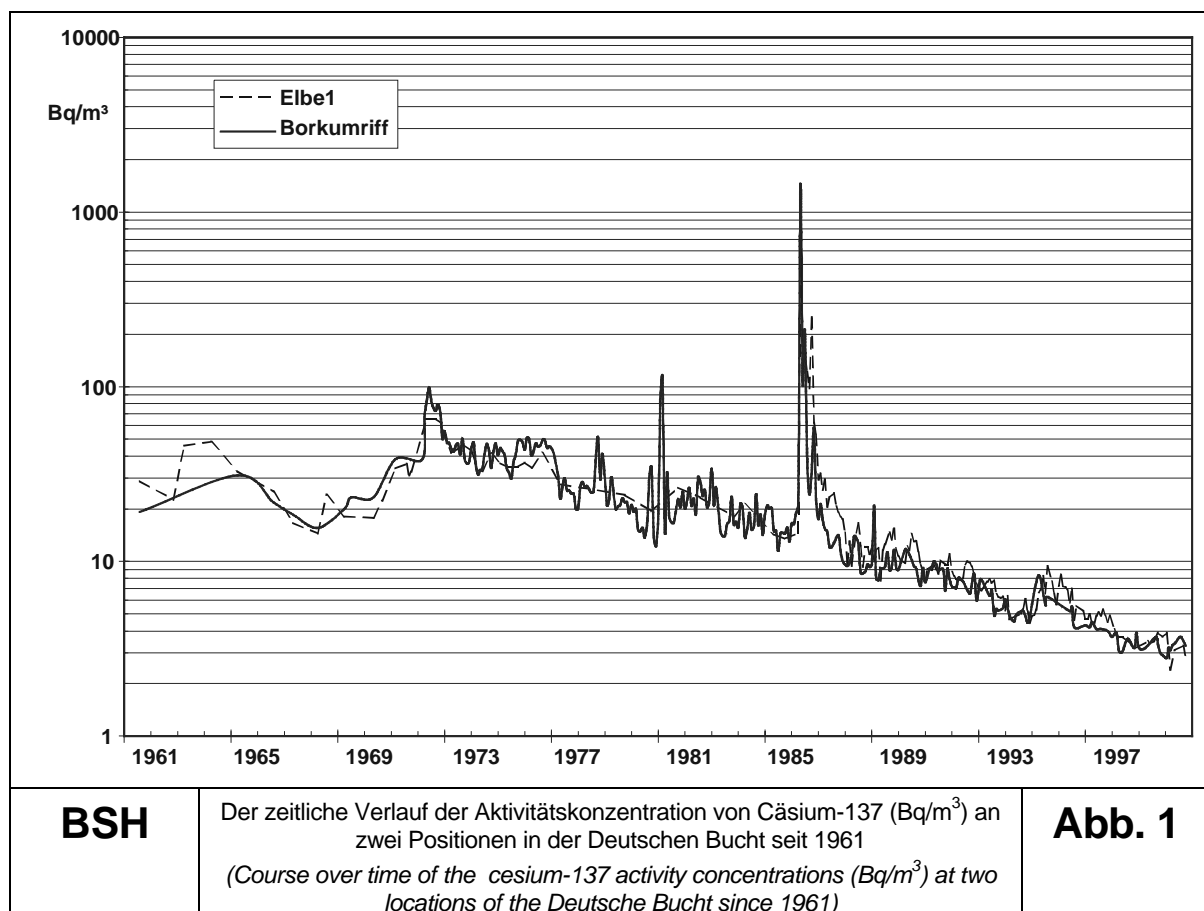
Sedimente

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

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

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die höchste Konzentration findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm. Eine Auswahl von Sedimentprofilen von Stationen aus der westlichen Ostsee ist in Abbildung 17 dargestellt. Die örtlich stark variierende Deposition ist ausschließlich auf Unterschiede in den Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. Die Aktivitätskonzentrationen im Meerwasser sind wesentlich gleichförmiger (siehe auch Abb. 13).

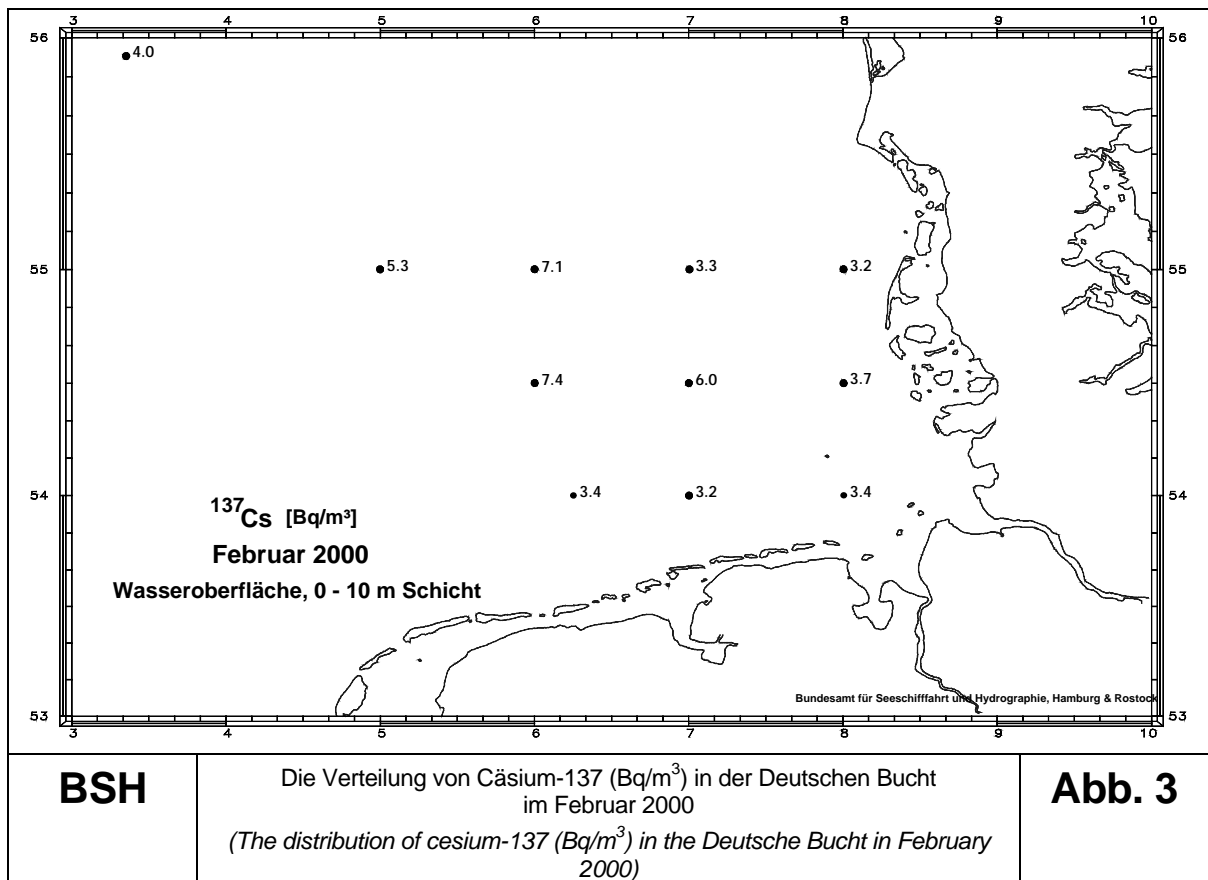
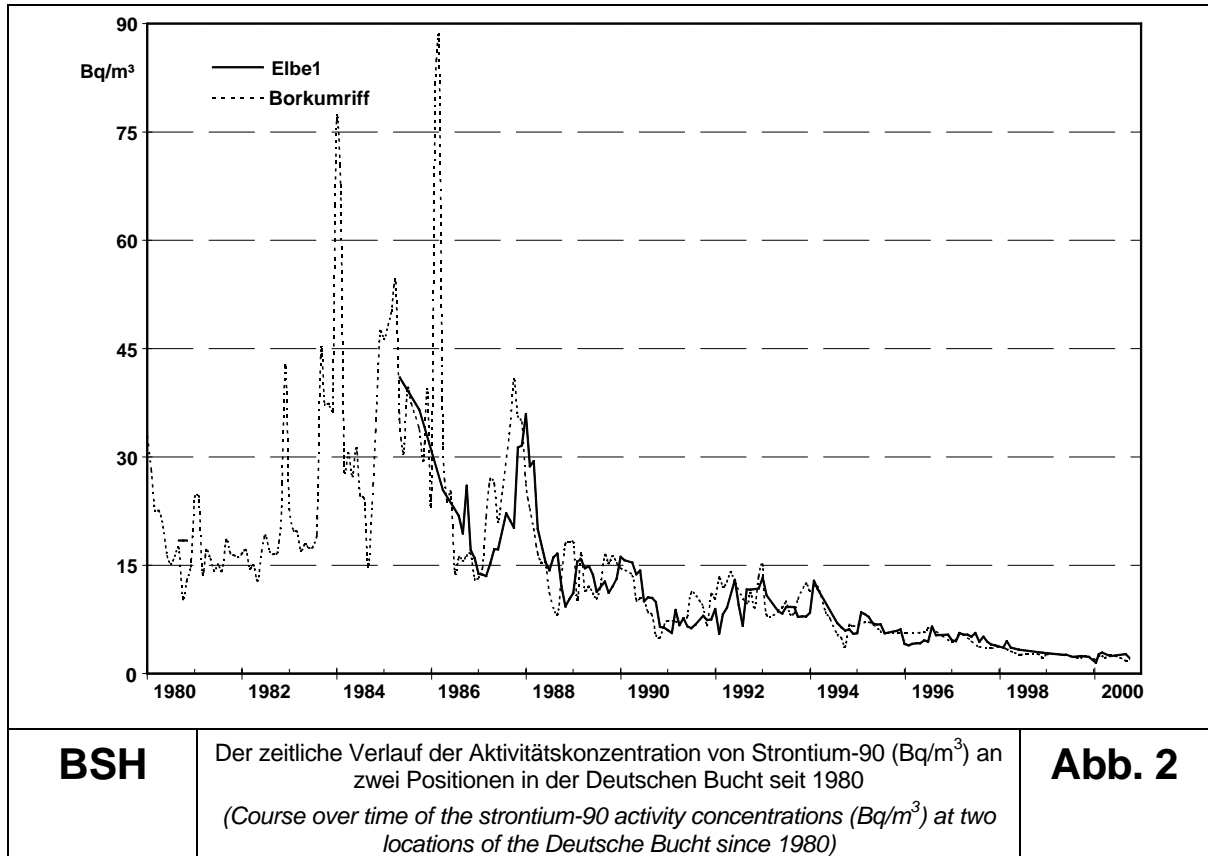
Die resultierenden Inventare an Cäsium-137 sind für die westliche und zentrale Ostsee und Bottnische See in Abbildung 18 dargestellt. Im Bereich der deutschen Wirtschaftszone sind 2000 Inventare von 0,9 bis 5,1 kBq/m² gemessen worden. Eine Folge des örtlich sehr viel höheren Eintrages aus dem Tschernobylunfall ist das Cs-137-Inventar nahe der Ålandinseln mit einem Wert von 27,4 kBq/m².

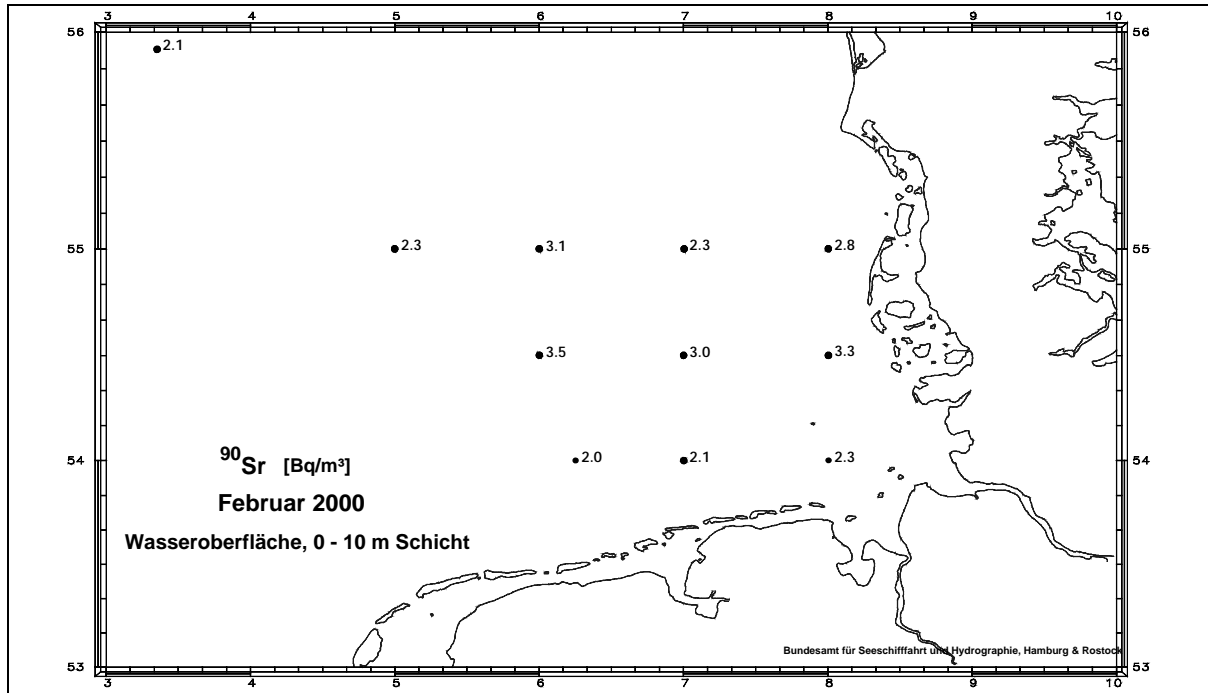


BSH

Der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 (Bq/m³) an zwei Positionen in der Deutschen Bucht seit 1961
(Course over time of the cesium-137 activity concentrations (Bq/m³) at two locations of the Deutsche Bucht since 1961)

Abb. 1

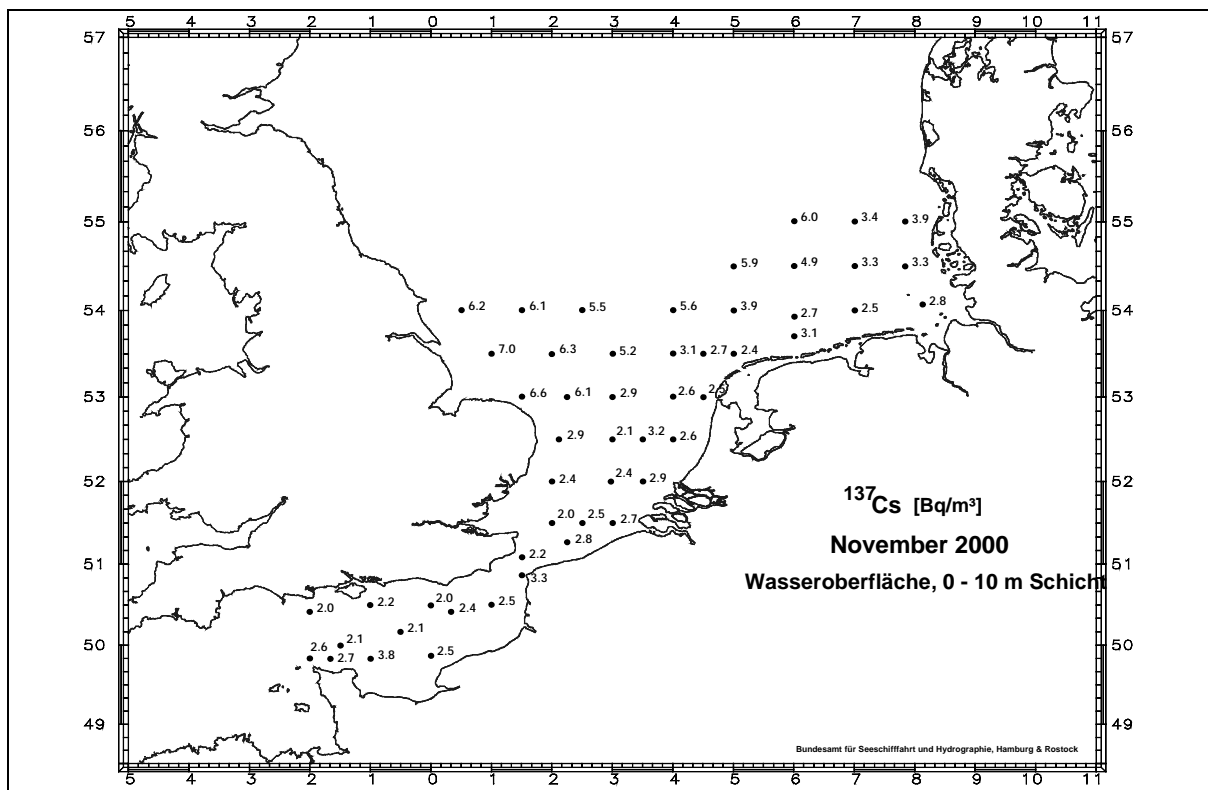




BSH

Die Verteilung von Strontium-90 (Bq/m^3) in der Deutschen Bucht im Februar 2000
 (The distribution of Strontium-90 (Bq/m^3) in the Deutsche Bucht in February 2000)

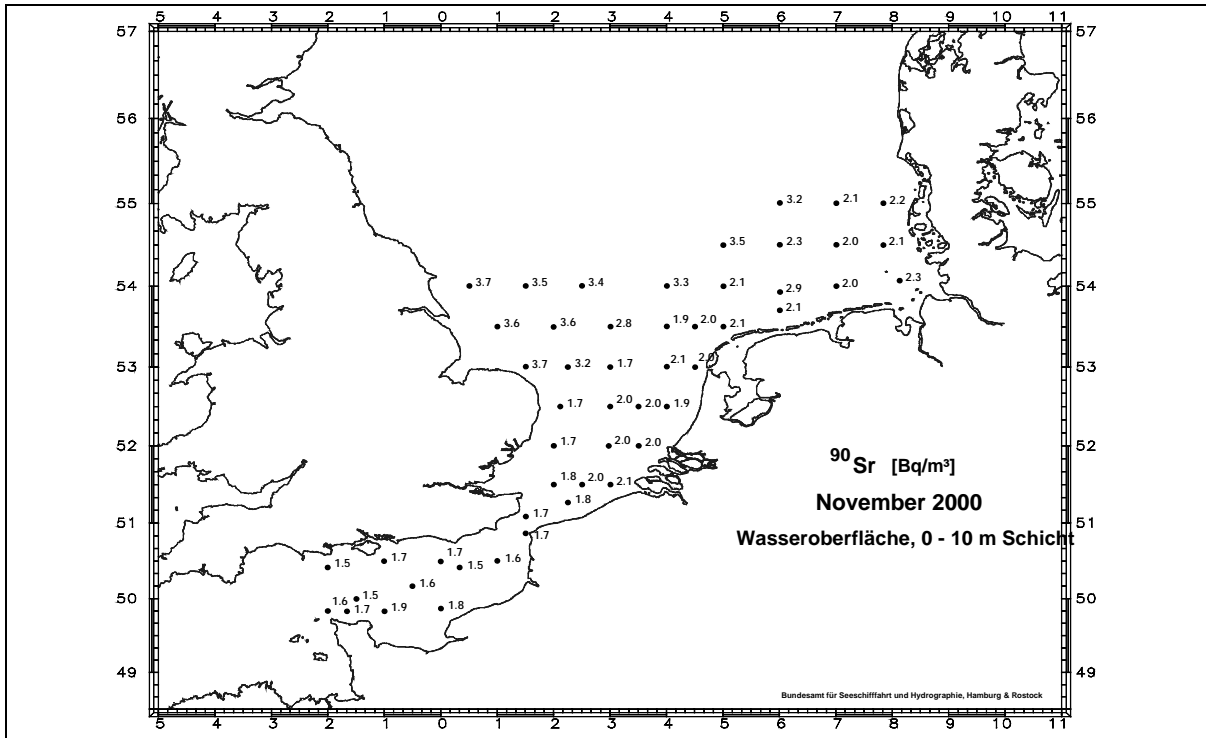
Abb. 4



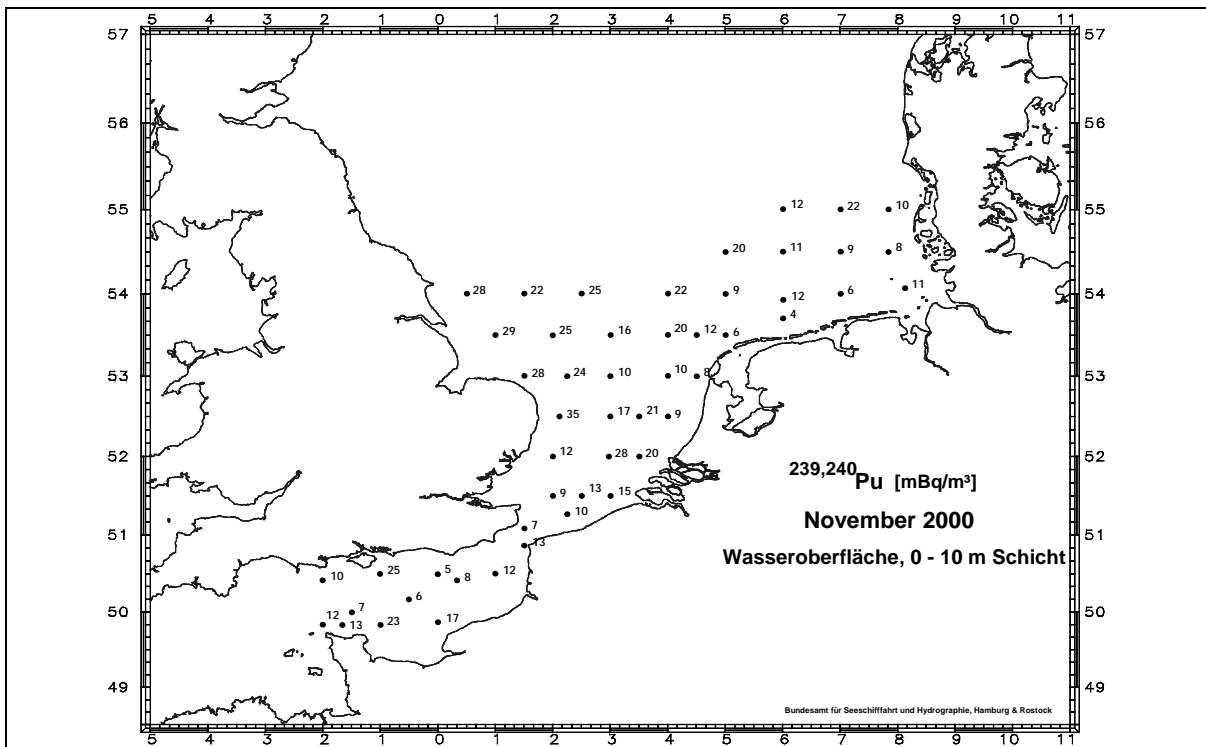
BSH

Die Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m^3) in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000
 (The distribution of cesium-137 (Bq/m^3) in the Eastern and Southern North Sea and the English Channel in November 2000)

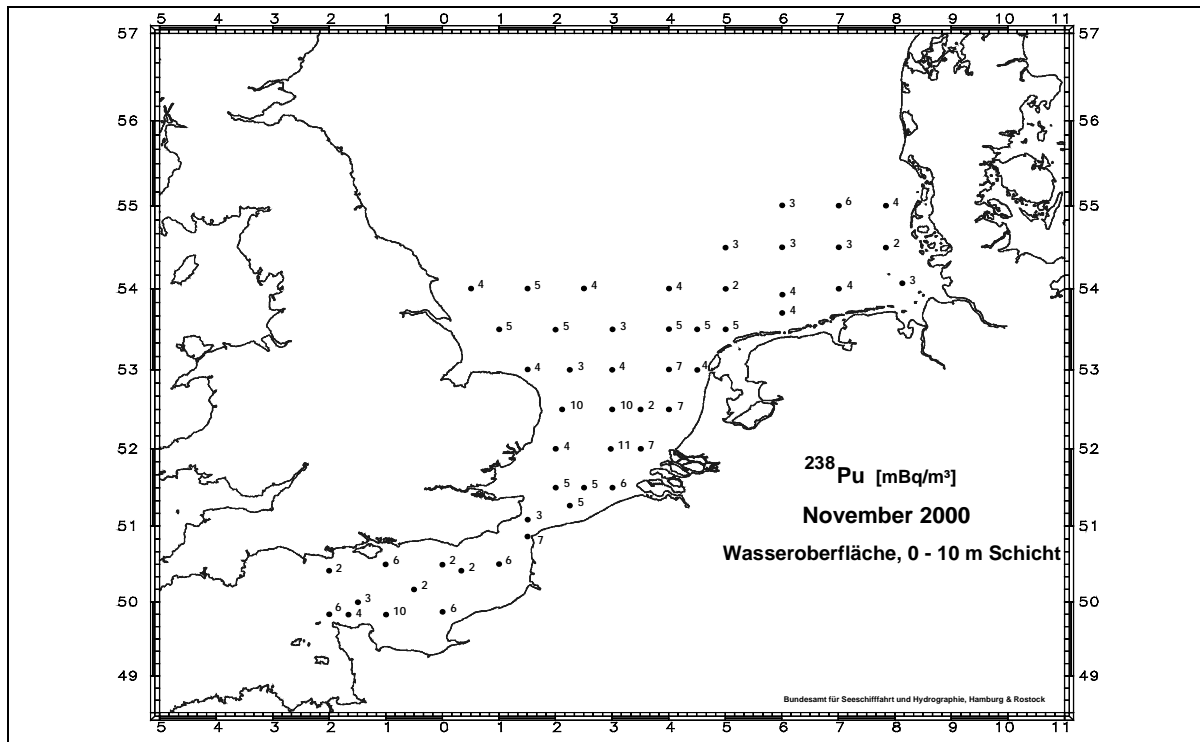
Abb. 5



BSH	<p>Die Verteilung von Strontium-90 (Bq/m^3) in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000</p> <p><i>(The distribution of strontium-90 (Bq/m^3) in the Eastern and Southern North Sea and the English Channel in November 2000)</i></p>	Abb. 6
------------	---	---------------



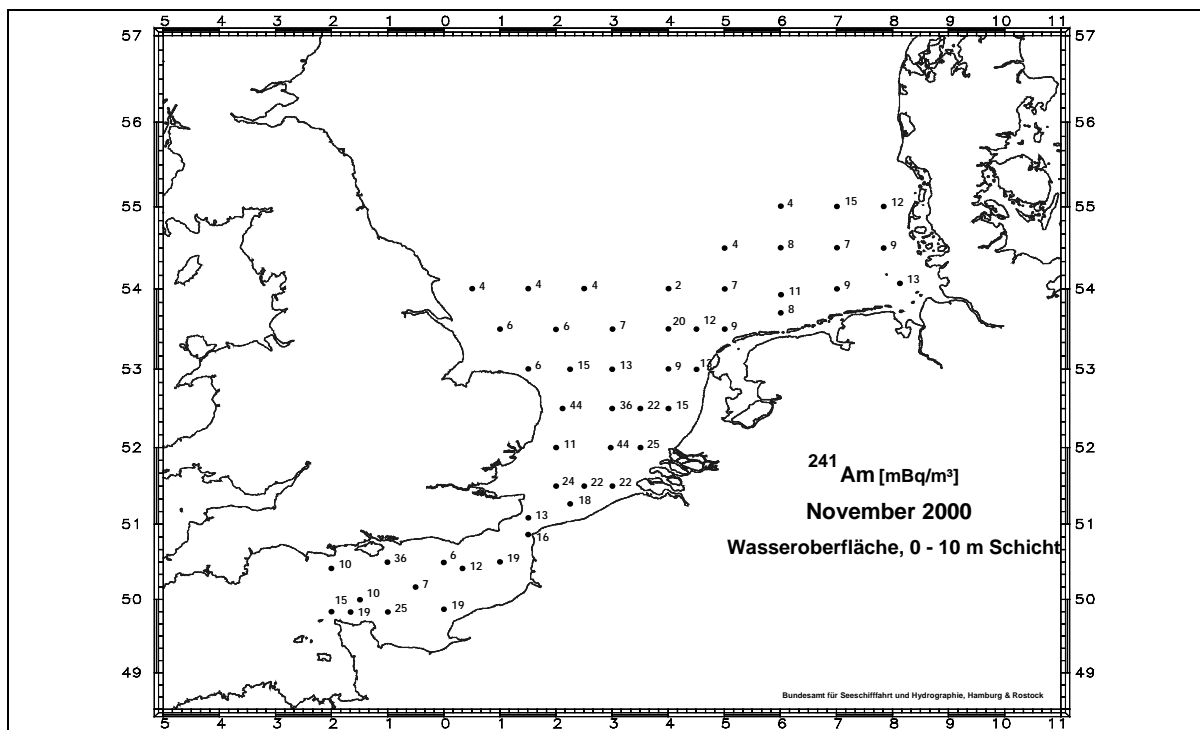
BSH	<p>Die Verteilung von Plutonium-239/240 (mBq/m^3) in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000</p> <p><i>(The distribution of plutonium-239/240 (mBq/m^3) in the Eastern and Southern North Sea and the English Channel in November 2000)</i></p>	Abb. 7
------------	---	---------------



BSH

Die Verteilung von Plutonium-238 (mBq/m^3) in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000
(The distribution of plutonium-238 (mBq/m^3) in the Eastern and Southern North Sea and the English Channel in November 2000)

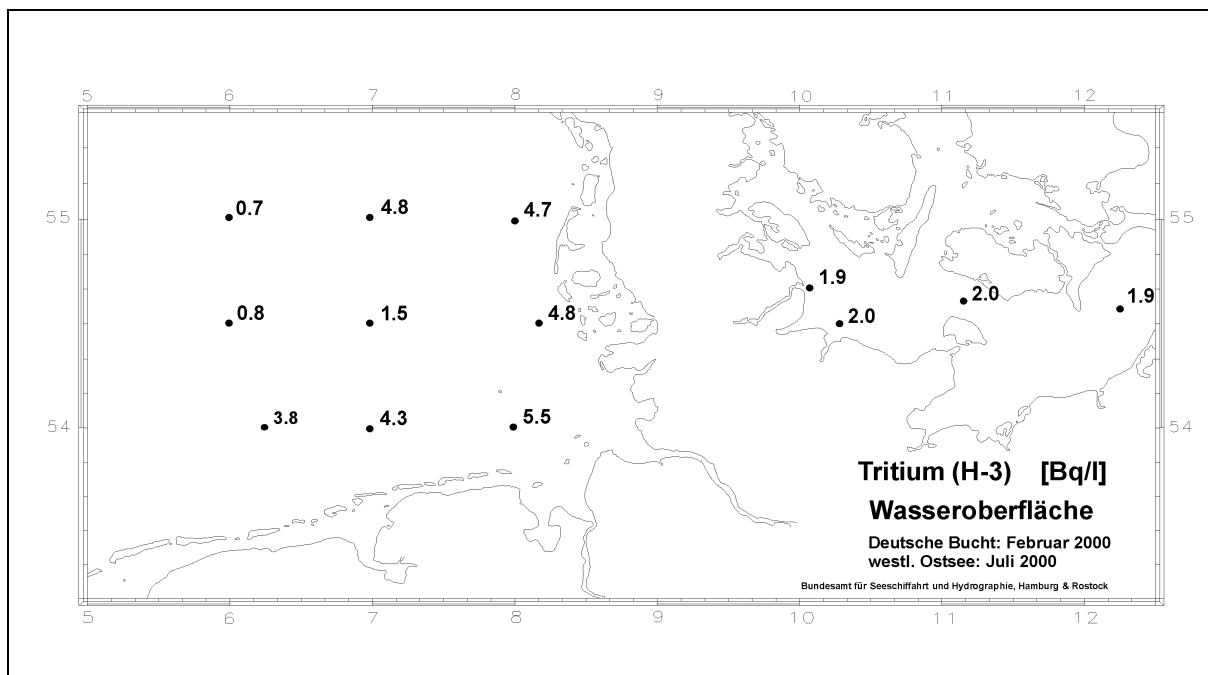
Abb. 8



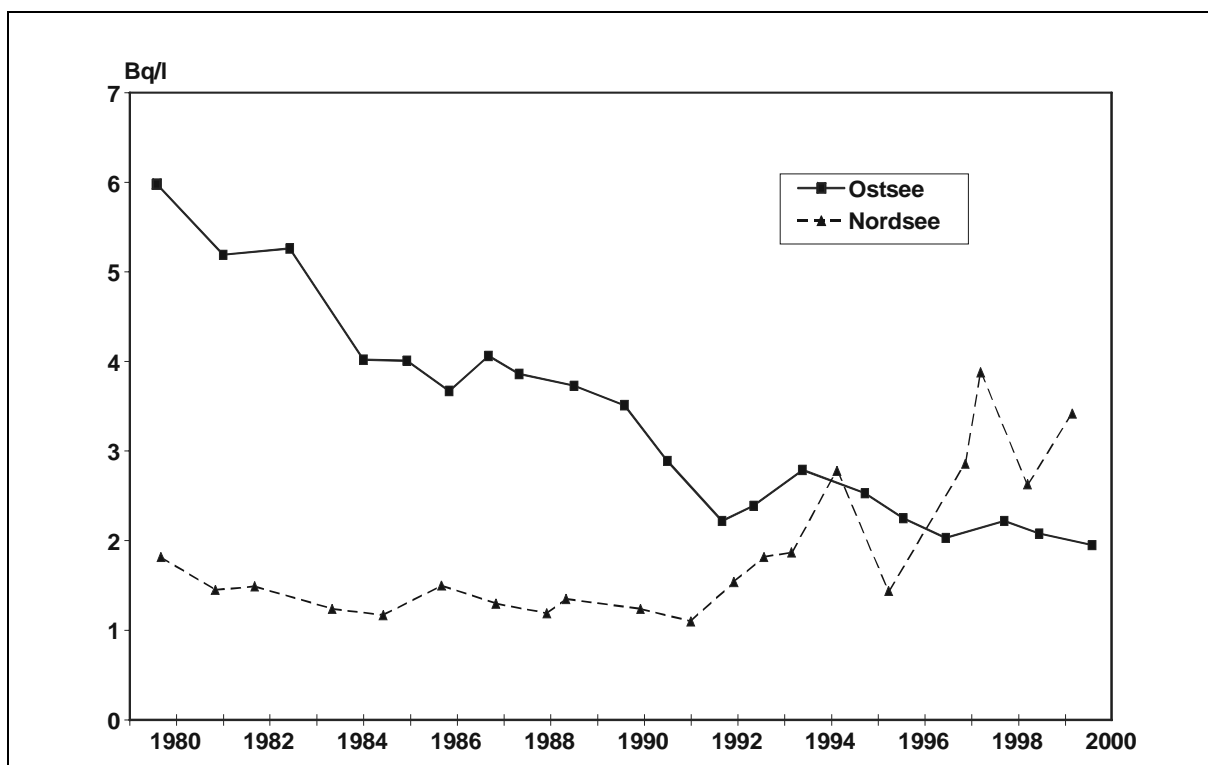
BSH

Die Verteilung von Americium-241 (mBq/m^3) in der östlichen und südlichen Nordsee und dem Englischen Kanal im November 2000
(The distribution of americium-241 (mBq/m^3) in the Eastern and Southern North Sea and the English Channel in November 2000)

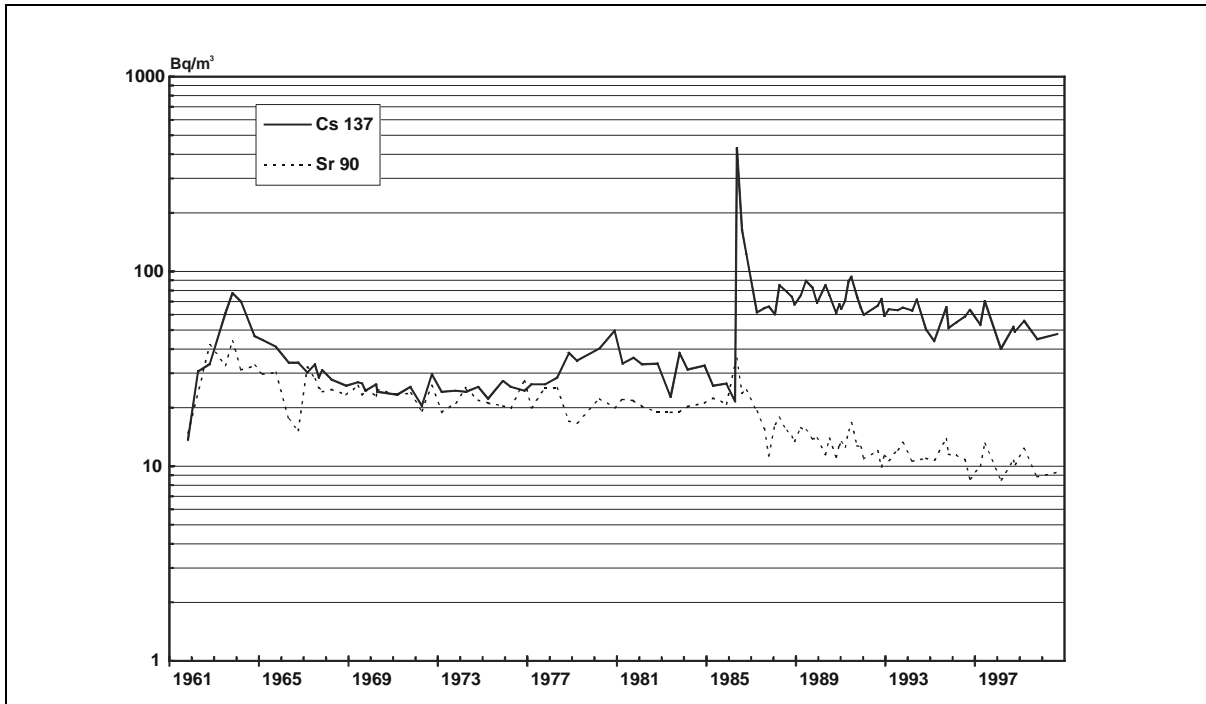
Abb. 9



BSH	Die Konzentration von Tritium (Bq/l) in der Deutschen Bucht (Februar) und der westlichen Ostsee (Juli) im Jahr 2000 <i>(Tritium concentration (Bq/l) in the Deutsche Bucht (February) and the Western Baltic Sea (July) in the year 2000)</i>	Abb. 10
------------	--	----------------

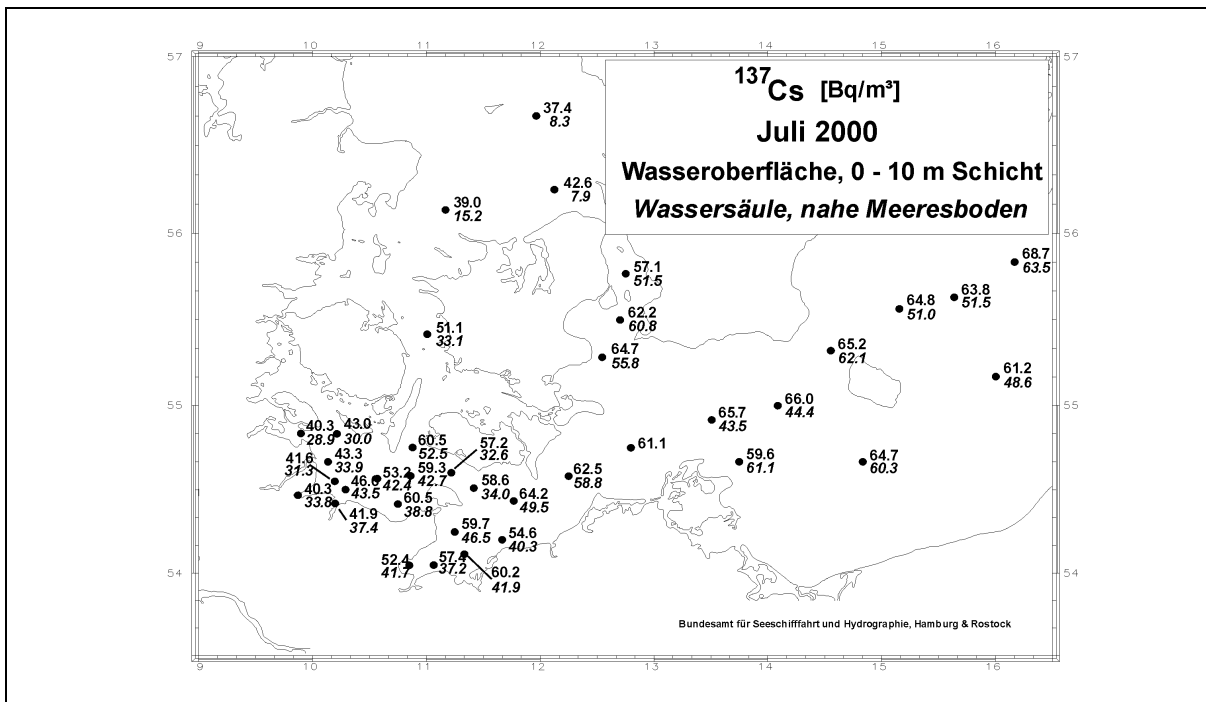


BSH	Der zeitliche Verlauf der mittleren Tritium-Aktivitätskonzentration (Bq/l) in der Deutschen Bucht (9 Stationen) und der westlichen Ostsee (4 Stationen) seit 1980 <i>(Course over time of the mean tritium activity concentrations (Bq/l) in the Deutsche Bucht (9 stations) and the Western Baltic Sea (4 stations) since 1980)</i>	Abb. 11
------------	---	----------------



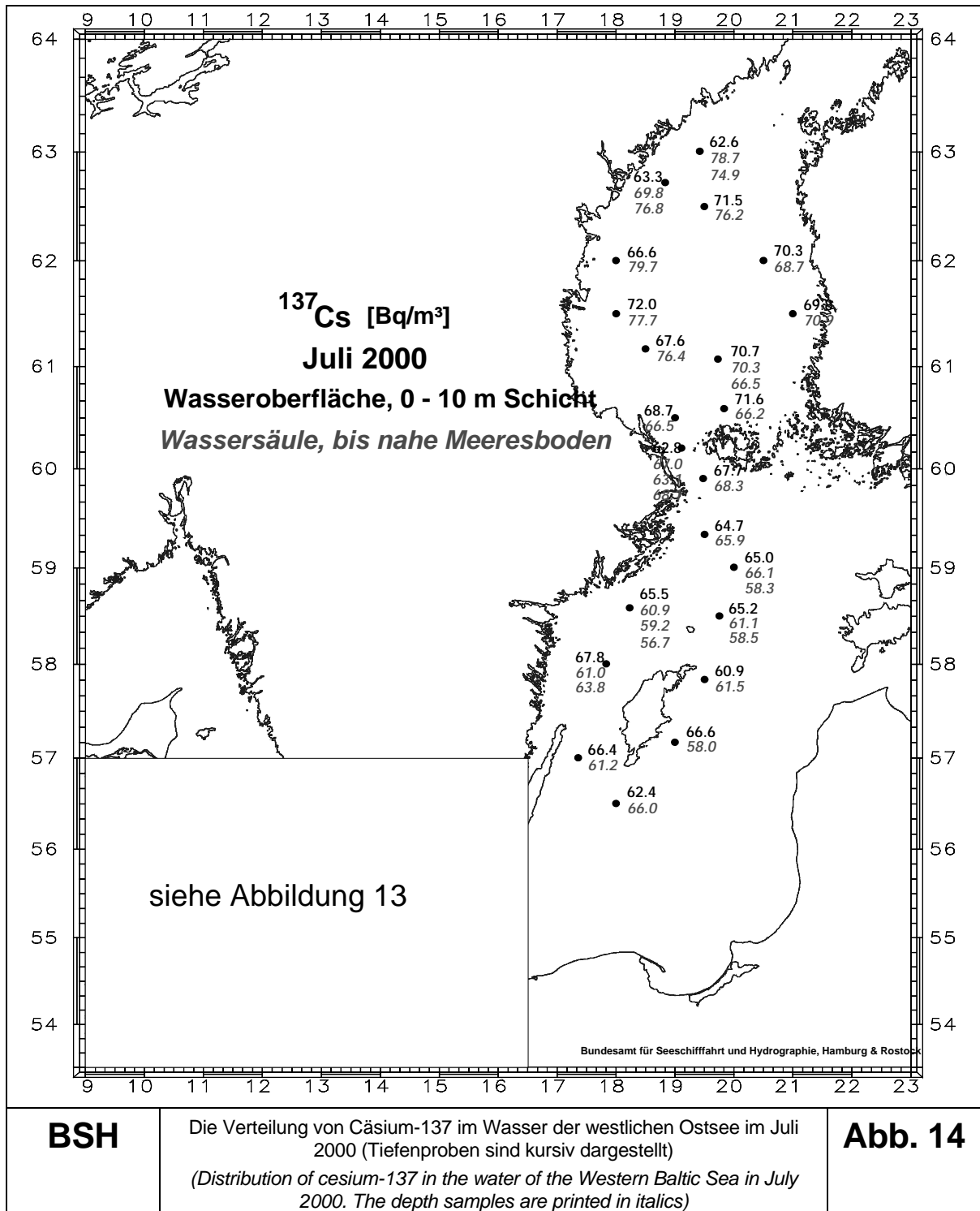
BSH Der zeitliche Verlauf der Cäsium-137- und Strontium-90-Aktivitätskonzentrationen (Bq/m^3) an der Position "Schleimündung" seit 1961
(Course over time of cesium-137 and strontium-90 activity concentrations (Bq/m^3) at the location "Schleimündung" since 1961)

Abb. 12



BSH Der zeitliche Verlauf von Cäsium-137 (Bq/m^3) im Wasser der zentralen Ostsee und der Bottnischen See im Juli 2000. Tiefenproben sind kursiv dargestellt
(Course over time of cesium-137 (Bq/m^3) in the water of the Central Baltic Sea and the Gulf of Bothnia in July 2000. The depth samples are printed in italics)

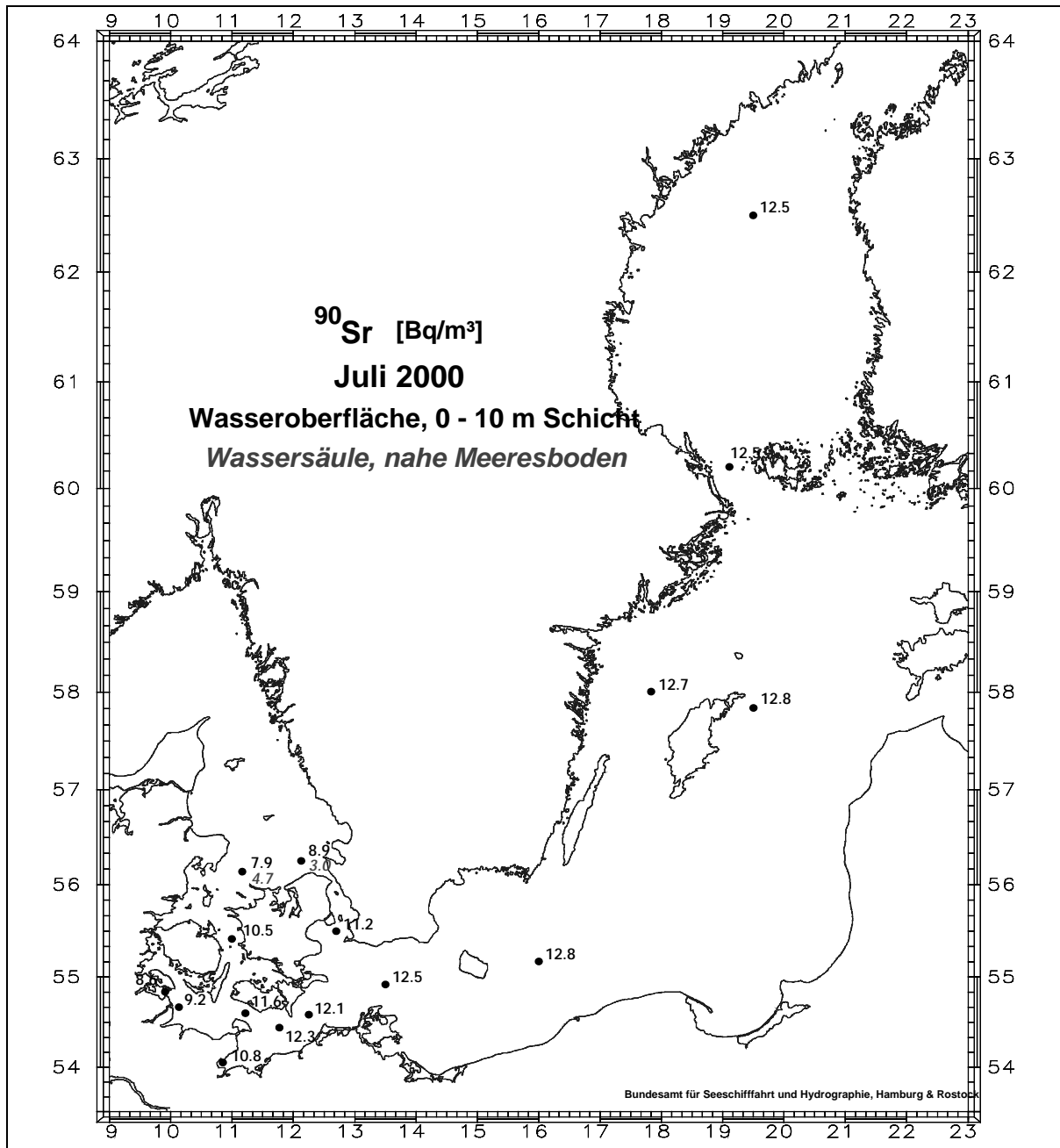
Abb. 13



BSH

Die Verteilung von Cäsium-137 im Wasser der westlichen Ostsee im Juli 2000 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)
(Distribution of cesium-137 in the water of the Western Baltic Sea in July 2000. The depth samples are printed in italics)

Abb. 14

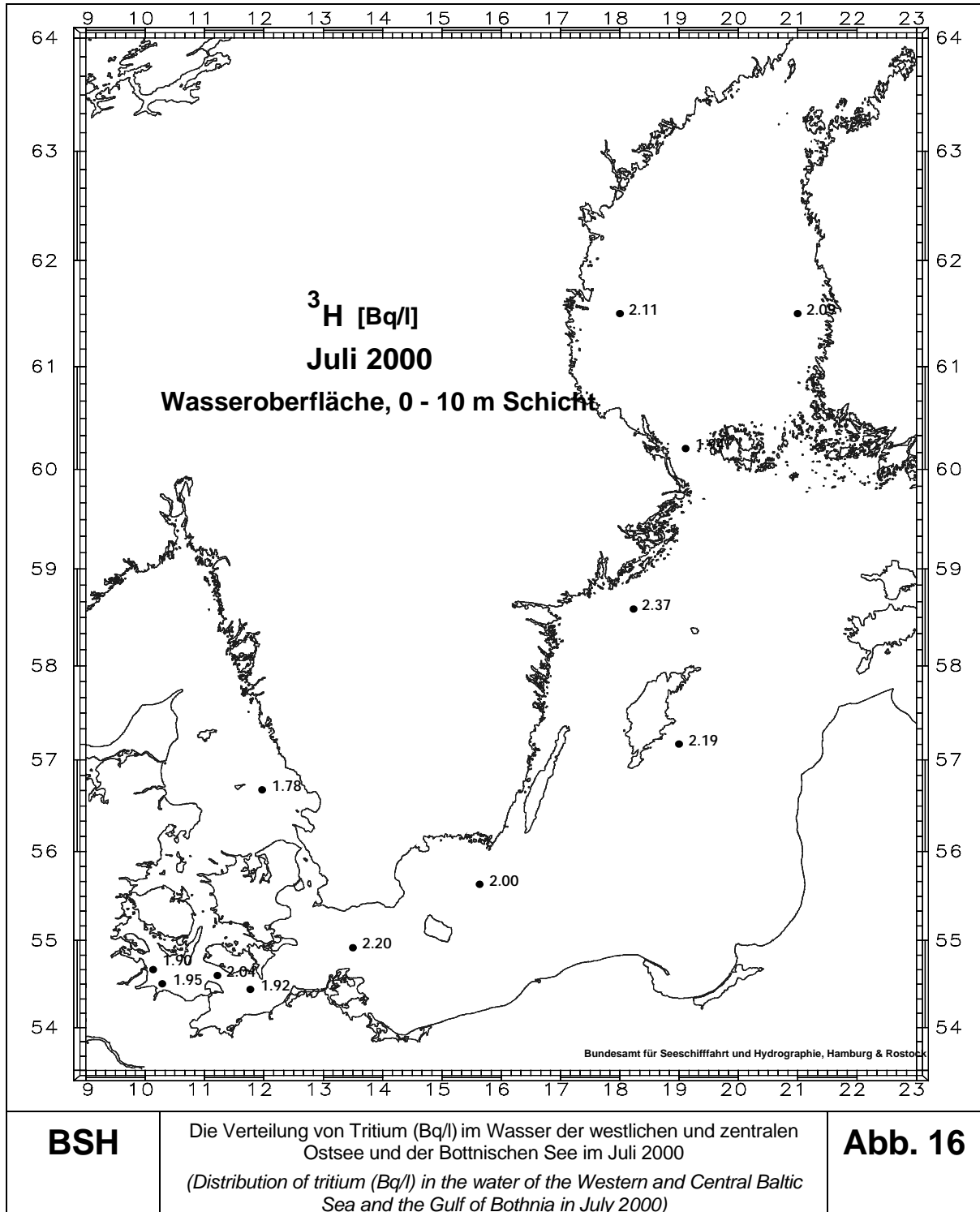


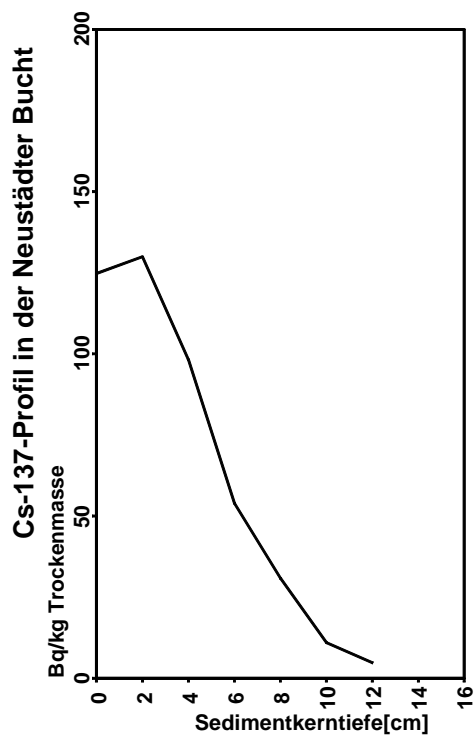
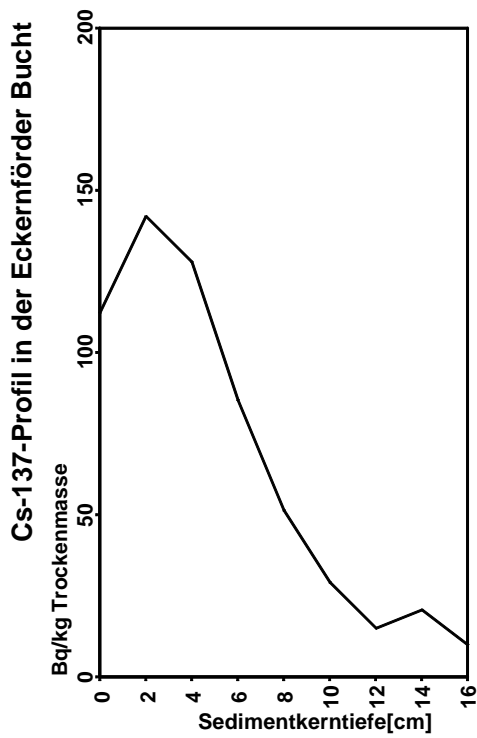
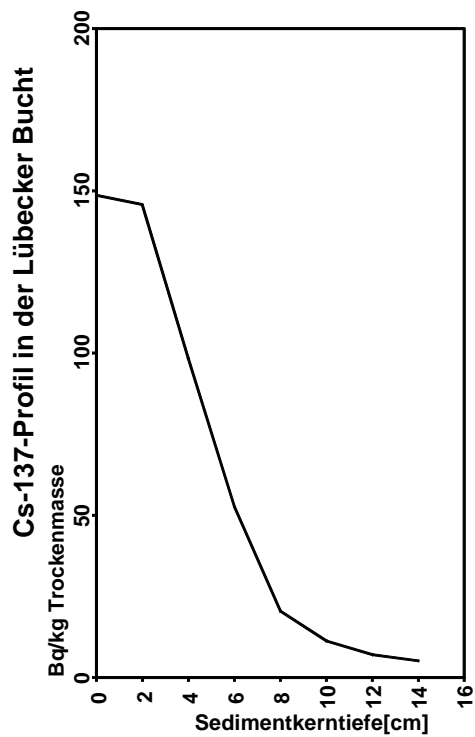
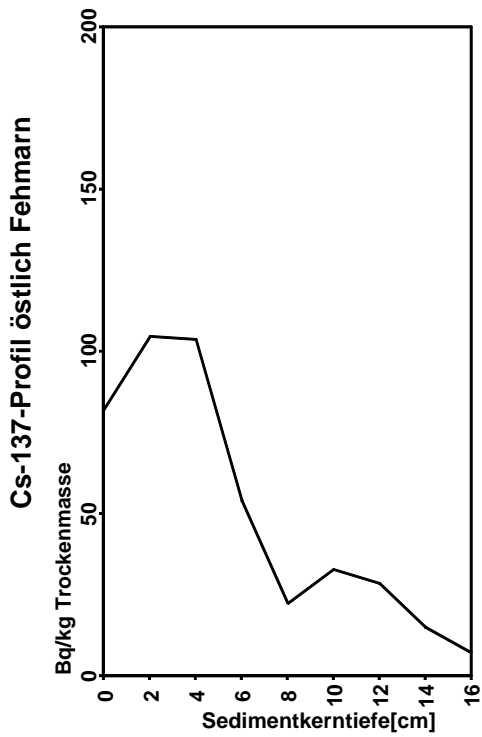
BSH

Die Verteilung von Strontium-90 im Wasser der westlichen und zentralen Ostsee und der Bottnischen See im Juli 2000. (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

(Distribution of strontium-90 in the water of the Western and Central Baltic Sea and the Gulf of Bothnia in July 2000. The depth samples are printed in italics.)

Abb. 15

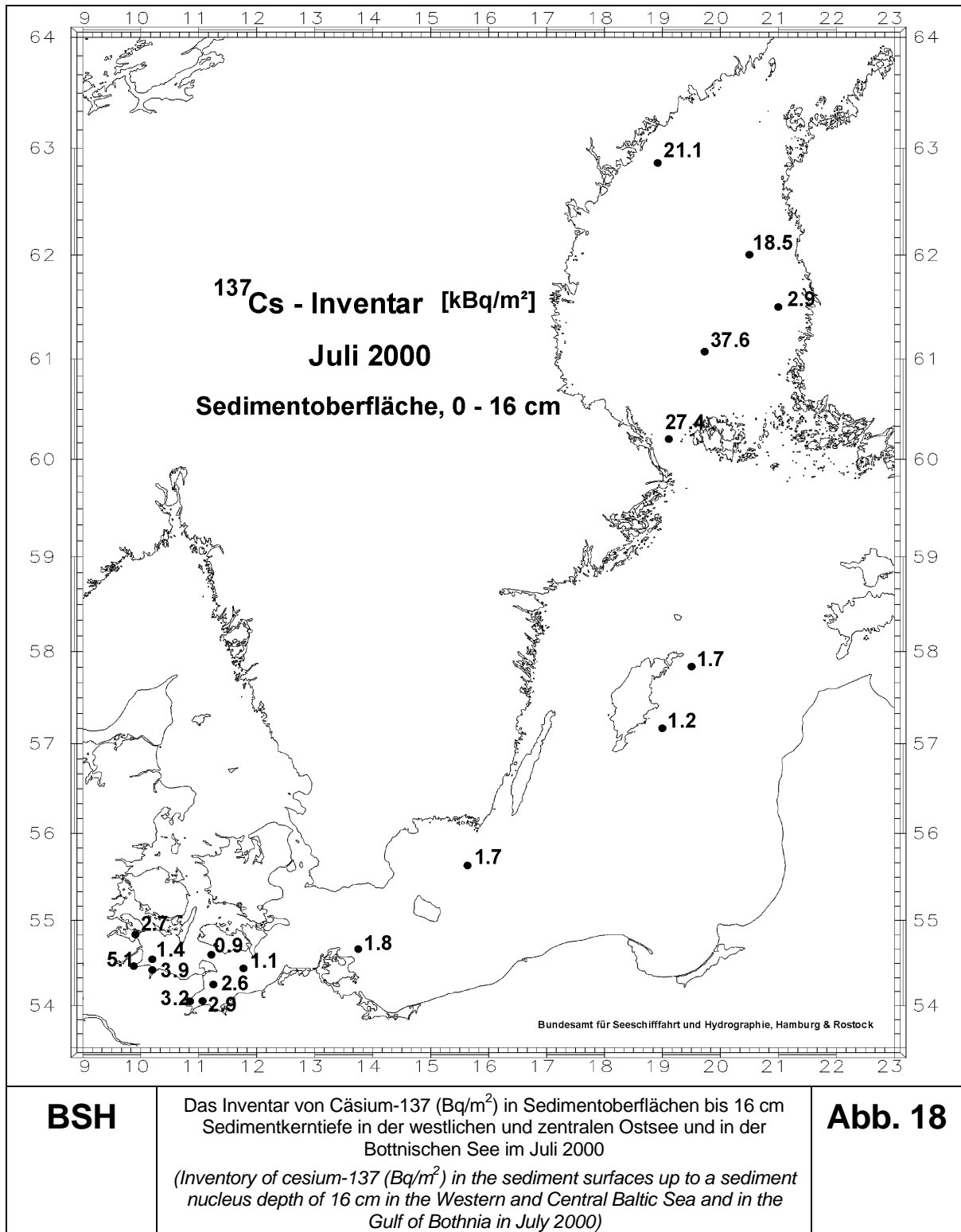




BSH

Cäsium-137-Profile in Sedimenten der westlichen Ostsee im Jahr 2000
(Cesium-137 profiles in sediments of the Western Baltic Sea in the year 2000)

Abb. 17



BSH

Das Inventar von Cäsium-137 (Bq/m²) in Sedimentoberflächen bis 16 cm Sedimentkerntiefe in der westlichen und zentralen Ostsee und in der Bottnischen See im Juli 2000
(Inventory of cesium-137 (Bq/m²) in the sediment surfaces up to a sediment nucleus depth of 16 cm in the Western and Central Baltic Sea and in the Gulf of Bothnia in July 2000)

Abb. 18

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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 2000 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1 übersichtlich zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte sowie der Median der Aktivitätskonzentration

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 65 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für **Cäsium-137** liegen mit Ausnahme von zwei Werten (1,9 und 8,1 mBq/l) unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,55 mBq/l bis 19 mBq/l, die im wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <3,5 mBq/l (1999: <4 mBq/l).

In 30 % der gemessenen Proben konnte **Strontium-90** mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,036 mBq/l bis 9,7 mBq/l (1999: 0,5 bis 11 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 1,8 mBq/l (1999: 2,3 mBq/l).

Tritium wurde in 7 Proben in Konzentrationen von 0,55 Bq/l bis 2,6 Bq/l (1999: 1,3 bis 2,7 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 68 Trinkwasser- und 59 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 94% der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,106 mBq/l bis 21 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,15 mBq/l und 12 mBq/l (1999: 0,076 und 10 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <7,0 mBq/l (1999: <5,0 mBq/l).

In 45% der untersuchten Proben konnte **Strontium-90** nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 1,0 mBq/l und 8,6 mBq/l (1999: 0,059 und 12 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 5,0 mBq/l (1999: <5,0 mBq/l). Der Median zeigt den aus dem Fallout der Kernwafferversuche 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 vernachlässigbar klein.

**Tabelle 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	120	54	20	1900	190	160
	Cs-137	120	118	1,9	8,1		<3,5
	Sr-90	60	42	0,036	9,7	1,8	
	H-3	8	1	550	2600	1400	1300
Trinkwasser (mBq/l)							
alle Bundesländer	K-40	219	124	21	2700		170
	Cs-137	219	208	0,15	12		<7,0
	Sr-90	67	37	1,0	8,6		5,0

^{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.

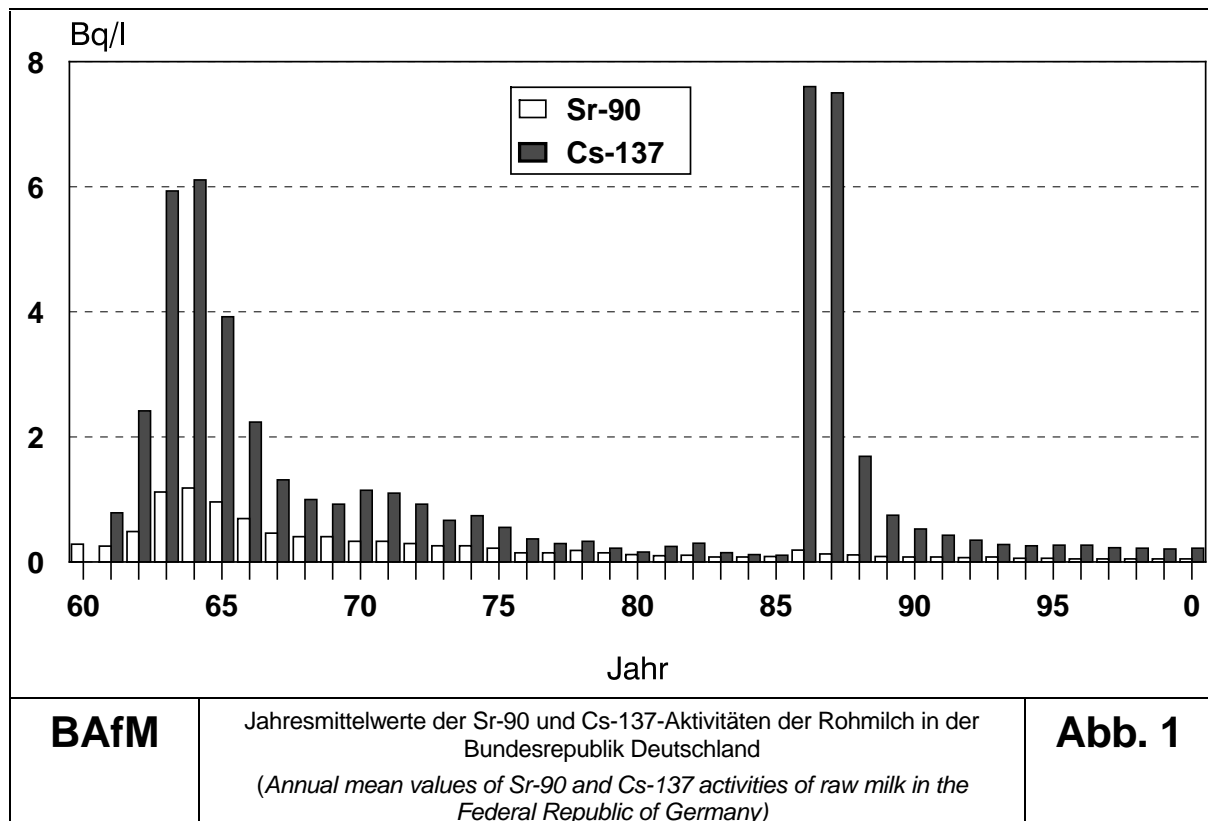
3.4.2 Milch und Milchprodukte (Milk and milk products)

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 1999 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 1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen "<" gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 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 1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte des Sr-90- und Cs-137-Gehaltes der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 2000.

Tabelle 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 1,3Bq/kg).



**Tabelle 1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch
(Radioactive contamination of the raw milk)**

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	36	0,10	98	< 0,17
	1999	32	0,10	94	< 0,16
	2000	36	0,08 (0,04 - 0,20)	91	< 0,16 (0,03 - 0,90)
Bayern	1998	104	0,06	260	< 0,25
	1999	106	0,07	275	< 0,24
	2000	104	0,07 (0,02 - 0,34)	272	< 0,27 (0,03 - 0,92)
Berlin	1998	12	0,03	24	< 0,22
	1999	12	0,02	24	< 0,11
	2000	12	0,02 (0,01 - 0,04)	24	< 0,24 (0,03 - 1,40)
Brandenburg	1998	12	0,06	36	< 0,47
	1999	16	0,04	41	< 0,30
	2000	16	0,04(0,01 - 0,07)	40	< 0,32(< 0,08 - 1,70)
Bremen	1998	12	< 0,06	12	0,52
	1999	12	< 0,03	12	0,44
	2000	12	< 0,03 (< 0,01 - 0,12)	12	< 0,54(0,02 - 2,85)
Hamburg	1998	12	0,05	12	< 0,13
	1999	a)	a)	12	< 0,13 (< 0,09 - < 0,15)
	2000	9	0,03(0,02 - 0,04)	12	< 0,12 (< 0,08 - < 0,15)
Hessen	1998	15	0,05	41	< 0,23
	1999	16	0,06	40	< 0,11
	2000	9	0,04 (0,04 - 0,05)	41	< 0,11 (< 0,02 - 0,38)
Mecklenburg-Vorpommern	1998	46	0,04	70	< 0,22
	1999	48	0,05	72	< 0,19
	2000	46	0,05 (0,01 - 0,16)	67	< 0,23 (0,07 - 2,11)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen	1998	134	0,05	245	< 0,31
	1999	122	0,05	243	< 0,31
	2000	123	0,05 (0,02 - 0,07)	228	< 0,29 (< 0,08 - 1,03)
Nordrhein-Westfalen	1998	48	< 0,04	137	< 0,13
	1999	54	0,04	147	< 0,15
	2000	44	< 0,06 (<0,01 - 0,88)	132	< 0,14 (< 0,02 - 0,69)
Rheinland-Pfalz	1998	25	0,05	60	< 0,13
	1999	22	0,05	46	< 0,11
	2000	19	0,04 (0,03 - 0,05)	59	< 0,15 (0,03 - 0,34)
Saarland	1998	12	< 0,03	12	< 0,20
	1999	10	< 0,03	12	< 0,20
	2000	10	< 0,02 (< 0,02 - 0,03)	10	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
Sachsen	1998	12	0,04	24	< 0,06
	1999	12	0,03	24	< 0,08
	2000	10	0,03 (0,02 - 0,04)	20	< 0,09 (< 0,07 - <0,12)
Sachsen-Anhalt	1998	12	< 0,04	36	< 0,23
	1999	12	0,04	28	< 0,38
	2000	12	< 0,03 (< 0,02 - 0,03)	40	< 0,21 (< 0,08 - 1,30)
Schleswig-Holstein	1998	51	0,05	112	< 0,15
	1999	51	0,05	111	< 0,16
	2000	48	0,05 (0,03 - 0,08)	108	< 0,19 (< 0,06 - 0,99)
Thüringen	1998	21	0,03	33	< 0,09
	1999	26	0,03	38	< 0,07
	2000	24	0,02 (0,02 - 0,04)	36	< 0,08(0,01 - < 0,21)
Bundesrepublik (gesamt)	1998	564	< 0,05	1212	< 0,22
	1999	551	< 0,05	1219	< 0,21
	2000	534	< 0,05 (<0,01 - 0,88)	1192	< 0,22(<0,01 - 2,85)

Tabelle 2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten
(Areas of radioactive contamination of milk and milk products)

Produkt	N	Cs-134 Bq/kg		Cs-137 Bq/kg	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1192	< 0,31	< 0,01	2,85	< 0,01
Trinkmilch	63	< 0,30	< 0,05	1,03	< 0,09
Buttermilch	9	< 0,22	< 0,03	0,42	0,1
Joghurt	16	< 0,13	< 0,06	0,71	< 0,13
Kefir	2	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Mischmilcherzeugnisse	2	< 0,19	< 0,10	0,20	0,10
Kondensmilch, gezuckert	1	< 0,10	-	0,40	-
Quark	6	< 0,16	< 0,07	0,54	0,16
Frischkäse	8	< 0,17	< 0,07	0,50	< 0,10
Käse	6	< 0,18	< 0,08	0,30	< 0,16
Importe					
Käse	129	< 0,60	< 0,01	0,85	< 0,04
Frischkäse	6	< 0,10	< 0,09	0,22	< 0,11
Lakenkäse	3	< 0,20	< 0,14	< 0,20	< 0,15
Schafskäse	15	< 0,20	< 0,05	0,50	< 0,07
Ziegenkäse	3	< 0,19	< 0,20	< 0,22	< 0,10

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

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Der vorliegende Beitrag enthält Messergebnisse der Messstellen der Bundesländer über Radionuklidkonzentrationen in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus den Bereichen der Binnengewässer und der Meere sowie in entsprechender importierter Ware, die im Rahmen des Routinemessprogramms (RMP) nach Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) erhalten wurden. Im marinen Bereich werden diese Messdaten durch Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFAFi) ergänzt. Die 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 **Cäsium-137**-Gehalte im Fisch im Wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis **Cäsium-134/Cäsium-137** im Fisch im Jahr 2000 ein Wert zwischen 0,0075 und 0,0055 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 2000 wurden im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG Messungen von γ -Strahlern (an 449 Proben) und **Strontium-90** (an 69 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 2000 zusammengefassten **Cs-137**-Gehalte durchgeführt.

Tabelle 1 zeigt für 2000 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 0,0054 (Süddeutschland) und 0,0045 (Norddeutschland). Bei Fischen aus süddeutschen Fischteichen und Fließgewässern wurde ein niedrigerer Cs-137-Median als z. B. in Norddeutschland beobachtet, was nicht zu erwarten war. Dies hat vermutlich mit der jeweiligen Auswahl der beprobten Gewässer, der relativ niedrigen Probenanzahlen und damit zu tun, dass im Falle der süddeutschen Region ein prozentual größerer Anteil der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Das bedeutet, dass die relative Unsicherheit dieser niedrigen Medianwerte schon beträchtlich ist. Im Falle der süddeutschen Binnenseen ist der vergleichsweise niedrige Cs-137-Medianwert von 1,7 Bq/kg darauf zurückzuführen, dass mehr als 50% der Werte im Bereich zwischen etwa 0,26 und 2,5 Bq/kg, der Rest der Werte jedoch zwischen 9 und 55 lagen.

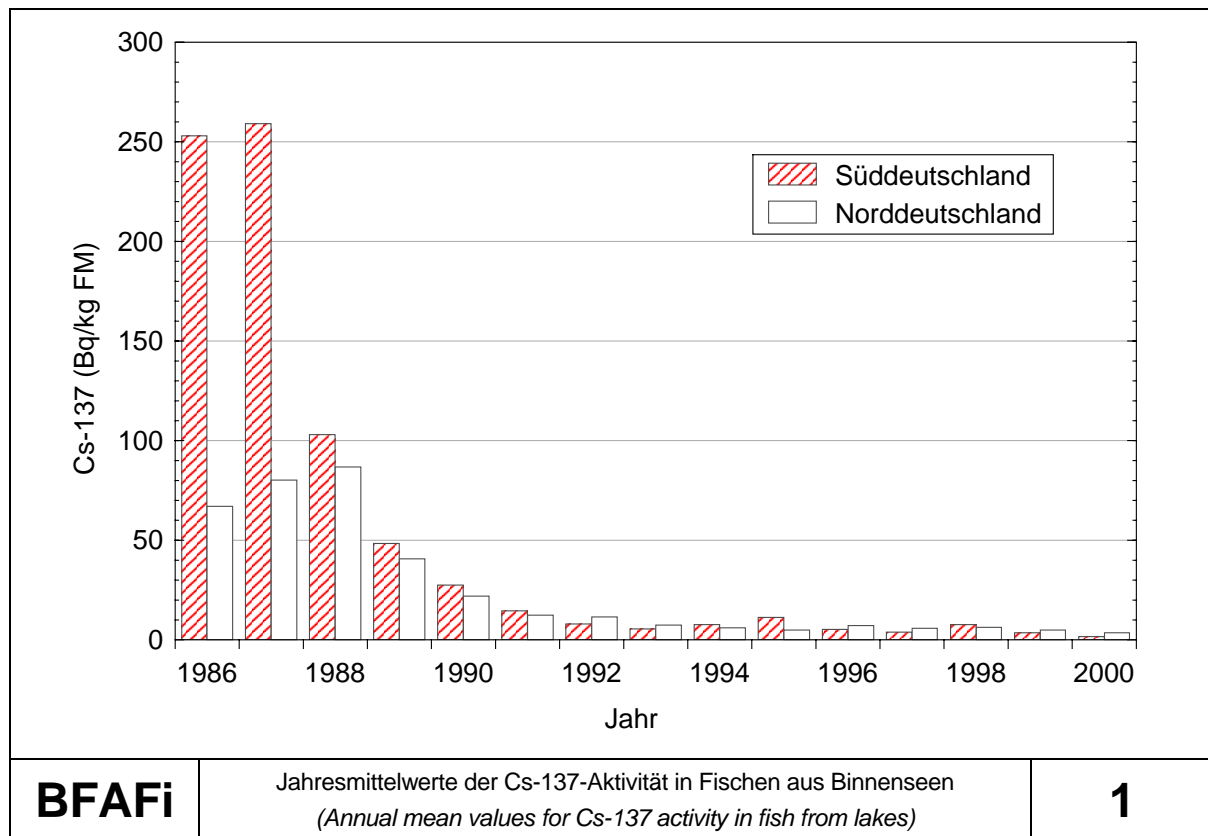
Im Vergleich zwischen Süd- und Norddeutschland zeigen die Abbildungen 1 bis 3 die zeitliche Entwicklung des mittleren Cs-137-Gehaltes in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen und aus Fließgewässern seit 1986. Die in Binnenseefischen ab 1988 beobachtete zeitliche Abnahme des Cs-137-Gehaltes setzte sich ab etwa 1993 praktisch nicht weiter fort. In den Fließgewässern setzte die Abnahme zumindest schon ab 1987 ein. Bis 2000 ist keine nennenswerte Abnahme gegenüber 1993 mehr festzustellen.

Die mittleren Cs-137-Gehalte der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren im Jahr 2000 in Süddeutschland etwa 10-fach niedriger als die aus Binnenseen. Für Norddeutschland betrug dieser Faktor nur noch etwa 3.

Tabelle 1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Süßwasserfischen (2000)
(Specific Cs-137 activity in freshwater fish - year 2000)

Messungen der Bundesländer (siehe Text für Einteilung der drei Regionen)
 (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Gewässer	Region	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Binnenseen	Süddeutschland	35	0	0,26	55	1,7
	Mitteldeutschland	1	0	0,76	0,76	0,76
	Norddeutschland	58	0	0,15	110	3,5
Fischteiche	Süddeutschland	29	16	<0,1	2,9	0,08
	Mitteldeutschland	22	6	<0,1	5,4	0,14
	Norddeutschland	13	0	0,20	6,9	0,90
Fließgewässer	Süddeutschland	13	7	0,082	5,7	0,10
	Mitteldeutschland	27	3	<0,11	4,3	0,30
	Norddeutschland	9	0	0,42	10	1,3
nicht spezifizierte Gewässer	Mitteldeutschland	16	10	<0,12	0,65	0,15



Bei Fischteichen Norddeutschlands wurden 1990 und 1991 höhere Cs-137-Mittelwerte als in Süddeutschland beobachtet (Abb. 2), was vermutlich darauf zurückzuführen war, dass auch aus Seen genommene Proben den Teichen zugeordnet wurden.

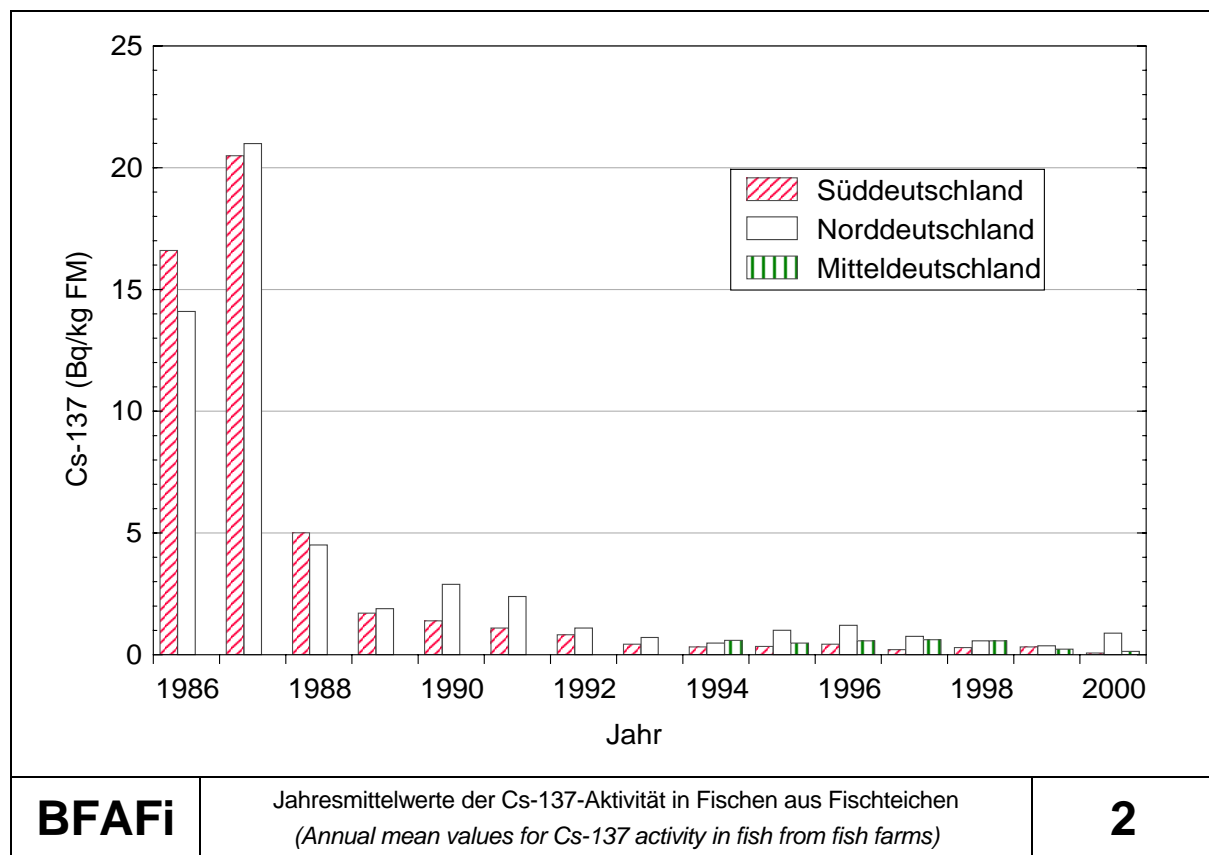
Die ab 1994 in genügender Anzahl vorliegenden Cs-137-Werte von Fischproben aus Fischteichen und Fließgewässern Mitteldeutschlands unterscheiden sich nicht von den in Abb. 2 und 3 dargestellten Verläufen Nord- und Süddeutschlands.

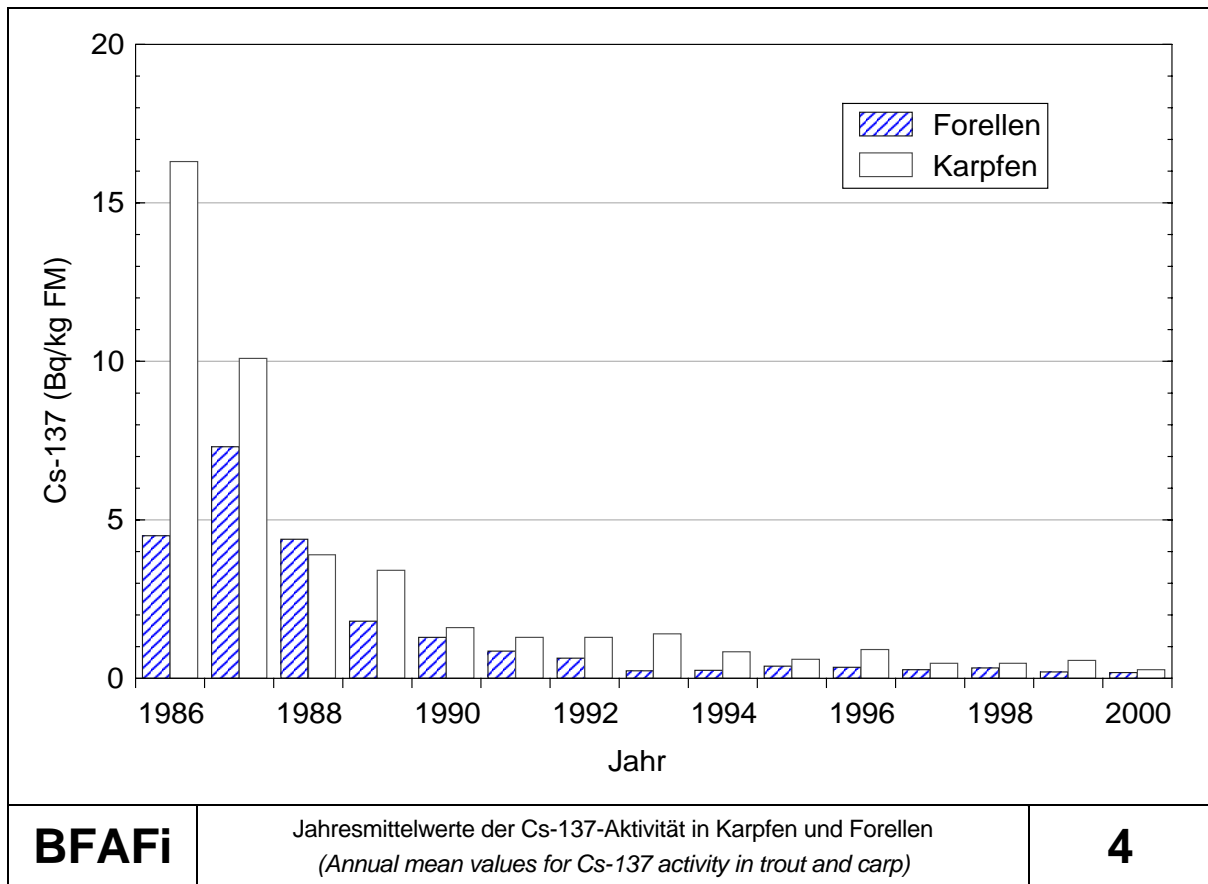
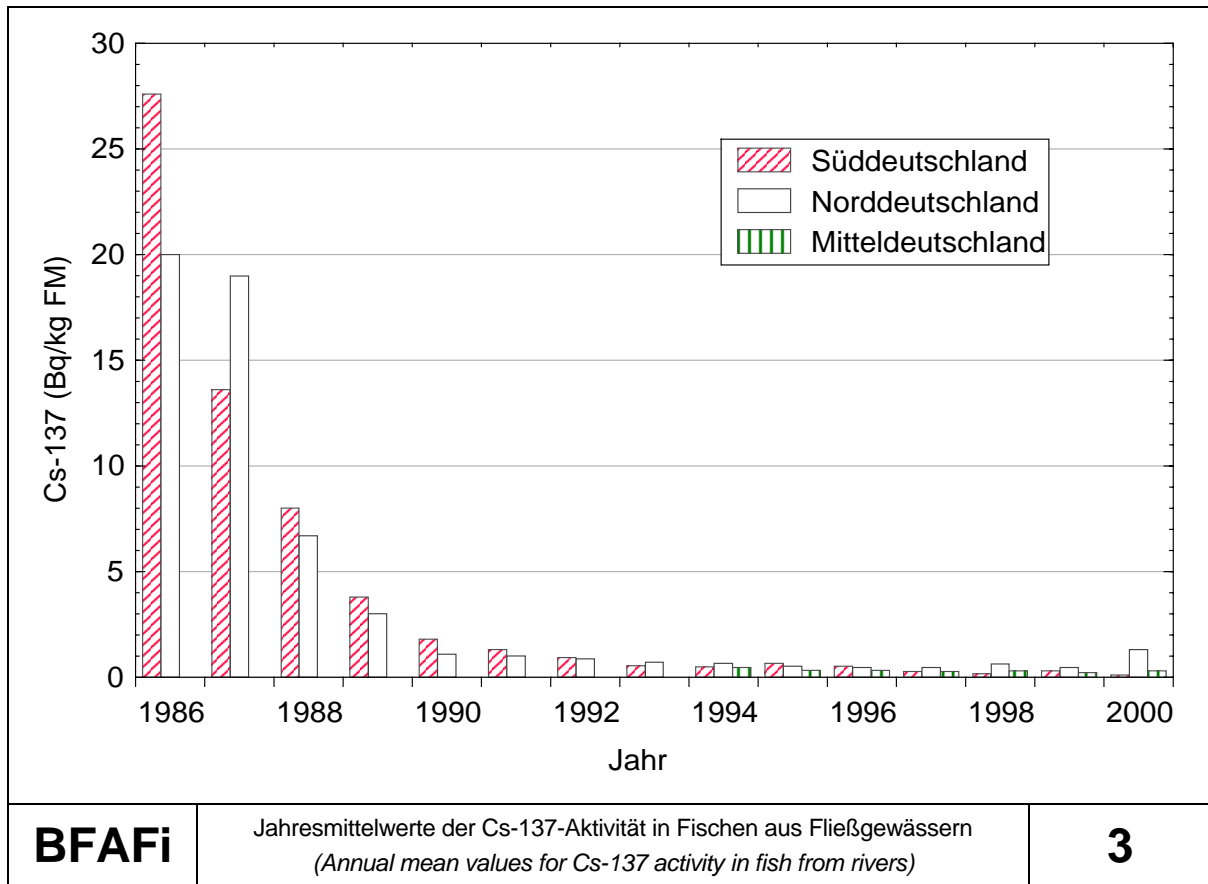
Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Gehalte (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Gehalte ergibt, dass wie in den Vorjahren (vgl. Abb. 4) auch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

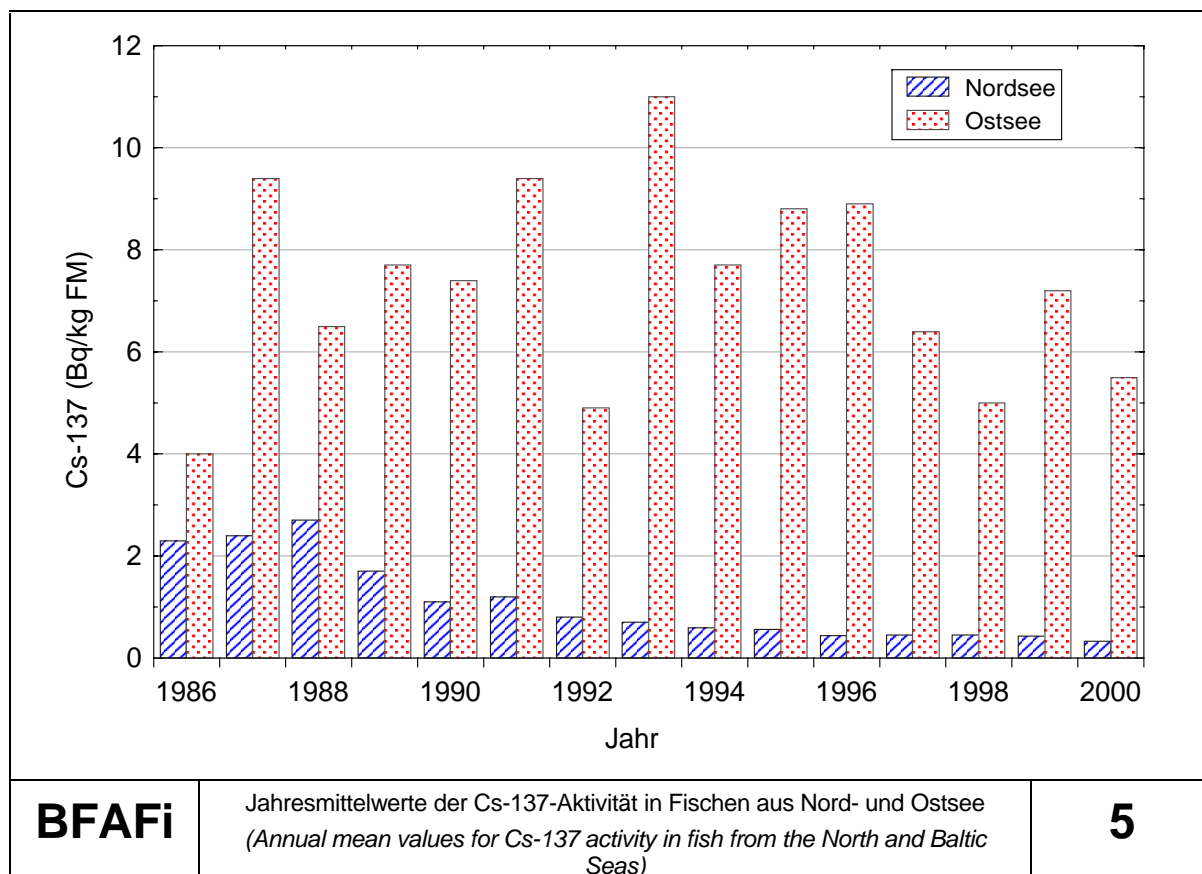
Tabelle 2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (2000)
(Specific Cs-137 activity in trout and carp - year 2000)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)
 (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Fisch	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität Bq/kg FM		
Forellen	43	19	<0,1	2,0	0,19
Karpfen	46	13	0,08	18	0,28







In Tabelle 3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätsgehalte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt, wobei hier die Messungen der Leitstelle einbezogen wurden. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 2000 die meisten Cs-137-Werte unter maximal 0,8 Bq/kg im Mittel bei etwa 0,33 Bq/kg (1999: 0,43 Bq/kg).

Während bei Nordseefisch ein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zum mittleren Cs-137-Gehalt schon seit Jahren nicht mehr festzustellen war, bestimmt er praktisch vollständig den Cs-137-Gehalt im Ostseefisch. Die im Jahresgang in Abb. 5 festzustellende Variation der Jahresmittelwerte ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass der Anteil der Fischproben mit höherem Cs-137-Gehalt aus der östlichen Ostsee (2000: maximal 15 Bq/kg) von Jahr zu Jahr variieren kann.

Tabelle 3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen und Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (2000)
(Specific Cs-137 activity in fish and crustaceans from the North and Baltic Seas - year 2000)

Messungen der Bundesländer und, im Falle von Fischen, auch der Leitstelle
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Gewässer	Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Nordsee	Fische	60	3	<0,11	0,76	0,33
	Garnelen	15	15	<0,1	<0,17	<0,13
	Miesmuscheln	19	18	<0,1	0,13	<0,13
Ostsee	Fische	37	0	0,12	15	5,5

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelenfleisch wiesen einen Cs-137-Gehalt von <0,13 Bq/kg (1999: <0,06 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln betrug er ebenfalls <0,13 Bq/kg (1999: <0,1 Bq/kg); vgl. Tab. 3.

Die im Jahr 2000 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 4) lagen bei 0,58 Bq/kg (1999: 0,37 Bq/kg), diejenigen für Seefisch sowie Krusten- und Schalentiere (Tab. 4) waren vergleichbar mit den entsprechenden für die Nordsee in Tab. 3 angegebenen Werten.

Tabelle 4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren (2000)

(Specific Cs-137 activity in samples of imported fish and crustaceans - year 2000)

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

Probenart	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Süßwasserfisch	24	4	<0,14	3,9	0,58
Seefisch	73	16	0,066	14	0,24
Krusten- u. Schalentiere	14	14	<0,1	<0,24	<0,12

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten **Sr-90**-Analysen sind in Tabelle 5 aufgeführt. Bei Fischen aus dem Süßwasserbereich zeigte sich, ähnlich wie bei Cs-137, dass der Sr-90-Gehalt bei Binnenseen etwa vier mal so groß war wie bei Fließgewässern und Fischeichen.

Tabelle 5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (2000)

(Specific Sr-90 activity in fish and crustaceans - year 2000)

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

Probenart	Gewässer	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Spez. Sr-90-Aktivität (Bq/kg FM)		
Fisch	Binnenseen	16	1	0,009	0,19	0,036
	Fischeiche	8	1	0,008	0,018	0,010
	Fließgewässer	13	6	<0,0058	0,18	0,0075
	Meere	6	3	0,009	0,057	0,009
Garnelen	Nordsee	13	7	<0,02	0,099	0,020
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	0,018	0,078	0,019

Routineprogramm der Leitstelle

Fischproben aus der Nordsee und der Ostsee wurden während zweier Fahrten mit dem FFS „Walther-Herwig-III“ im August/September sowie im Dezember genommen. Die Ergebnisse von der Dezemberfahrt standen bei Redaktionsschluss noch nicht zur Verfügung.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für **Fischproben aus der Nordsee** (August 2000), die nach Veraschung bisher nur γ -spektrometrisch, aber noch nicht auf **Strontium-90**, **Plutonium**-Isotope und **Americium-241** untersucht wurden. Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung zur Tabelle 3 eingegangen. Mittlere Cs-137-Gehalte lagen nach Tabelle 6, abhängig von der Fischart, zwischen 0,25 und 0,65 Bq/kg. Das mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnis war nicht mehr signifikant bestimmbar (<0,025) (1999: <0,014). In der Kabeljauleber wurden wie in den Vorjahren noch das langlebige Silberisotop **Silber-108m** sowie das auf den Einfluss der Wiederaufarbeitungsanlagen zurückzuführende **Kobalt-60** gefunden. Messwerte für Sr-90 und Isotope des Plutonium und Americium stehen noch aus.

Tabelle 6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee (2000)
(Radionuclide content in fish from the North Sea - year 2000)

Ergebnisse einer "Walther-Herwig-III"-Fahrt im August 2000; Probeentnahme zwischen 54° und 57° Nord, Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Hering, Filet	Cs-137	2	0	0,30	0,33	0,31
Kabeljau, Filet	Cs-137	3	0	0,44	0,76	0,65
Kabeljau, Leber	Co-60	3	2	0,011	<0,024	<0,022
	Ag-108m	3	0	0,011	0,017	0,013
	Cs-137	3	0	0,11	0,19	0,12
Makrele, Fleisch	Co-60	4	3	0,0064	<0,015	<0,012
	Cs-137	4	0	0,20	0,54	0,27
Scholle, Fleisch	Cs-137	1	0	0,25	0,25	0,25

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (10 Messungen, nn=9): <0,025

Fischproben aus der Ostsee, die im September 2000 von der Kieler Bucht im Westen bis südwestlich Bornholm im Osten entnommen wurden, konnten nach Veraschung der Proben bisher nur γ -spektrometrisch untersucht werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 über alle Stationen gemittelt zusammengefasst. Bestimmungen von Strontium-90 und der Plutonium-Isotope stehen noch aus.

Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung von Tabelle 3 eingegangen. Ähnlich wie in den Vorjahren war der Cs-137-Gehalt im Kabeljaufleisch in den weiter östlich gelegenen Gebieten der Ostsee (bis 15 Bq/kg) höher als in der Kieler Bucht (11 Bq/kg). Gegenüber den Vorjahren ist keine deutliche Veränderung festzustellen. Ursache für den Aktivitätsgradienten nach Westen war der südwestlich gerichtete Transport von durch den Tschernobyl-Unfall höher kontaminierten Wassermassen aus der Bottensee. Das mittlere Verhältnis Cs-134/Cs-137 in den Filetproben stimmte im September 2000 mit dem für den Tschernobyl-Fallout charakteristischen Wert von 0,00608 präzise überein. Das in der Dorschleber gefundene langlebige Silberisotop Silber-108m wies ähnliche, sehr niedrige Werte wie in den Vorjahren auf (Tabelle 7).

Die Ergebnisse für Nordsee-Garnelenproben aus dem Nordfriesischen Watt und der Elbemündung, die 2000 über das Jahr verteilt genommen wurden, sind in Tab. 8 dargestellt. Diese Proben wurden zur Analyse verascht. Die sehr niedrigen Messwerte liegen bereits unterhalb derjenigen Nachweisgrenzen, die i.a. bei Direktmessung von 1 kg frischem Rohmaterial sowie kürzeren Messzeiten bei den Messungen der Ländermessstellen (vgl. Tab. 3) erreicht werden. Cs-134 wurde in den Proben nicht nachgewiesen. Die Ergebnisse radiochemischer Analysen stehen noch aus.

Tabelle 7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee (2000)
(Radionuclide content in fish from the Baltic Sea - year 2000)

Ergebnisse einer "Walther-Herwig-III"-Fahrt im September 2000; Probeentnahme zwischen 10°30' und 14°20' Ost; Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Kabeljau, Filet	Cs-137	3	0	10	15	11
Kabeljau, Leber	Ag-108m	3	1	0,0033	0,0090	0,0033
	Cs-137	3	0	1,3	1,9	1,4
	Cs-134/Cs-137	3	0	0,0058	0,0081	0,0065
Flunder, Fleisch	Cs-137	1	0	9,6	9,6	9,6

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (4 Messungen, nn=0): 0,0061 ± 0,0002

Tabelle 8 Radionuklidgehalte von Garnelen der Nordsee (2000)
(Radionuclide content in shrimps from the North Sea - year 2000)

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

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Garnelenfleisch	Co-60	4	3	<0,01	<0,016	<0,012
	Cs-137	4	0	0,048	0,073	0,062

Literatur

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

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

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

Einzellebensmittel

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte **Cäsium-137** in Nahrungsmitteln führt auch in diesem Jahr zu Kontaminationen, die auf einem sehr niedrigen Niveau liegen. 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 8), Speisepilze (Tabelle 11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tabelle 12) und Blütenhonig (Tabelle 14). Für diese Umweltbereiche liegt die Aktivitätskonzentration des Cs-137 erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

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

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

**Tabelle 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	1999	37	< 0,11 (< 0,03 - 0,27)	9	0,24 (0,12 - 0,48)
	2000	36	< 0,17 (< 0,05 - 0,28)	8	0,11 (0,08 - 0,15)
Bayern	1999	44	< 0,16 (0,05 - 0,48)	5	0,22 (0,03 - 0,37)
	2000	43	< 0,18 (< 0,05 - 0,48)	5	0,21 (0,14 - 0,32)
Berlin	1999	2	< 0,07 (< 0,06 - < 0,08)	1	0,19
	2000	2	< 0,07 (0,02 - < 0,13)	1	0,12
Brandenburg	1999	17	< 0,12 (< 0,07 - 0,20)	1	0,43
	2000	16	< 0,12 (< 0,10 - 0,17)	1	0,41
Bremen	1999	3	< 0,06 (0,02 - 0,08)	1	0,13
	2000	3	< 0,07 (0,02 - < 0,13)	1	0,15
Hamburg	1999	2	< 0,16 (< 0,16 - < 0,17)	1	0,08
	2000	3	< 0,09 (< 0,05 - < 0,11)		
Hessen	1999	5	< 0,15 (< 0,13 - < 0,18)		
	2000	4	< 0,13 (< 0,12 - < 0,15)		
Mecklenburg-Vorpommern	1999	32	< 0,12 (< 0,06 - < 0,94)	2	0,28 (0,24 - 0,32)
	2000	32	< 0,12 (< 0,06 - < 0,18)	2	0,24 (0,18 - 0,29)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Niedersachsen	1999	41	< 0,12 (< 0,01 - 0,84)	4	0,24 (0,18 - 0,28)
	2000	40	< 0,14 (< 0,01 - 0,66)	4	0,17 (0,15 - 0,18)
Nordrhein-Westfalen	1999	27	< 0,14 (< 0,06 - < 0,25)	2	< 0,20 (< 0,20 - 0,21)
	2000	41	< 0,12 (< 0,04 - 0,33)	3	0,13 (0,10 - 0,17)
Rheinland-Pfalz	1999	26	< 0,10 (< 0,03 - < 0,25)	1	0,07
	2000	24	< 0,18 (< 0,08 - 0,43)		
Saarland	1999	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
	2000	3	< 0,23 (< 0,20 - 0,29)	1	0,02
Sachsen	1999	10	< 0,13 (< 0,11 - < 0,15)	3	0,04 (0,02 - 0,05)
	2000	10	< 0,11 (< 0,05 - < 0,15)	3	0,10 (0,02 - 0,16)
Sachsen-Anhalt	1999	14	< 0,13 (< 0,08 - 0,21)	4	0,19 (0,12 - 0,31)
	2000	14	< 0,13 (< 0,08 - 0,22)	4	0,16 (0,05 - 0,38)
Schleswig-Holstein	1999	33	< 0,12 (< 0,06 - 0,47)	4	0,14 (0,11 - 0,19)
	2000	31	< 0,10 (< 0,07 - 0,22)	4	0,24 (0,20 - 0,29)
Thüringen	1999	21	< 0,10 (< 0,06 - < 0,14)	1	0,04
	2000	22	< 0,13 (< 0,09 - < 0,20)	1	0,04
Bundesrepublik (gesamt)	1999	317	< 0,12 (< 0,12 - 0,94)	38	< 0,20 (0,02 - 0,48)
	2000	324	< 0,14 (< 0,01 - 0,66)	39	< 0,16 (0,02 - 0,41)

Tabelle 2 Weizen, Einfuhr
(Wheat, import)

Importe	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	1999	-	-
	2000	1	< 0,06
Frankreich	1999	4	< 0,16 (< 0,10-< 0,20)
	2000	2	< 0,20 (< 0,20-< 0,20)
Großbritannien	1999		
	2000	1	< 0,07
Russland	1999		
	2000	1	< 0,07
Tschechische Republik	1999		
	2000	1	0,10
Türkei	1999	4	< 0,07 (< 0,04-< 0,10)
	2000	2	< 0,12 (0,10-< 0,14)
USA	1999	1	< 0,04
	2000	1	< 0,11

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM			Sr-90 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)		N	Mittelwert (Bereich)	
Gerste	1999	123	< 0,14	(< 0,02 - 0,98)	11	0,20	(0,07 - 0,33)
	2000	109	< 0,17	(< 0,03 - 1,02)	11	0,22	(0,15 - 0,29)
Hafer	1999	24	< 0,42	(< 0,05 - 2,40)	2	0,35	(0,24 - 0,46)
	2000	22	< 1,05	(< 0,10 - 8,28)	1	0,37	
Mais	1999	3	< 0,10	(< 0,03 - < 0,14)			
	2000	6	< 0,17	(< 0,10 - < 0,32)			
Reis	1999	27	< 0,19	(< 0,07 - 1,41)			
	2000	18	< 0,12	(< 0,03 - < 0,30)			
Roggen	1999	169	< 0,19	(< 0,02 - 2,05)	14	0,25	(0,09 - 0,56)
	2000	181	< 0,19	(< 0,04 - 2,04)	17	0,18	(0,07 - 0,39)
Sonstige	2000	14	< 0,36	(< (0,08 - 2,83*))			

* Buchweizenkörner, Import Russland, Mittelwert (Bereich) ohne diese Einzelprobe (2,83): < 0,17 (< 0,08 - < 0,34)

Tabelle 4 Kalbfleisch, Inland
(*Veal, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Baden-Württemberg	1999	7	< 1,12	(< 0,20 - 4,90)
	2000	7	< 2,58	(< 0,20 - 10,90)
Bayern	1999	6	< 0,40	(< 0,20 - 0,70)
	2000	8	< 0,56	(< 0,15 - 1,10)
Berlin	1999	4	0,66	(0,33 - 1,50)
	2000	3	0,18	(0,17 - 0,20)
Brandenburg	1999	3	8,87	(0,40 - 25,00)
	2000	3	3,47	(0,10 - 10,00)
Bremen	1999	2	0,24	(0,17 - 0,32)
	2000	2	0,79	(0,24 - 1,33)
Hamburg	1999	3	< 0,31	(< 0,11 - 0,69)
	2000	4	< 0,57	(0,25 - 0,90)
Hessen	1999	1	< 0,08	
	2000	2	< 0,07	(< 0,07 - < 0,08)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	4	< 2,11	(0,17 - 6,56)
	2000	10	1,78	(0,27 - 4,20)
Niedersachsen	1999	21	< 0,97	(< 0,12 - 3,99)
	2000	23	< 2,09	(< 0,17 - 21,00)
Nordrhein-Westfalen	1999	23	< 0,60	(< 0,10 - 1,25)
	2000	21	< 0,50	(< 0,08 - 1,05)
Rheinland-Pfalz	1999	1	0,10	
	2000	2	< 0,32	(< 0,23 - 0,41)
Saarland	1999	8	< 0,25	(< 0,20 - 0,48)
	2000	8	< 0,30	(< 0,20 - 0,57)

Fortsetzung Tabelle 4

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen	1999	5	< 0,36 (< 0,10 - 0,65)
	2000	5	< 0,70 (< 0,11 - 2,16)
Sachsen-Anhalt	1999	3	0,75 (0,42 - 1,40)
	2000	3	0,62 (0,39 - 0,86)
Schleswig-Holstein	1999	3	< 0,44 (< 0,15 - 0,81)
	2000	2	0,69 (0,28 - 1,09)
Thüringen	1999	1	< 0,12
	2000	2	< 0,15 (< 0,11 - 0,19)
Bundesrepublik (gesamt)	1999	95	< 0,96 (< 0,08 - 25,00)
	2000	105	< 1,18 (< 0,07 - 21,00)

Tabelle 5 Rindfleisch, Inland
(*Beef, domestic production*)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1999	37	< 0,76 (< 0,10 - 9,00)
	2000	33	< 0,27 (< 0,10 - 1,79)
Bayern	1999	52	< 0,64 (< 0,10 - 6,00)
	2000	67	< 0,53 (< 0,10 - 4,49)
Berlin	1999	6	1,34 (0,27 - 2,10)
	2000	6	< 0,33 (< 0,07 - 0,61)
Brandenburg	1999	31	< 4,57 (< 0,10 - 17,00)
	2000	32	< 2,19 (0,09 - 9,50)
Bremen	1999	8	< 1,88 (< 0,08 - 4,59)
	2000	7	< 1,65 (0,01 - 4,64)
Hamburg	1999	9	< 0,16 (< 0,08 - 0,30)
	2000	10	< 1,25 (< 0,07 - 9,65)
Hessen	1999	9	< 0,20 (< 0,07 - 0,77)
	2000	7	< 0,36 (< 0,03 - 1,95)
Mecklenburg-Vorpommern	1999	33	< 2,18 (< 0,06 - 12,40)
	2000	30	< 1,56 (< 0,04 - 9,52)
Niedersachsen	1999	54	< 1,05 (< 0,02 - 11,20)
	2000	54	< 1,46 (0,08 - 12,50)
Nordrhein-Westfalen	1999	38	< 0,31 (< 0,06 - 2,49)
	2000	42	< 0,26 (< 0,06 - 0,76)
Rheinland-Pfalz	1999	10	< 0,19 (< 0,09 - 0,47)
	2000	11	< 0,21 (< 0,10 - 0,53)
Saarland	1999	14	< 0,20 (< 0,20 - 0,20)
	2000	14	< 0,20 (< 0,20 - 0,22)
Sachsen	1999	30	< 0,33 (< 0,09 - 2,19)
	2000	30	< 0,58 (< 0,09 - 6,19)

Fortsetzung Tabelle 5

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt	1999	24	< 1,05 (< 0,06 - 9,30)
	2000	24	< 1,26 (< 0,08 - 7,76)
Schleswig-Holstein	1999	27	< 0,42 (< 0,08 - 1,90)
	2000	28	< 0,70 (< 0,10 - 7,25)
Thüringen	1999	23	< 0,13 (< 0,08 - 0,36)
	2000	22	< 0,13 (< 0,11 - 0,31)
Bundesrepublik (gesamt)	1999	405	< 1,05 (< 0,02 - 17,00)
	2000	416	< 0,85 (< 0,01 - 12,50)

Tabelle 6 Schweinefleisch, Inland
(Pork, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1999	18	< 0,26 (< 0,10 - 0,52)
	2000	19	< 0,19 (< 0,10 - < 0,26)
Bayern	1999	28	< 0,27 (< 0,10 - 1,55)
	2000	35	< 0,27 (< 0,10 - 1,09)
Berlin	1999	6	0,50 (0,10 - 0,77)
	2000	6	0,36 (0,22 - 0,49)
Brandenburg	1999	24	< 0,43 (< 0,07 - 2,20)
	2000	27	< 0,36 (< 0,06 - 2,80)
Bremen	1999	6	0,12 (0,07 - 0,20)
	2000	6	0,15 (0,11 - 0,18)
Hamburg	1999	10	< 0,21 (< 0,08 - 1,16)
	2000	10	< 0,16 (< 0,07 - < 0,41)
Hessen	1999	9	< 0,09 (< 0,06 - 0,13)
	2000	7	< 0,10 (< 0,07 - < 0,19)
Mecklenburg - Vorpommern	1999	30	< 0,30 (< 0,06 - 1,10)
	2000	26	< 0,34 (< 0,08 - 1,15)
Niedersachsen	1999	93	< 0,19 (< 0,01 - 1,27)
	2000	95	< 0,25 (< 0,07 - 1,43)
Nordrhein-Westfalen	1999	73	< 0,17 (< 0,05 - 0,46)
	2000	65	< 0,18 (< 0,07 - 1,00)
Rheinland-Pfalz	1999	9	< 0,18 (< 0,09 - 0,25)
	2000	9	< 0,24 (0,09 - 0,54)
Saarland	1999	8	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)
	2000	9	< 0,22 (< 0,20 - 0,39)
Sachsen	1999	23	< 0,31 (< 0,10 - 1,18)
	2000	23	< 0,23 (0,09 - 0,80)
Sachsen-Anhalt	1999	36	< 0,18 (< 0,08 - 0,80)
	2000	37	< 0,22 (< 0,08 - 0,61)
Schleswig-Holstein	1999	19	< 0,20 (< 0,10 - 0,94)
	2000	19	< 0,17 (< 0,09 - 0,38)
Thüringen	1999	23	< 0,14 (< 0,08 - 0,38)
	2000	21	< 0,23 (< 0,10 - 1,39)
Bundesrepublik (gesamt)	1999	415	< 0,22 (< 0,01 - 2,20)
	2000	414	< 0,24 (< 0,06 - 2,80)

Tabelle 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	1999	21	< 0,42 (< 0,08 - 3,70)
	2000	24	< 1,47 (< 0,07-14,20)
Ente	1999	31	< 0,17 (< 0,07-0,59)
	2000	17	< 0,15 (< 0,06-0,32)
Gans	1999	44	< 0,13 (< 0,05-0,20)
	2000	26	< 0,15 (< 0,06-0,40)
Pute	1999	63	< 0,10 (< 0,01- 0,30)
	2000	52	< 0,14 (< 0,08-< 0,33)
Huhn/Hähnchen	1999	154	< 0,16 (< 0,02-1,00)
	2000	139	< 0,17 (< 0,02-1,15)
Hühnereier	1999	20	< 0,15 (< 0,09-< 0,20)
	2000	22	< 0,14 (< 0,08-< 0,20)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Damwild	1999	9	24,22 (12,30 - 45,0)
	2000	10	< 19,74 (< 0,11 - 51,0)
Hirsch	1999	23	16,09 (0,47 - 42,8)
	2000	34	< 26,08 (< 0,06 - 222)
Känguruh	1999	1	< 0,11
	2000		
Reh	1999	180	< 33,21 (< 0,09 - 282)
	2000	171	< 57,08 (< 0,17 - 874)
Wild, Kaninchen	1999	6	< 0,20 (< 0,13 - < 0,27)
	2000	10	< 0,83 (< 0,15 - 6,64)
Wild, Hase	1999	1	17,40
	2000	1	< 0,12
Wildschwein	1999	89	< 208,12 (< 0,11 - 1660)
	2000	103	< 131,82 (< 0,05 - 1480)

Tabelle 9 Kartoffeln, Inland
(Potatoes, domestic production)

Bundesland	Jahr	Cs-137 Bq/kg Feuchtmasse		Sr-90 Bq/kg Feuchtmasse	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1999	13	< 0,16 (< 0,09 - < 0,22)	1	0,05
	2000	11	< 0,27 (< 0,05 - 1,34)	1	0,03
Bayern	1999	36	< 0,18 (< 0,06 - 0,66)	3	0,10 (0,05 - 0,21)
	2000	35	< 0,21 (0,08 - 0,80)	3	0,07 (0,04 - 0,13)
Berlin	1999	4	< 0,06 (< 0,02 - < 0,08)	1	0,02
	2000	3	< 0,11 (< 0,04 - 0,20)	1	0,04
Brandenburg	1999	14	< 0,12 (< 0,05 - 0,30)	1	0,03
	2000	12	< 0,17 (< 0,07 - 0,77)	1	0,02
Bremen	1999	4	< 0,04 (< 0,02 - 0,07)		
	2000	2	0,10 (0,09 - 0,11)		
Hamburg	1999	4	< 0,16 (< 0,12 - < 0,21)		
	2000	2	< 0,14 (< 0,12 - 0,16)		
Hessen	1999	4	< 0,14 (< 0,14 - < 0,15)		
	2000	1	< 0,09		
Mecklenburg-Vorpommern	1999	15	< 0,07 (< 0,03 - 0,10)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
	2000	13	< 0,09 (< 0,04 - 0,16)	1	0,02
Niedersachsen	1999	82	< 0,14 (< 0,01 - 1,40)	3	< 0,02 (< 0,02 - 0,02)
	2000	73	< 0,15 (< 0,06 - 0,48)	4	< 0,02 (< 0,01 - 0,02)
Nordrhein-Westfalen	1999	29	< 0,16 (< 0,07 - 0,48)	5	0,05 (0,02 - 0,18)
	2000	20	< 0,17 (< 0,05 - 0,35)	5	0,09 (0,04 - 0,19)
Rheinland-Pfalz	1999	8	< 0,13 (< 0,03 - < 0,30)	2	0,04 (0,03 - 0,04)
	2000	6	< 0,12 (< 0,03 - < 0,29)	2	0,04 (0,03 - 0,05)
Saarland	1999	4	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
	2000	3	< 0,20 (< 0,20 - < 0,20)		
Sachsen	1999	12	< 0,13 (< 0,10 - < 0,16)	1	< 0,02
	2000	10	< 0,11 (< 0,05 - < 0,14)	1	0,03
Sachsen-Anhalt	1999	11	< 0,11 (< 0,06 - 0,21)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
	2000	10	< 0,15 (< 0,07 - 0,51)	2	0,05 (0,04 - 0,05)
Schleswig-Holstein	1999	8	< 0,11 (< 0,07 - < 0,14)	1	0,04
	2000	6	< 0,14 (< 0,09 - 0,21)	1	0,08
Thüringen	1999	8	< 0,10 (< 0,06 - < 0,12)	1	0,01
	2000	6	< 0,12 (< 0,11 - < 0,14)	1	0,02
Bundesrepublik (gesamt)	1999	256	< 0,14 (< 0,01 - 1,40)	23	< 0,04 (0,01 - 0,21)
	2000	213	< 0,16 (< 0,03 - 1,34)	23	< 0,05 (< 0,01 - 0,19)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	1999	727	< 0,17 (< 0,01 - 2,90)	83	0,21 (0,01 - 1,20)
	2000	713	< 0,16 (< 0,01 - 1,70)	86	< 0,18 (< 0,01 - 0,77)
Fruchtgemüse	1999	231	< 0,13 (< 0,01 - 0,66)	13	0,13 (0,02 - 0,32)
	2000	241	< 0,14 (< 0,01 - 0,83)	14	0,09 (0,03 - 0,22)
Sprossgemüse	1999	272	< 0,14 (< 0,01 - 1,80)	18	0,18 (0,02 - 0,75)
	2000	244	< 0,14 (< 0,02 - 1,50)	14	< 0,08 (< 0,01 - 0,37)
Wurzelgemüse	1999	201	< 0,14 (< 0,01 - 0,97)	16	< 0,17 (< 0,02 - 0,78)
	2000	206	< 0,15 (< 0,01 - 0,78)	16	< 0,12 (< 0,01 - 0,25)
Hülsenfrüchte	1999	6	< 0,12 (< 0,03 - < 0,20)		
	2000	1	0,43		
Kräuter	1999	5	< 1,10 (< 0,15 - 2,74)		
	2000	7	< 1,50 (< 0,17 - < 3,24)		

Tabelle11 Speisepilze, Inland und Einfuhr
(Mushrooms, domestic production and import)

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		
		N	Mittelwert (Bereich)	
Kulturpilze	1999	17	< 0,30	(< 0,02 - 2,06)
	2000	27	< 0,33	(< 0,03 - 1,61)
<u>Waldröhrenpilze</u>				
Maronenröhrling	1999	29	218,7	(33,10 - 1040)
	2000	56	200,1	(2,39 - 616)
Steinpilz	1999	33	62,16	(6,07 - 208)
	2000	43	63,90	(3,00 - 265)
sonstige Waldröhrenpilze	1999	33	60,02	(0,53 - 810)
	2000	36	100,4	(1,63 - 552)
<u>sonstige Waldpilze</u>				
Keulen- und Korallenpilze	1999	4	6,91	(4,50 - 13,4)
	2000	2	101,2	(12,30 - 190,0)
Pfifferling	1999	161	107,0	(1,62 - 1990)
	2000	78	49,37	(0,38 - 473)
Riesenbovist	1999	1	0,75	
	2000	2	0,47	(0,43 - 0,50)
Wildblätterpilze	1999	42	< 18,22	(< 0,11 - 226)
	2000	51	< 80,36	(0,13 - 2200)
Wildschlauchpilze	1999	1	3,89	
	2000	1	< 0,49	
Wildstachelpilze	1999	6	118,7	(35,20 - 265)
	2000	2	405,5	(285 - 526)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Erdbeeren und sonstige	1999	124	< 0,12 (< 0,01 - 0,40)	8	0,09 (0,03 - 0,42)
	2000	92	< 0,13 (< 0,01 - 0,28)	7	0,05 (0,01 - 0,09)
Exotische Früchte	1999	18	< 0,10 (< 0,02 - 0,20)		
	2000	14	< 0,14 (< 0,02 - 0,29)		
Kernobst	1999	219	< 0,13 (< 0,004 - 0,40)	18	< 0,02 (< 0,01 - 0,03)
	2000	222	< 0,14 (< 0,01 - 0,28)	18	< 0,03 (0,01 - 0,06)
Rhabarber	1999	30	< 0,13 (< 0,06 - 0,21)	2	< 0,25 (< 0,02 - 0,49)
	2000	25	< 0,15 (< 0,02 - < 0,20)	3	0,12 (0,05 - 0,21)
Steinobst	1999	126	< 0,12 (< 0,01 - < 0,29)	10	< 0,07 (< 0,02 - 0,17)
	2000	111	< 0,13 (0,02 - 0,50)	9	0,06 (0,03 - 0,13)
Strauchbeeren	1999	29	< 0,13 (< 0,01 - < 0,29)	3	0,06 (0,05 - 0,07)
	2000	44	< 0,12 (0,01 - 0,26)	4	0,11 (0,07 - 0,20)
Wildbeeren	1999	22	< 61,87 (< 0,10 - 481)		
	2000	17	< 60,82 (< 0,20 - 450)	1	1,28
Zitrusfrüchte	1999	18	< 0,09 (< 0,01 - 0,34)		
	2000	20	< 0,12 (< 0,01 - < 0,20)	2	0,03 (0,02 - 0,05)

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Fruchtsäfte	1999	2	< 0,07 (< 0,02 - < 0,11)
	2000	10	< 0,20 (< 0,10 - 0,29)
Zitrusfruchtsäfte	1999	1	< 0,02
	2000	1	< 0,10

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

Produkt	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	1999	20	< 3,28 (< 0,02 - 49,60)
	2000	31	< 1,71 (< 0,10 - 35,30)
Blütenhonig	1999	32	< 81,16 (< 0,02 - 599,0)
	2000	20	< 63,08 (0,08 - 458)
Honigtauhonig u. Mischung	1999	1	0,60
	2000	-	-
Waldbonig	1999	1	42,00
	2000	2	< 16,35 (< 0,20 - 32,50)
Kaffee	1999	5	< 0,38 (< 0,07 - 1,10)
	2000	5	< 0,35 (< 0,20 - 0,70)
Tee, schwarz	1999	21	9,96 (< 0,40 - 81,30)
	2000	28	< 3,58 (< 0,23 - 59,70)
Teeähnliche Erzeugnisse	1999	10	< 1,25 (< 0,08 - 4,92)
	2000	6	< 14,11 (< 0,14 - 81,60)
Ölsamen	1999	6	< 0,14 (< 0,06 - < 0,23)
	2000	3	< 0,17 (< 0,14 - 0,22)
Schalenobst	1999	27	< 1,01 (< 0,09 - 5,92)
	2000	23	< 0,53 (< 0,06 - 3,42)

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

Jahr	Strontium-90 (Bq/kg FM)			Cäsium-137 (Bq/kg FM)					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	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 *

* Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche **Cäsium-137**-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 2000 mit 0,27 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 0,12 Bq/(d·p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

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

Sr-90 : 44 Bq/(a·p)

Cs-137 : 97 Bq/(a·p)

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

Monat	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	1999	87	< 0,26 (< 0,04 - 1,40)	16	< 0,13 (< 0,01 - 0,26)
	2000	94	< 0,22 (< 0,05 - 2,80)	22	< 0,12 (0,002 - 0,42)
Februar	1999	84	< 0,21 (< 0,04 - 0,67)	13	< 0,14 (0,03 - 0,33)
	2000	83	< 0,34 (< 0,06 - 5,79)	18	< 0,13 (0,01 - 0,47)
März	1999	101	< 0,33 (< 0,02 - 8,00)	18	< 0,10 (< 0,01 - 0,23)
	2000	93	< 0,22 (< 0,05 - 1,86)	17	0,11 (0,01 - 0,23)
April	1999	88	< 0,23 (< 0,04 - 1,89)	12	< 0,11 (< 0,01 - 0,27)
	2000	87	< 0,25 (< 0,04 - 1,60)	19	< 0,09 (< 0,04 - 0,20)
Mai	1999	84	< 0,19 (< 0,01 - 0,73)	19	< 0,13 (0,02 - 0,59)
	2000	92	< 0,22 (< 0,05 - 1,04)	18	< 0,13 (< 0,003 - 0,63)
Juni	1999	86	< 0,23 (< 0,05 - 2,70)	18	0,10 (0,02 - 0,24)
	2000	82	< 0,19 (< 0,05 - 1,87)	18	< 0,12 (0,03 - 0,26)
Juli	1999	88	< 0,36 (< 0,07 - 10,0)	16	< 0,11 (0,01 - 0,22)
	2000	89	< 0,62 (0,04 - 36,0)	22	< 0,11 (0,03 - 0,29)
August	1999	99	< 0,21 (< 0,06 - 1,12)	21	0,10 (0,002 - 0,26)
	2000	98	< 0,22 (0,05 - 1,70)	18	0,12 (0,01 - 0,31)
September	1999	90	< 0,62 (< 0,01 - 34,1)	13	0,12 (0,04 - 0,25)
	2000	85	< 0,20 (0,04 - 0,50)	18	< 0,14 (< 0,04 - 0,41)
Oktober	1999	87	< 0,24 (< 0,03 - 1,08)	17	0,16 (0,02 - 0,48)
	2000	96	< 0,32 (0,05 - 8,15)	18	0,10 (0,01 - 0,20)
November	1999	94	< 0,23 (< 0,05 - 1,56)	19	< 0,11 (0,01 - 0,31)
	2000	90	< 0,23 (0,04 - 1,88)	16	0,11 (0,02 - 0,21)
Dezember	1999	85	< 0,24 (< 0,05 - 1,98)	16	0,12 (0,06 - 0,22)
	2000	79	< 0,25 (< 0,05 - 1,56)	14	0,13 (0,08 - 0,22)
Jahr (gesamt)	1999	1037	< 0,28 (< 0,01 - 34,1)	198	< 0,12 (< 0,002 - 0,59)
	2000	1068	< 0,27 (< 0,04 - 36,0)	218	< 0,12 (0,002 - 0,63)

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

Monat	Jahr	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	1999	27	< 0,21 (< 0,03 - 1,14)	9	0,08 (0,02 - 0,36)
	2000	31	< 0,18 (< 0,02 - 1,14)	10	0,05 (0,03 - 0,17)
Februar	1999	31	< 0,12 (< 0,01 - 0,32)	4	0,04 (0,01 - 0,06)
	2000	33	< 0,23 (< 0,05 - 1,46)	5	0,08 (0,03 - 0,17)
März	1999	26	< 0,18 (< 0,01 - 0,99)	2	0,05 (0,04 - 0,05)
	2000	25	< 0,17 (< 0,05 - 0,80)	4	0,04 (0,01 - 0,07)
April	1999	30	< 0,29 (< 0,03 - 2,70)	3	< 0,04 (< 0,02 - 0,06)
	2000	28	< 0,26 (< 0,04 - 2,70)	7	< 0,05 (0,01 - 0,17)
Mai	1999	31	< 0,19 (< 0,01 - 1,40)	1	0,09
	2000	27	< 0,30 (0,02 - 3,20)	5	0,09 (0,02 - 0,20)
Juni	1999	22	< 0,25 (< 0,01 - 2,45)	3	0,04 (0,01 - 0,07)
	2000	25	< 0,14 (0,05 - 0,40)	5	0,03 (0,004 - 0,04)
Juli	1999	27	< 0,13 (< 0,04 - 0,61)	12	< 0,10 (< 0,02 - 0,37)
	2000	29	< 0,16 (0,03 - 1,19)	10	0,08 (0,02 - 0,38)
August	1999	30	< 0,52 (< 0,04 - 5,32)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
	2000	27	< 0,24 (< 0,04 - 1,89)	3	0,03 (0,01 - 0,06)
September	1999	18	< 0,10 (< 0,02 - 0,26)	4	0,10 (0,03 - 0,25)
	2000	26	< 0,19 (< 0,06 - 0,79)	3	0,08 (0,04 - 0,11)
Oktober	1999	25	< 0,31 (< 0,03 - 2,19)	5	0,04 (0,02 - 0,09)
	2000	19	< 0,18 (0,04 - 1,50)	4	0,03 (0,03 - 0,04)
November	1999	31	< 0,32 (< 0,01 - 2,68)	3	0,03 (0,01 - 0,04)
	2000	24	< 0,22 (< 0,05 - 1,76)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
Dezember	1999	23	< 0,28 (< 0,05 - 1,70)	3	0,04 (0,02 - 0,06)
	2000	25	< 0,33 (< 0,03 - 2,70)	2	0,03 (0,02 - 0,05)
Jahr (gesamt)	1999	322	< 0,25 (< 0,01 - 5,32)	51	< 0,07 (< 0,01 - 0,37)
	2000	319	< 0,22 (0,02 - 3,20)	60	< 0,06 (0,004 - 0,38)

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

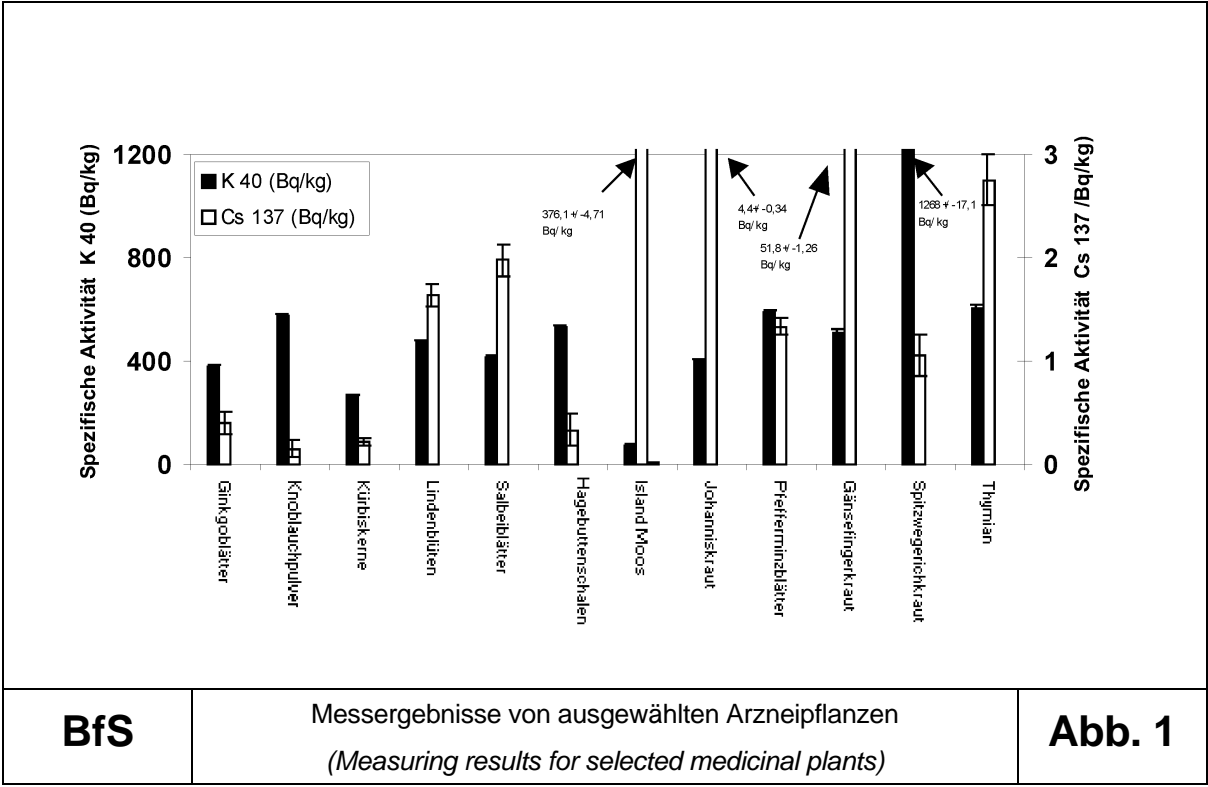
Die Funktion einer Leitstelle gemäß § 11 StrVG zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Tabakerzeugnissen, Bedarfsgegenständen sowie Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffe wird vom Institut für Strahlenhygiene (ISH) des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erfüllt. Einige Arzneimittelpflanzen stellen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

Für die Bereiche Tabakerzeugnisse und Arzneimittelpflanzen sind im Messprogramm für den Normalbetrieb Messungen zu Vergleichszwecken vorgeschrieben. Dies gilt ebenso für die Bedarfsgegenstände und Ausgangsstoffe von Arzneimitteln. Zur Sicherung der fachlichen Kompetenz und zur Gewinnung von Referenzwerten wurden von der Leitstelle in Eigenregie Messungen der γ -Aktivität durchgeführt.

Die im Rahmen der Überwachung untersuchten Ausgangsstoffe für Arzneimittel pflanzlicher Herkunft stammten aus verschiedenen, meistens europäischen Ländern. In allen γ -spektrometrisch untersuchten Pflanzenproben wurden außer **Cäsium-137** keine weiteren künstlichen Nuklide nachgewiesen. Die spezifische Aktivität liegt im Bereich des Vorjahres. Schwankungen sind auf die verschiedene Sortenauswahl und die unterschiedlichen Herkunftsregionen zurückzuführen.

Im Bereich der Arzneimittelpflanzen weisen die untersuchten Sorten je nach Bodentyp und Region unterschiedliche Gehalte von Cs-137 auf. Produkte von Wald- und Heidestandorten ergeben auf Grund des Bodentyps generell höhere Cäsiumaktivitäten als pflanzliche Produkte aus landwirtschaftlichem Anbau. So wurde in Island Moos, einem ausgewiesenen Akkumulator von Cs-137, aus Ungarn aus dem Erntejahr 2000 376 Bq/kg (TM) Cs-137 gemessen. In polnischem Gänsefingerkraut bzw. bulgarischem Johanniskraut der 2000er Ernte wurden 52 bzw. 4 Bq/kg TM Cs-137 nachgewiesen. Die Cs-37-Gehalte der übrigen untersuchten Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe lagen z. T. deutlich unter 3 Bq/kg TM.

Der Gehalt des natürlich vorkommenden Radionuklids **Kalium-40** wurde auch in Arzneimittelpflanzen gemessen. Die spezifische Aktivität schwankte von minimal 72 Bq/kg TM K-40 bei polnischem Island Moos und 268 Bq/kg TM K-40 bei geschälten österreichischen Kürbiskernen bis maximal 1131 Bq/kg TM K-40 bei bulgarischen Brennnesselblättern und 1268 Bq/kg TM K-40 bei polnischen Spitzwegerichkraut. Der K-40-Gehalt der meisten untersuchten Proben bewegte sich zwischen 400 und 600 Bq/kg TM.



BfS

Messergebnisse von ausgewählten Arzneipflanzen
(Measuring results for selected medicinal plants)

Abb. 1

3.5 Abwasser und Klärschlamm (Waste water and sludge)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Dem Bericht für das Jahr 2000 liegen die Messergebnisse aus 90 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Probenentnahmen der amtlichen Messstellen der Länder zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt entsprechend dem Routinemessprogramm erfolgten zum größten Teil an den gleichen Stellen wie im Vorjahr.

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

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

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm variieren in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 2000 lagen im üblichen Bereich, z.B. im Klärschlamm für K-40 bis 770 Bq/kg TM (Vorjahr bis 680 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 150 bzw. 130 Bq/kg TM (Vorjahr 160 bzw. 150 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: 41 Bq/kg TM; Maximalwert: 970 Bq/kg TM, Vorjahr 31 bzw. 2200 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige **Technetium-99m**. In zwei Kläranlagen wurden im Schlamm Spuren von Co-60 festgestellt. Plutoniumisotope konnten von den Messstellen nicht nachgewiesen werden.

Von den infolge des Kernkraftwerkunfalls 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 Kernkraftwerkunfall in Tschernobyl z.T. noch immer erhöhten Cs-137-Kontaminationen der Klärschlämme dürften vorwiegend auf mit dem Niederschlagswasser in die Kläranlagen eingeschwemmte kontaminierte Bodenpartikel zurückzuführen sein.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Abwasser lagen zu 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 2000 zwischen 0,0016 und 0,10 Bq/l, bei einem Median von <0,032 Bq/l (1999: zwischen 0,0013 und 0,076 Bq/l).

In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tabelle 1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder ergänzt durch Angaben, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher belasteten Landesteilen unterschieden wird, z.B. Nord-Bayern und Süd-Bayern.

Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten im Jahr 2000 - wie in den früheren Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg), wobei mit 140 bzw. 1,1 Bq/kg TM wieder deutlich geringere 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 Vorjahresperiode festzustellen. Seit 1996 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittlere spezifische Aktivitäten: 240, 500, 170, 180 und 140 Bq/kg TM.

Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte der Klärschlämme aller Bundesländer in den letzten fünf Jahren ist in Abbildung 1 dargestellt. In einigen Bundesländern haben sich die Klärschlamm-Kontaminationen im Vergleich zu den Vorjahresperioden auch weiterhin verringert, z.B. im Saarland und in Nordrhein-Westfalen. Am deutlichsten ist diese Entwicklung noch im südlichen Bayern zu erkennen. Seit 1988 wurden nahezu kontinuierlich abnehmende Jahresmittelwerte ermittelt: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63, 43 und für das Jahr 2000 38 Bq/kg TM. Für die Mehrzahl der Bundesländer gilt dieser Trend aber offensichtlich nicht mehr, vielmehr sind die Werte unverändert oder sogar leicht angestiegen (z. B. Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt). Hierbei ist anzumerken, dass mit abnehmender spezifischer Aktivität natürlicherweise eine höhere Streuung der einzelnen Messwerte verbunden ist.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 0,5 : 1 betrug, hat sich auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertszeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 2000, d. h. im Laufe von 14 Jahren auf etwa 0,0062 : 1 verschoben. In wenig belasteten Gebieten findet man mitunter ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche der 60er Jahre relativ stärker bemerkbar macht.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z.B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 180 Bq/kg TM (Jahresmittelwert der Kläranlage Tannheim) in einer Menge von 0,5 kg auf einer Fläche von einem Quadratmeter innerhalb von drei Jahren (gemäß Klärschlammverordnung) ausgebracht, entspricht dies einer mittleren jährlichen Aktivitätszufuhr von etwa 30 Bq Cs-137. Dies bedeutet bei einer für das Einzugsgebiet einer entsprechenden Kläranlage typischen Flächenbelastung von ca. 25 000 Bq/m² Cs-137, eine jährliche Aktivitätszufuhr in den Boden von etwa 0,1%. Hierbei ist aber anzumerken, dass eine solche Aufstockung des Cs-137-Inventars gegenüber dem radioaktiven Zerfall des bereits im Boden befindlichen Inventars in der Höhe von 2,3% pro Jahr um ein Vielfaches kompensiert wird.

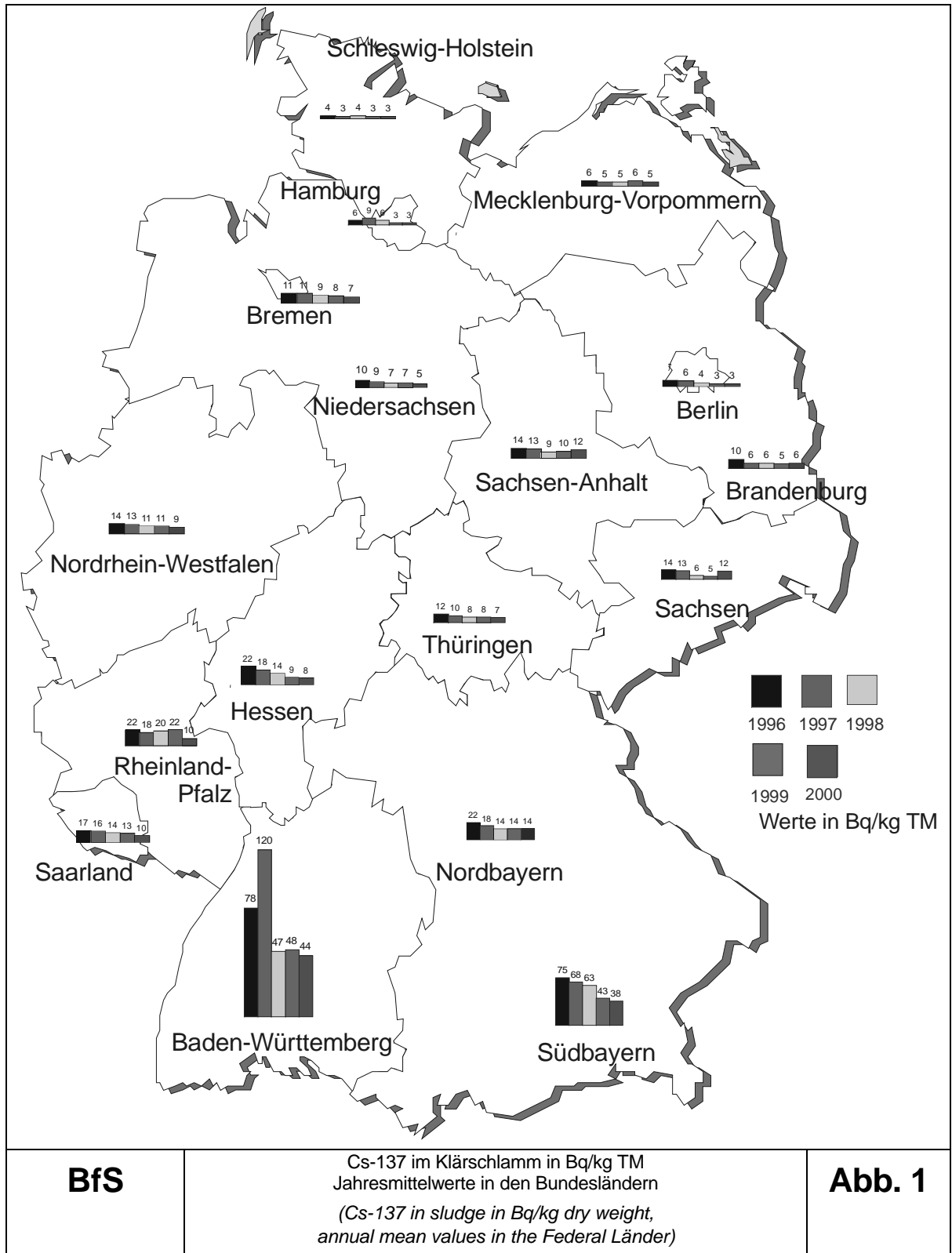


Tabelle 1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 2000
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte
(General surveillance of waste water and sludge in the year 2000 - minimum, maximum and mean values)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	19	1,4	1,4		<1,3
	Co-60	20	20				<0,045
	I-131	19	0	0,12	0,8	0,38	0,39
	Cs-137	20	20				<0,05
	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	3	3				<2,1
	Co-60	3	3				<0,072
	I-131	3	0	0,1	0,25	0,19	0,22
	Cs-137	3	3				<0,084
	Sr-90	3	0	0,0009	0,0011	0,00097	0,00095
Niedersachsen	K-40	62	17	0,37	1,8	0,79	<0,74
	Co-60	62	62				<0,031
	I-131	62	10	0,047	4,7	0,56	0,27
	Cs-137	62	62				<0,029
	Sr-90	6	6				<0,018
	U-234	4	2	0,0046	0,011	0,0078	0,0046
	U-235	4	4				<0,0011
	U-238	4	2	0,0032	0,0076	0,0054	0,0032
Bremen	K-40	8	3	0,41	0,92	0,6	0,54
	Co-60	8	8				<0,014
	I-131	6	0	0,041	0,22	0,15	0,16
	Cs-137	8	6	0,026	0,036		0,026
	Sr-90	4	2	0,023	0,04	0,031	0,023
	U-234	4	4				<0,0026
	U-235	4	4				<0,0015
	U-238	4	4				<0,0015
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	29	0,3	1,1		0,78
	Co-60	40	40				<0,038
	I-131	25	3	0,022	0,68	0,21	0,13
	Cs-137	40	39	0,029	0,029		<0,037
	Sr-90	4	0	0,0011	0,4	0,12	0,036
	U-234	4	2	0,0041	0,0091	0,0066	0,0041
	U-235	4	4				<0,0017
	U-238	4	2	0,0017	0,0053	0,0035	<0,003
Hessen	K-40	20	20				<2,2
	Co-60	20	20				<0,091
	I-131	17	17				<0,44
	Cs-137	20	20				<0,087
	Sr-90	4	4				<0,1
	U-234	4	2	0,019	0,032	0,025	0,019
	U-235	4	4				<0,005
	U-238	4	2	0,0094	0,019	0,014	0,0094
Rheinland-Pfalz	K-40	20	15	0,75	2,0		<0,83
	Co-60	20	20				<0,028
	I-131	20	4	0,038	0,33	0,13	0,081
	Cs-137	20	20				<0,031
	Sr-90	4	0	0,0022	0,0048	0,0035	0,0036
	U-234	4	0	0,003	0,027	0,015	0,014
	U-235	4	4				<0,001
	U-238	4	0	0,0034	0,025	0,013	0,013

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Baden-Württemberg	K-40	40	23	0,42	0,9		<0,74
	Co-60	40	40				<0,048
	I-131	40	35	0,14	0,63		<0,086
	Cs-137	40	40				<0,046
	Sr-90	4	3	0,014	0,014		<0,01
	U-234	4	0	0,00079	0,0043	0,003	0,0034
	U-235	4	4				<0,00066
	U-238	4	0	0,0012	0,0029	0,0021	0,0021
Bayern	K-40	34	32	1,3	1,4		<1,3
	Co-60	34	34				<0,086
	I-131	7	0	0,19	1,3	0,64	0,58
	Cs-137	34	34				<0,097
	Sr-90	4	2	0,0021	0,0045	0,0033	0,0045
	U-234	4	0	0,0023	0,016	0,0069	0,0047
	U-235	4	4				<0,0009
	U-238	4	0	0,002	0,018	0,0069	0,0038
Saarland	K-40	8	8				<0,75
	Co-60	8	8				<0,027
	I-131	8	7	0,052	0,052		<0,033
	Cs-137	8	8				<0,029
	Sr-90	2	0	0,0038	0,0067	0,0053	0,0053
	U-234	2	0	0,0023	0,0043	0,0033	0,0033
	U-235	2	2				<0,00044
	U-238	2	0	0,0019	0,0028	0,0023	0,0023
Berlin	K-40	16	0	0,61	1,2	0,91	0,93
	Co-60	16	16				<0,0014
	Cs-137	16	2	0,0016	0,0038	0,0026	0,0025
	Sr-90	8	0	0,0032	0,0046	0,0039	0,0036
	U-234	8	0	0,0011	0,0057	0,0031	0,0027
	U-235	8	7	0,0003	0,0003		<0,00036
	U-238	8	0	0,001	0,0045	0,0026	0,0022
	Brandenburg	K-40	20	0	0,4	1,4	0,88
Co-60		20	20				<0,01
I-131		18	6	0,04	1,4	0,41	<0,16
Cs-137		20	19	0,1	0,1		<0,0098
Sr-90		8	0	0,002	0,006	0,0039	0,004
U-234		8	4	0,0004	0,006	0,0021	<0,0005
U-235		8	7	0,0003	0,0003		<0,0003
U-238		8	4	0,0005	0,005	0,0019	<0,0005
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	0,46	0,99	0,72	0,74
	Co-60	20	20				<0,0097
	I-131	17	0	0,038	5,3	0,69	0,28
	Cs-137	20	20				<0,0076
	Sr-90	4	0	0,0024	0,012	0,0068	0,0064
	U-234	4	3	0,011	0,011		<0,0021
	U-235	4	3	0,00058	0,00058		<0,0016
	U-238	4	2	0,0026	0,014	0,0083	0,0026
Sachsen	K-40	20	1	0,19	1,3	0,74	0,78
	Co-60	20	20				<0,015
	I-131	17	0	0,02	0,47	0,16	0,16
	Cs-137	20	18	0,0049	0,0082		<0,015
	Sr-90	4	4				<0,025
	U-234	4	0	0,017	0,071	0,036	0,029
	U-235	4	1	0,0021	0,011	0,0053	<0,0038
	U-238	4	0	0,012	0,062	0,032	0,027

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	0,31	1,8	0,88	0,78
	Co-60	20	20				<0,0078
	I-131	15	2	0,0091	0,32	0,09	0,036
	Cs-137	20	20				<0,0081
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	0	0,014	0,05	0,035	0,039
	U-235	4	1	0,0018	0,0022	0,002	0,0019
	U-238	4	0	0,0083	0,044	0,028	0,03
Thüringen	K-40	20	20				<2,3
	Co-60	20	20				<0,091
	I-131	6	0	0,15	0,57	0,33	0,3
	Cs-137	20	20				<0,094
	Sr-90	4	4				<0,0027
	U-234	4	0	0,023	0,069	0,038	0,031
	U-235	4	4				<0,0025
	U-238	4	0	0,014	0,038	0,022	0,019
Bundesrepublik Deutsch- land	K-40	371	190	0,19	2,0		0,92
	Co-60	371	371				<0,033
	I-131	280	84	0,0091	5,3	0,37	0,18
	Cs-137	371	351	0,0016	0,1		<0,032
	Sr-90	71	33	0,0009	0,4	0,018	0,006
	U-234	66	21	0,0004	0,071	0,015	0,0044
	U-235	66	57	0,0003	0,011		<0,001
	U-238	66	20	0,0005	0,062	0,011	<0,0039
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	36	88	63	64
	Co-60	20	20				<0,42
	I-131	20	0	3,5	63	25	21
	Cs-137	20	0	1,1	9,3	2,9	2,4
	Sr-90	4	0	2,1	5,0	3,7	3,8
	U-234	4	0	7,4	12	9,2	9,0
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	0	6,2	8,3	7,1	6,9
Hamburg	K-40	6	0	120	390	250	240
	Co-60	6	6				<1,3
	I-131	6	0	22	62	44	47
	Cs-134	6	6				<1,1
	Cs-137	6	0	1,9	4,5	3,0	2,7
	Sr-90	2	0	1,2	1,3	1,2	1,2
Niedersachsen	K-40	40	0	14	770	140	100
	Co-60	40	38	0,34	0,46		<0,32
	I-131	36	0	2,8	970	120	32
	Cs-134	40	40				<0,28
	Cs-137	40	0	0,34	21	5,1	4,3
	Sr-90	4	0	2,8	6,9	4,4	3,9
	U-234	4	1	0,0076	11	3,7	<0,46
	U-235	4	4				<0,16
	U-238	4	1	0,0062	8,9	3,0	<0,46
Bremen	K-40	7	1	260	550	360	310
	Co-60	8	8				<0,74
	I-131	7	0	15	130	56	32
	Cs-134	8	8				<0,73
	Cs-137	8	0	2,9	11	7,0	7,3
	Sr-90	4	2	0,023	4,6	2,3	<0,42
	U-234	3	1	4,1	4,6	4,3	4,1
	U-235	3	3				<0,23
	U-238	3	1	5,2	5,7	5,5	5,2

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	80	500	220	170
	Co-60	40	40				<0,28
	I-131	38	3	1,1	330	84	47
	Cs-134	17	16	0,24	0,24		<0,63
	Cs-137	40	0	3,7	22	9,2	8,5
	Sr-90	4	0	2,1	8,9	5,5	5,4
	U-234	4	0	23	43	29	26
	U-235	4	0	0,6	1,9	1,1	1,0
	U-238	4	0	19	36	24	21
Hessen	K-40	19	0	130	400	190	170
	Co-60	19	19				<1,5
	I-131	14	3	20	220	86	51
	Cs-134	19	19				<1,1
	Cs-137	19	0	1,8	20	7,8	6,9
	Sr-90	4	0	0,55	1,7	1,0	0,95
	U-234	4	0	35	120	70	63
	U-235	4	0	1,6	5,7	3,4	3,1
	U-238	4	0	27	80	49	45
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	89	250	180	180
	Co-60	20	20				<0,39
	I-131	20	5	2,2	270	68	7,9
	Cs-134	20	20				<0,39
	Cs-137	20	0	1,8	29	10	8,4
	Sr-90	4	0	1,9	15	7,7	6,9
	U-234	4	0	44	52	48	48
	U-235	4	0	0,69	1,5	1,2	1,3
	U-238	4	0	26	39	33	33
Baden-Württemberg	K-40	39	0	42	480	190	180
	Co-60	39	39				<1,3
	I-131	39	10	2,0	270	98	57
	Cs-134	2	0	0,74	1,4	1,1	1,1
	Cs-137	39	0	1,6	250	44	18
	Sr-90	4	0	1,3	2,1	1,7	1,7
	U-234	4	0	18	42	30	30
	U-235	4	1	0,7	1,7	1,2	<1,6
	U-238	19	0	14	110	44	37
Baden-Württemberg (Nord)	Co-60	27	27				<1,3
	Cs-137	27	0	1,6	150	23	13
	Sr-90	2	0	1,3	1,8	1,6	1,6
Baden-Württemberg (Süd)	Co-60	12	12				<1,3
	Cs-134	2	0	0,74	1,4	1,1	1,1
	Cs-137	12	0	19	250	90	82
	Sr-90	2	0	1,5	2,1	1,8	1,8
Bayern	K-40	35	0	83	590	300	310
	Co-60	35	35				<1,8
	I-131	30	0	12	590	110	45
	Cs-134	35	35				<1,8
	Cs-137	35	0	4,6	90	27	17
	Sr-90	4	0	1,5	6,1	3,8	3,8
	U-234	4	0	31	79	50	44
	U-235	4	0	1,0	3,0	2,0	2,0
	U-238	4	0	30	70	46	41
Bayern (Nord)	Co-60	17	17				<2,0
	Cs-134	17	17				<2,1
	Cs-137	17	0	5,8	34	14	13
	Sr-90	2	0	2,1	6,1	4,1	4,1

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Bayern (Süd)	Co-60	18	18				<1,8
	Cs-134	18	18				<1,8
	Cs-137	18	0	4,6	90	38	34
	Sr-90	2	0	1,5	5,5	3,5	3,5
Saarland	K-40	8	0	200	300	250	250
	Co-60	8	8				<0,44
	I-131	8	0	1,7	150	78	85
	Cs-134	8	8				<0,45
	Cs-137	8	0	3,8	18	10	9,2
	Sr-90	2	0	0,0025	0,0056	0,0041	0,0041
	U-234	2	0	93	110	100	100
	U-235	2	0	3,3	4,2	3,8	3,8
	U-238	2	0	73	81	77	77
Berlin	K-40	16	0	45	170	85	83
	Co-60	16	16				<0,37
	I-131	16	0	25	240	110	79
	Cs-134	16	16				<0,37
	Cs-137	16	0	1,4	4,4	3,1	3,2
	Sr-90	4	0	1,7	2,9	2,1	2,0
	U-234	4	0	11	26	16	14
	U-235	4	0	0,53	1,3	0,75	0,58
	U-238	4	0	9,9	23	14	12
Brandenburg	K-40	20	0	57	240	120	120
	Co-60	20	20				<0,19
	I-131	20	0	8,5	960	120	32
	Cs-134	20	20				<0,22
	Cs-137	20	0	1,8	20	6,0	4,1
	Sr-90	8	0	3,0	5,0	3,8	4,0
	U-234	8	0	8,0	27	18	20
	U-235	8	0	0,3	2,0	1,1	1,0
	U-238	8	0	7,0	25	17	20
Mecklenburg-Vorpommern	K-40	20	0	89	230	140	140
	Co-60	20	20				<0,33
	I-131	18	0	0,25	290	120	73
	Cs-134	20	20				<0,29
	Cs-137	20	0	1,4	13	4,7	3,3
	Sr-90	4	0	1,8	19	10	10
	U-234	4	0	11	35	19	14
	U-235	4	2	0,59	1,1	0,82	<1,0
	U-238	4	0	11	28	16	13
Sachsen	K-40	20	0	52	220	140	150
	Co-60	20	20				<0,77
	I-131	20	0	4,3	460	120	53
	Cs-134	1	0	0,46	0,46	0,46	0,46
	Cs-137	20	0	1,6	77	12	4,1
	Sr-90	4	0	0,008	1,8	0,92	0,92
	U-234	4	0	0,016	65	29	25
	U-235	4	1	0,0024	5,1	2,5	2,5
	U-238	4	0	0,016	61	26	22
Sachsen-Anhalt	K-40	20	0	92	310	160	160
	Co-60	20	20				<0,18
	I-131	20	0	0,78	210	58	41
	Cs-134	20	20				<0,17
	Cs-137	20	0	2,4	110	12	5,8
	Sr-90	4	0	0,67	2,5	1,5	1,4
	U-234	4	0	57	150	110	110
	U-235	4	0	2,1	5,2	3,7	3,8
	U-238	4	0	42	130	86	87

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Thüringen	K-40	20	0	140	400	230	210
	Co-60	20	20				<0,27
	I-131	13	0	1,0	120	47	36
	Cs-134	16	16				<0,28
	Cs-137	20	0	2,2	14	7,4	6,7
	Sr-90	4	0	1,1	2,3	1,6	1,6
	U-234	4	0	88	140	120	110
	U-235	20	0	0,71	3,8	2,8	3,2
U-238	24	0	16	84	61	64	
Bundesrepublik Deutschland	K-40	350	1	14	770	180	160
	Co-60	351	349	0,34	0,46		<0,45
	I-131	325	21	0,25	970	90	41
	Cs-134	248	244	0,24	1,4		<0,39
	Cs-137	351	0	0,34	250	13	6,4
	Sr-90	64	2	0,0025	19	3,5	2,1
	U-234	61	2	0,0076	150	42	26
	U-235	77	15	0,0024	5,7	2,2	1,7
U-238	96	2	0,0062	130	41	33	
Bundesrepublik Deutschland (Nord)	Co-60	321	319	0,34	0,46		<0,4
	Cs-134	228	226	0,24	0,46		<0,36
	Cs-137	321	0	0,34	150	9,0	5,6
	Sr-90	60	2	0,0025	19	3,5	2,1
Bundesrepublik Deutschland (Süd)	Co-60	30	30				<1,6
	Cs-134	20	18	0,74	1,4		<1,7
	Cs-137	30	0	4,6	250	59	45
	Sr-90	4	0	1,5	5,5	2,7	1,8

3.6 Reststoffe und Abfälle (Residues and wastes)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz,
Berlin

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 2000 der Leitstelle (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 1 gibt eine Übersicht über die zusammengefassten Messwerte für **Cäsium-137**, **Kobalt-60**, **Jod-131**, **Kalium-40** und **Tritium**. Nach Medien geordnet sind die Anzahl der Messungen, die Anzahl der Messwerte, die kleiner als die Nachweisgrenze sind, die Minimal- und Maximalwerte sowie die Mediane der Konzentrationen und spezifischen Aktivitäten angegeben. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Reutlingen-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 2000 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0062 : 1 abgenommen. Da in den Proben, soweit noch nachweisbar, etwa das erwartete Aktivitätsverhältnis auftrat, wird auf eine Angabe der Cs-134-Aktivitäten verzichtet.

Im **Sickerwasser bzw. oberflächennahen Grundwasser von Hausmülldeponien** stammen die höchsten Werte für Cs-137 aus Niedersachsen. Der Maximalwert liegt bei 13 Bq/l (1999: 10 Bq/l), der Median aller Werte beträgt <0,071 Bq/l (1999: 0,075 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,08 Bq/l bis 140 Bq/l, der Median bei 12 Bq/l (1999: 0,08 bis 130 Bq/l, Median: 11 Bq/l). Tritium wurde in 22 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,5 und 510 Bq/l (1999: 3,7 bis 280 Bq/l) gefunden.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 210 Bq/kg TM (1999: 280 Bq/kg TM), der Median für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt bei 30 Bq/kg TM (1999: 29 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 230 Bq/kg TM bis 2200 Bq/kg TM, der Median bei 1200 Bq/kg TM (1999: 52 bis 3200 Bq/kg TM, Median: 1300 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,99 Bq/kg TM bis 88 Bq/kg TM (1999: 0,61 bis 110 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. In zwei Filterstaubproben aus der Sondermüllverbrennungsanlage in Rheinland-Pfalz wurde Co-60 mit Werten von 0,25 und 0,28 Bq/kg TM (1999: 0,44 Bq/kg TM) gemessen.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 59 Bq/kg TM (1999: 59 Bq/kg TM). Der Median südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel liegt bei 4,6 Bq/kg TM (1999: 10 Bq/kg TM), nördlich davon bei 2,2 Bq/kg TM (1999: 2,6 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 110 Bq/kg TM bis 1600 Bq/kg TM (1999: 63 bis 1600 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,27 Bq/kg TM bis 7,3 Bq/kg TM (1999: 8,1 bis 14 Bq/kg TM) mitgeteilt.

Bei den **festen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** liegt der Median des Cs-137-Gehaltes für die Gebiete südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel im Jahr 2000 bei <0,3 Bq/kg TM (1999: 3,4 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von <1,5 Bq/kg TM (1999: 2,5 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Meßwerte liegen im Bereich von 3,5 Bq/kg TM bis 1300 Bq/kg TM (1999: 4,0 bis 1200 Bq/kg TM) mit einem Median von 32 Bq/kg TM (1999: 54 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,51 Bq/kg TM bis 2500 Bq/kg TM (1999: 0,12 bis 2900 Bq/kg TM) ermittelt.

Bei den **flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen** (Abwasser) ergaben sich für Cs-137 in den höher belasteten Gebieten keine Werte über der Nachweisgrenze (1999: keine Werte über der Nachweisgrenze) mit einem Median von <0,1 Bq/l (1999: <0,12 Bq/l), für das Gebiet der restlichen Bundesrepublik wurden Werte von 0,11 Bq/l bis 0,84 Bq/l (1999: 0,097 bis 6,0 Bq/l) mit einem Median von <0,086 Bq/l gemessen (1999: <0,10 Bq/l).

I-131 wurde in 12 Proben mit Werten zwischen 0,2 Bq/l und 190 Bq/l (1999: 0,20 und 750 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 1,0 Bq/l (1999: 3,0 Bq/l). Dabei stammen die Proben mit den höchsten I-131-Werten aus dem Ablauf der Schwermetallfällung bei nasser Rauchgaswäsche. Seit 1995 ist die Bestimmung von Sr-90 in flüssigen Rückständen aus Rauchgasreinigungsanlagen nicht mehr routinemäßig vorgesehen.

Die Beprobung des **Kompostes** ergab für die spezifische Aktivität des Cs-137 südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel Werte von 18 Bq/kg TM bis 47 Bq/kg TM (1999: 12 bis 59 Bq/kg TM) mit einem Median von 30 Bq/kg TM (1999: 35 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 3,4 Bq/kg TM und 31 Bq/kg TM (1999: 3,3 bis 37 Bq/kg TM), der Median liegt bei 9,7 Bq/kg TM (1999: 13 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 140 Bq/kg TM bis 760 Bq/kg TM, der Median bei 460 Bq/kg TM (1999: 98 bis 920 Bq/kg TM, Median: 470 Bq/kg TM).

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

Zusammenfassend ist für Reststoffe und Abfälle festzustellen, dass der Gehalt an Cs-137 immer noch deutlich durch den Fallout nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl bestimmt wird, was durch die höheren Werte im südlichen Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gegenüber den anderen Gebieten zum Ausdruck kommt.

Tabelle 1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 2000
(Monitoring of residues and wastes in the year 2000)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Sickerwasser (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	102	58	0,0021	13		<0,061
Südlich *)	Cs-137	6	0	0,16	0,97	0,44	0,31
Alle Länder	K-40	108	9	0,08	140	18	12
	H-3	108	24	3,5	510	53	19
Filterstaub (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	44	0	2,2	130	35	30
Südlich *)	Cs-137	2	0	100	210	160	160
Alle Länder	K-40	45	0	230	2200	1200	1200
	Co-60	46	44	0,25	0,28		<0,4
	I-131	28	15	0,99	88		<2,2
Schlacke (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	49	0	0,5	59	5,1	2,2
Südlich *)	Cs-137	2	0	3,5	5,7	4,6	4,6
Alle Länder	K-40	51	0	110	1600	370	290
	I-131	30	24	0,27	7,3		<0,65
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	33	13	0,37	54	13	<1,5
Südlich *)	Cs-137	2	1	0,26	0,26	0,26	<0,3
Alle Länder	K-40	35	6	3,5	1300	350	32
	I-131	23	2	0,51	2500	230	7,8
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung (Bq/l)							
Nördlich *)	Cs-137	19	13	0,11	0,84		<0,086
Südlich *)	Cs-137	2	2				<0,1
Alle Länder	K-40	21	7	1,8	36	12	2,9
	I-131	16	4	0,2	190	32	1,0
Kompost (Bq/kg TM)							
Nördlich *)	Cs-137	51	0	3,4	31	10	9,7
Südlich *)	Cs-137	4	0	18	47	31	30
Alle Länder	K-40	54	0	140	760	470	460

Stand 6.8.2001

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

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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Neuherberg

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. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst und in Abb. 1 - 4 dargestellt. Unter "Jahresmittelwert" wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle des Institutes für Strahlenhygiene des BfS in Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle in Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen weiterhin ihre Referenzgruppen, jedoch liegen die Messergebnisse in der überwiegenden Zahl unter der Nachweisgrenze für Cäsiuminkorporation aus dem Tschernobyl-Fallout. Dies gilt insbesondere für das Radionuklid Cs-134, dessen Aktivität auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 2 Jahren auf weniger als ein Prozent der 1986 vorhandenen Aktivität zurückgegangen ist. Daher wird bei den Ergebnissen der Ganzkörpermessungen dieses Nuklid nicht mehr aufgeführt. 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 5 und 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 14 Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwa 0,2 mSv.

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

Messstelle: Institut für angewandten Strahlenschutz, Außenstelle Neuherberg,
Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS, Neuherberg

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1989	319	51	1,60	261	57	2,87
1990	291	51	0,92	259	57	1,70
1991 a)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 b)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	<1,4	255	61	<1,2
2000	265	58	<1,6	242	63	<1,2
Januar	20	59	<1,5	17	62	<1,3
Februar	26	58	<1,5	24	63	<1,2
März	23	55	<1,4	20	60	<1,2
April	15	58	<1,5	17	65	<1,2
Mai	8	54	<1,5	8	64	<1,2
Juni	13	61	<1,5	15	63	<1,2
Juli	25	58	<1,4	23	61	<1,1
August	21	60	<1,6	24	64	<1,2
September	24	56	<1,7	22	61	<1,2
Oktober	31	58	<1,6	23	64	<1,2
November	27	59	<1,7	25	64	<1,2
Dezember	32	60	<1,5	24	64	<1,2

a) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen

b) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

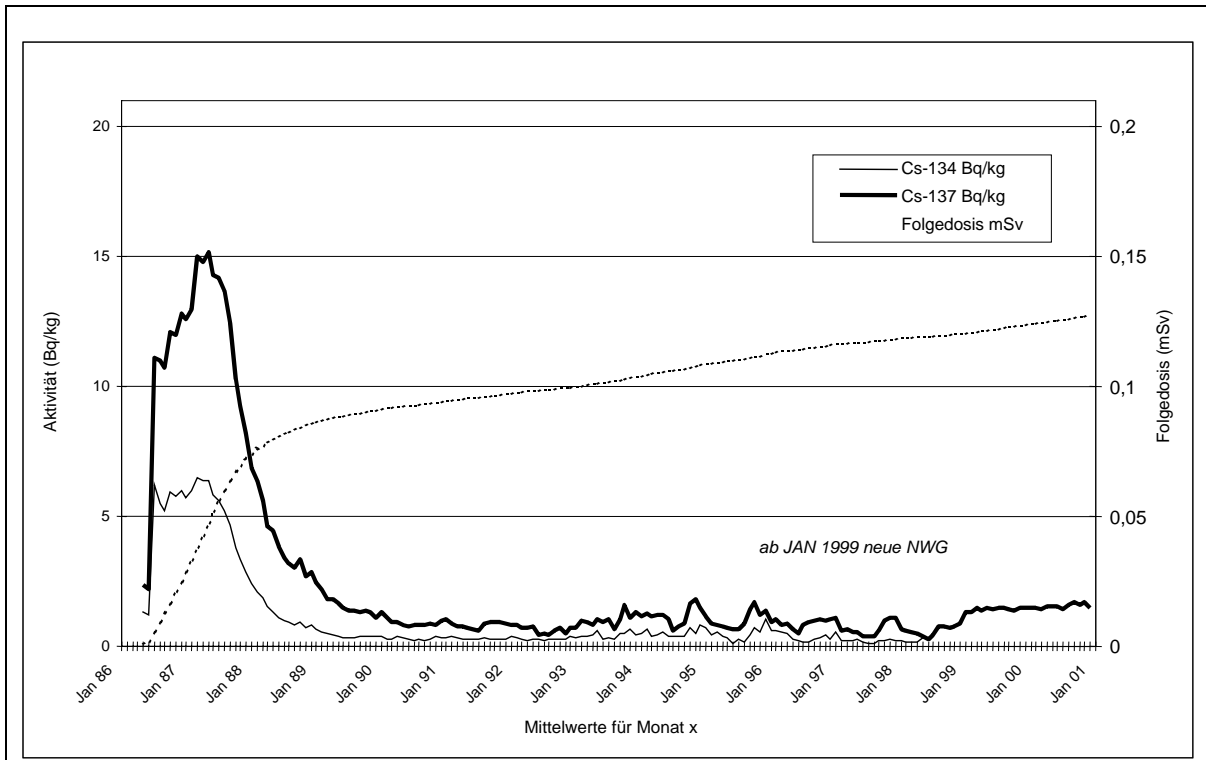
Tabelle 2 Jahres- und Monatsmittelwerte Raum Karlsruhe
(Annual and monthly mean values in the Karlsruhe area)

Messstelle: Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1989	94	-	1,4	74	-	1,5
1990	97	-	0,73	87	-	0,92
1991	97	53	0,53	88	59	0,74
1992 a)	82	51	0,51	76	58	0,58
1993	106	52	0,43	87	58	0,50
1994	112	49	<0,20	102	52	<0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 b)	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
2000	109	51	<0,16	106	60	<0,27
Januar	10	53	0,16	9	62	0,45
Februar	9	50	0,21	9	61	0,26
März	10	52	<0,19	10	60	0,21
April	9	50	<0,15	9	59	<0,35
Mai	9	51	<0,09	8	60	0,22
Juni	10	51	0,15	8	60	0,22
Juli	7	51	<0,14	9	60	0,24
August	9	51	<0,13	9	61	0,23
September	9	51	<0,21	9	60	0,32
Oktober	8	53	0,21	8	61	0,21
November	10	51	<0,14	10	58	0,21
Dezember	9	51	0,13	8	61	0,30

a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung

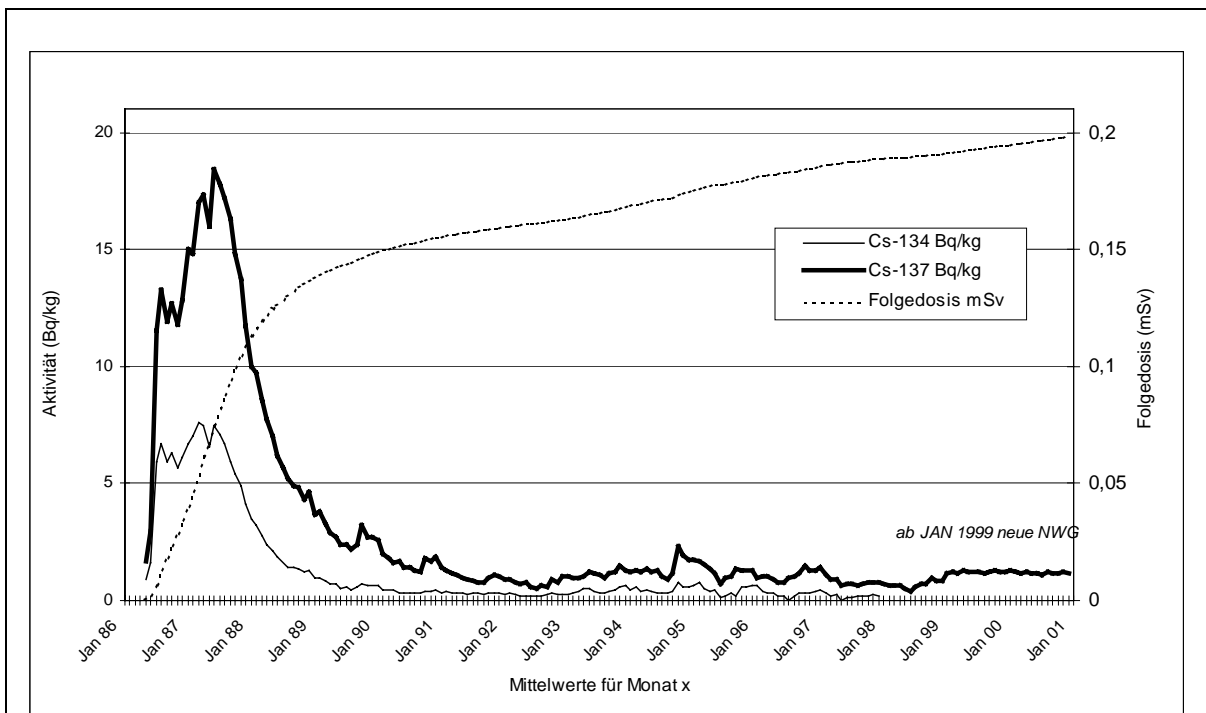
b) Mai 1996 keine Messungen



BfS

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

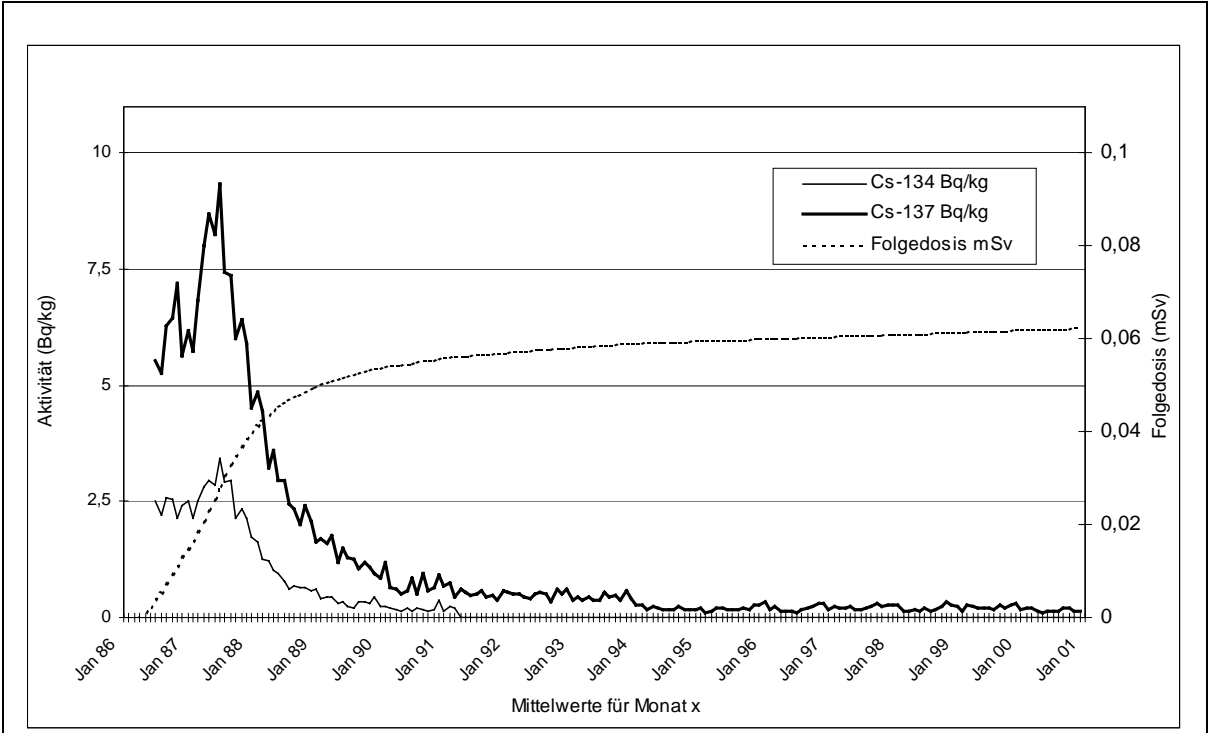
Abb. 1



BfS

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

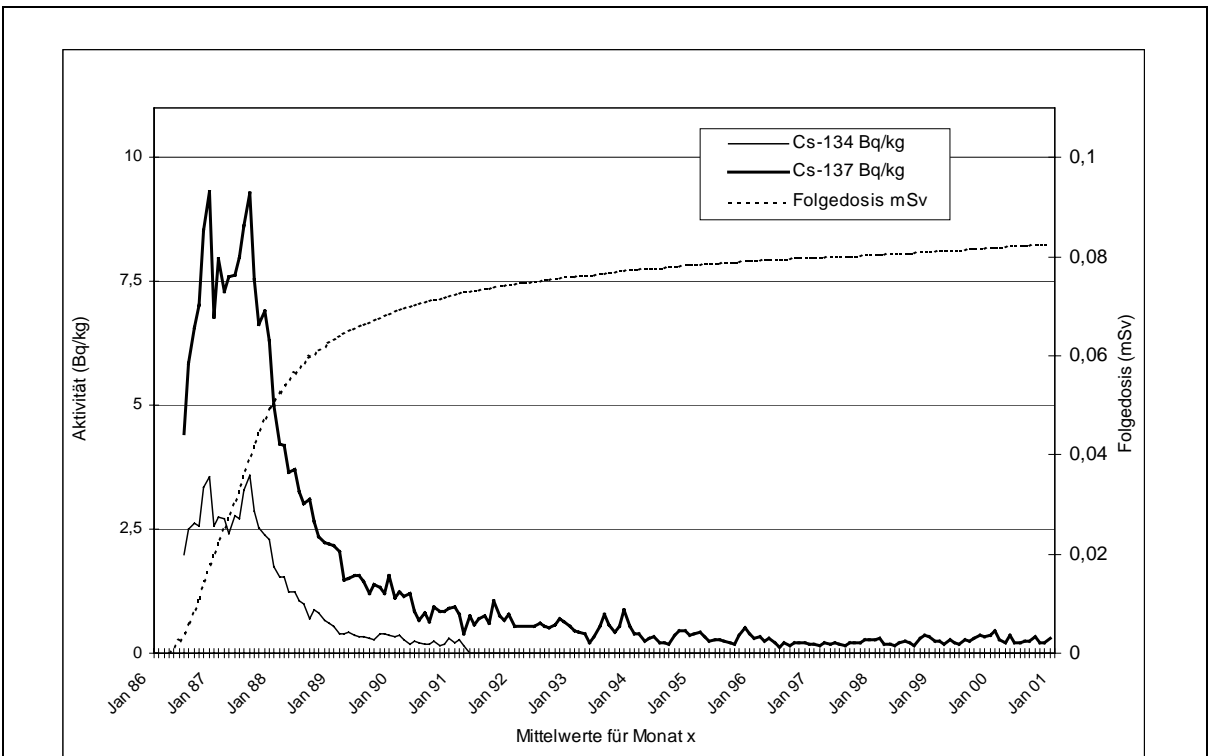
Abb. 2



BfS

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

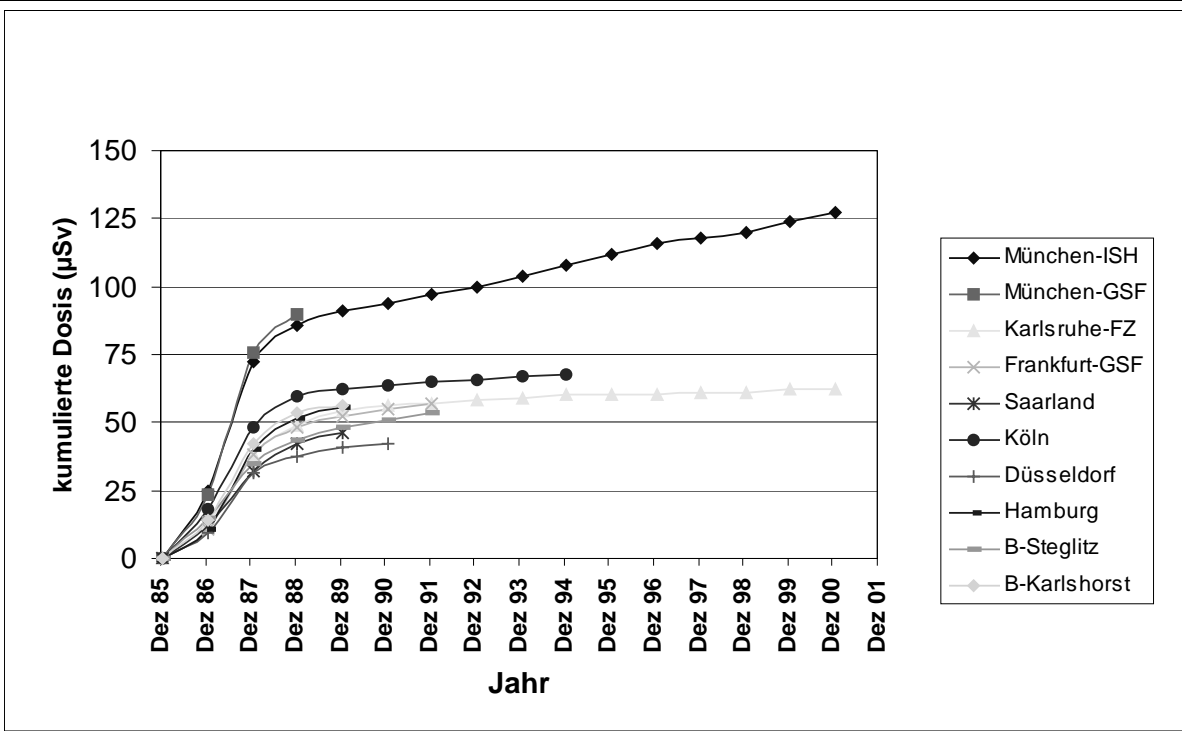
Abb. 3



BfS

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

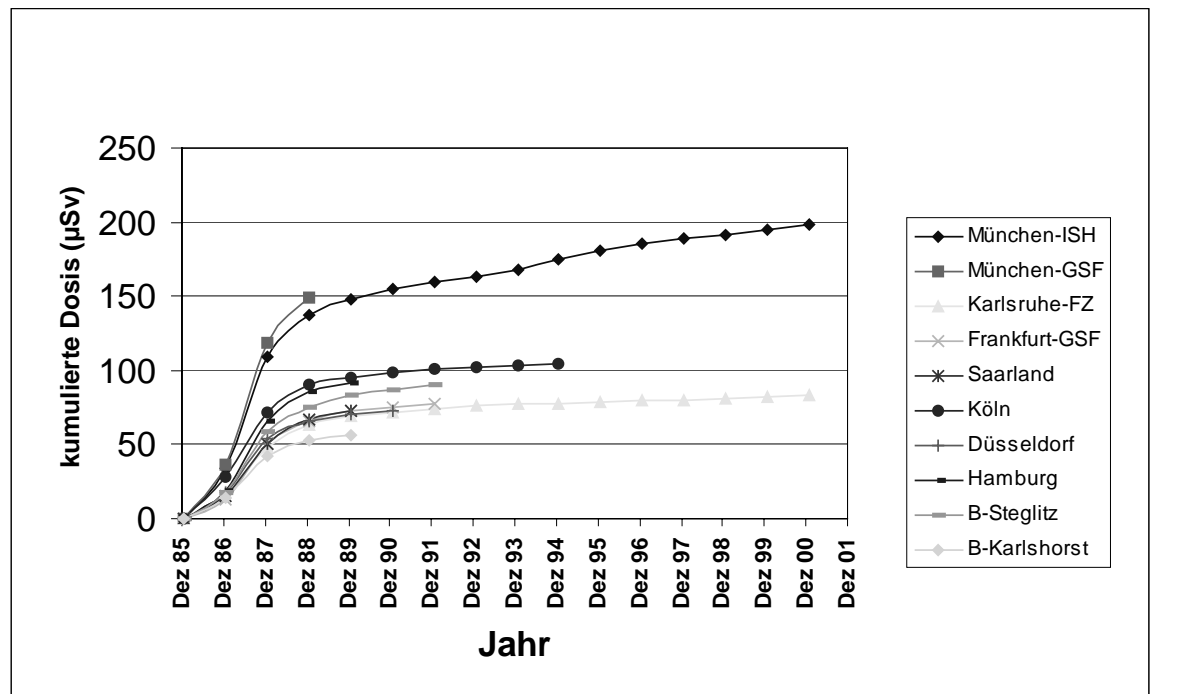
Abb. 4



Bfs

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

Abb. 5



Bfs

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

Abb. 6

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

Nachdem die nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Deutschland abgelagerten Radionuklide mit kürzerer Halbwertszeit bereits weitgehend zerfallen sind, trägt nur noch **Cäsium-137** mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur **äußeren Strahlenbelastung** bei. Unter Berücksichtigung eines Abschirmfaktors von 0,15 in Gebäuden kann die auf den Reaktorunfall zurückzuführende mittlere effektive Dosis durch Bodenstrahlung für das Jahr 2000 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. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil I, 1.6) beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 µSv pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Im Jahr 2000 sind **Grundnahrungsmittel** durch Cs-137 aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die mittlere tägliche Cs-137 Zufuhr mit der Gesamtnahrung im Jahr 2000 wurde zu 0,27 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 Wild, einigen Arten von Waldpilzen, Waldbeeren, Fischen aus Binnenseen oder Blütenhonig wurden auch 2000 in einigen Proben maximale Cs-137-Aktivitäten von einigen hundert Bq/kg gefunden, in Waldpilzen und Wild bis zu einigen tausend Bq/kg, jeweils bezogen auf die Frischmasse. Die jeweiligen Mittelwerte der spezifischen Aktivitäten dieser Nahrungsmittel liegen deutlich niedriger. Individuelle Verzehrsgewohnheiten dieser Nahrungsmittel und starke örtliche Schwankungen der Cs-137-Aktivitäten können zu Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr durch Ingestion führen. Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Nahrungsmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1 000 Bq/kg führt zu einer effektiven Dosis von 7 µSv.

Der **Strontium-90**-Gehalt in Nahrungsmitteln blieb 2000 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 also bei ungefähr 0,2 µSv pro Jahr.

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2000 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*)

Im Jahr 2000 wurden (wie in den Jahren 1997 und 1999) keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Tabelle 1 gibt einen Überblick aller bekannt gewordenen Kernwaffenversuche. Die entsprechenden Versuchsorte sind in Abbildung 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 2000 liegt unter 0,01 Millisievert.

Xenon - Vergleichsexperiment im Rahmen des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen

In Zusammenarbeit mit der Vorbereitungskommission für die Umsetzung des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (UVNV, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) führte das IAR in Freiburg ein methodisches Vergleichsexperiment mit vier vollautomatischen Xenonmesssystemen durch. Die Systeme wurden von Institutionen in Frankreich, Russland, Schweden und den USA unabhängig voneinander entwickelt. Als Standort für diese Vergleichsmessungen wurde das IAR ausgewählt, da es über die dafür notwendigen, langjährigen Fachkenntnisse bei der Spurenanalytik von radioaktiven Edelgasen verfügt. Das Hauptaugenmerk lag auf dem Nachweis von Xe-133 (Halbwertszeit $T_{1/2}=5,24$ Tage). Es sollte geprüft werden, ob die Systeme den fachlichen Anforderungen des UVNV gerecht werden, die im automatischen Betrieb eine Nachweisgrenze von 1 mBq/m³ Luft vorschreiben.

In Sammelzeiträumen, die 24 Stunden nicht überschreiten, wurden variable Xe-133 Aktivitätskonzentrationen von bis zu 130 mBq/m³ gemessen. Der Untergrundpegel lag bei etwa 1 mBq/m³. Neben Xe-133 wurden in einigen Proben auch Xe-131m- und Xe-135-Aktivitätskonzentrationen von einigen mBq/m³ nachgewiesen. Bemerkenswert ist die kurze Durchgangszeit der entsprechenden Luftmassen am Probennahmeort, die meist nicht mehr als 10 Stunden beträgt und eine Lokalisierung möglicher Emittenten mit Hilfe von Rückwärtstrajektorien zulässt. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung sowohl zwischen den Messsystemen als auch mit den unabhängigen Vergleichsanalysen in dem Edelgaslabor des IAR. Die Messsysteme werden den Anforderungen des UVNV gerecht.

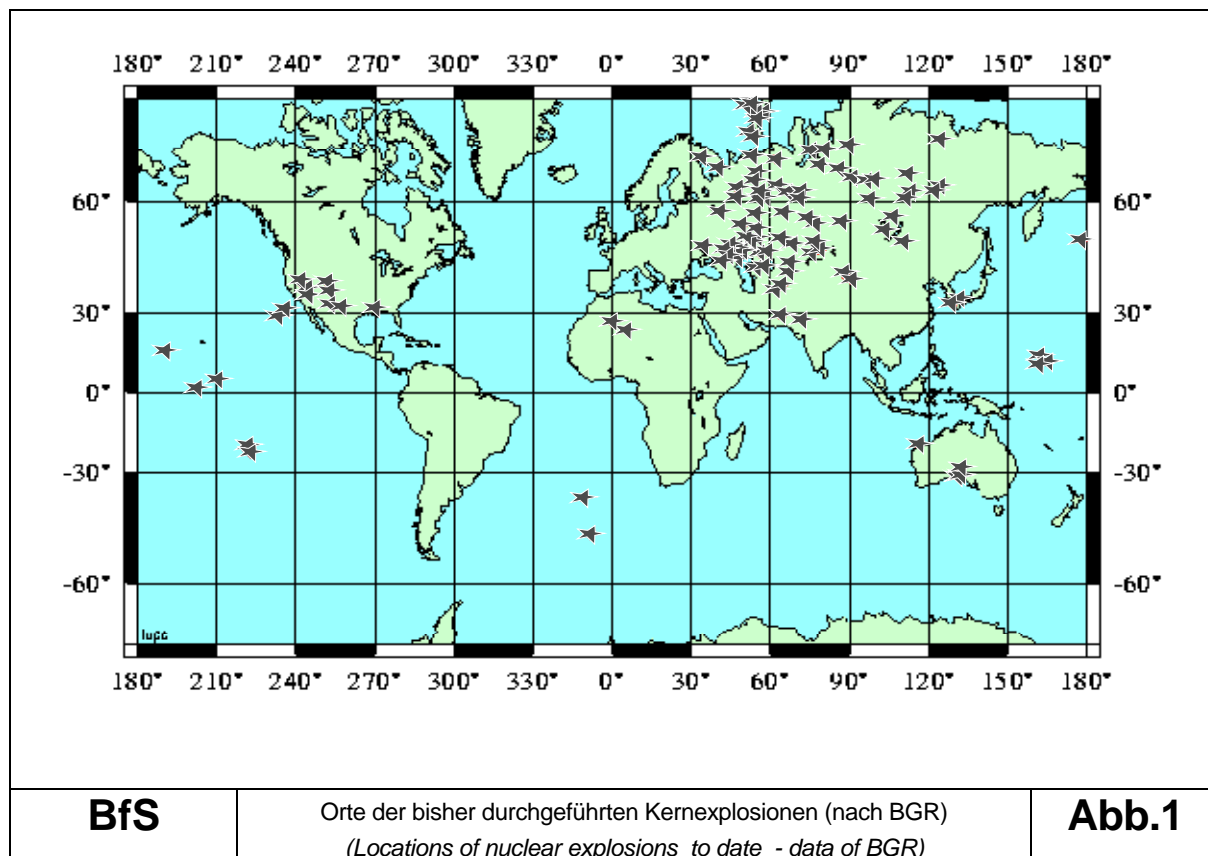


Tabelle 1 Anzahl der Kernwaffenversuche a)
(Number of nuclear weapons tests)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-

Fortsetzung Tabelle 1

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6

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

Teil II

RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN

(RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR AND URANIUM MINING FACILITIES)

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

1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN (*RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR FACILITIES*)

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

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

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 2000 folgende kerntechnische Anlagen:

- 19 Atomkraftwerke (Tabelle 1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22.365 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 170 TWh und einem Anteil von rund 33% an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2000. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich war 2000 infolge Gerichtsbeschlusses abgeschaltet. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald und Hamm-Uentrop haben den Betrieb in den vergangenen Jahren beendet.
- 5 Forschungsreaktoren (Tabelle 2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 42 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.
- 6 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald, Transportbehälterlager Ahaus, AVR-Behälterlager Jülich, Transportbehälterlager Gorleben, Zwischenlager im Atomkraftwerk Obrigheim und Zwischenlager Nord bei Greifswald.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2000 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung angenommen (Tabelle 3).

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung gelten die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung, insbesondere gemäß § 45 (Dosisgrenzwerte für Bereiche, die nicht Strahlenschutzbereiche sind) und § 46 (Schutz von Luft, Wasser und Boden). Nach § 45 StrlSchV hat der Strahlenschutzverantwortliche die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlagen oder Einrichtungen so zu planen, dass die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus diesen Anlagen mit Luft oder Wasser bedingte jährliche Strahlenexposition des Menschen die in § 45 StrlSchV angegebenen Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr nicht überschreitet; für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert 0,3 Millisievert, für die Schilddrüsendosis 0,9 Millisievert pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Grenzwerte 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 § 45 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus ist gemäß § 28 StrlSchV grundsätzlich dafür zu sorgen, dass auch unterhalb der Genehmigungswerte die abgeleitete Aktivität so gering wie möglich ist.

Die Einhaltung der genehmigten Grenzwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft oder Abwasser und der Dosisgrenzwerte wird durch ein umfangreiches Messprogramm gemäß der "Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen" (REI) überprüft. Ziel dieser Richtlinie ist es, eine Beurteilung der aus der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser resultierenden Strahlenexposition des Menschen zu ermöglichen und die Kontrolle der Einhaltung der Emissions- und Dosisgrenzwerte zu gewährleisten.

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßigem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe) 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 Sachverständiger sind gehalten, zur internen Kontrolle der Messqualität an vom Bundesamt für Strahlenschutz in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführten Ringvergleichen teilzunehmen.

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

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

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin, sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 2000 sind in den Abschnitten 1.2 und 1.3 getrennt nach Abluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2000 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 2000 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 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 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Nuclear power plants in the Federal Republic of Germany)
(Stand 31.12.2000)

Kernkraftwerk/Standort	Typ a)	el. Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung (MWa)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes	Vorfluter
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	16	0	1960/1985	Main
MZFR Karlsruhe	D ₂ O-DWR	58	0	1965/1984	Rhein
Kernkraftwerk Rheinsberg	WWER	70	0	1966/1990	Stechlinsee
Kernkraftwerk Gundremmingen A	SWR	252	0	1966/1977	Donau
Versuchsatomkraftwerk AVR Jülich	HTR	15	0	1966/1988	Rur/Maas
Kernkraftwerk Lingen	SWR	268	0	1968/1977	Ems
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	357	320	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	590	1972	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	716	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	1012	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	757	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	689	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	912	791	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1410	1154	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	828	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1169	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	1077	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1118	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1333	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1221	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1458	1289	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich b)	DWR	1302	0	1986	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1361	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1475	1363	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1400	1300	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1282	1988	Neckar

- a) SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwerwasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor; WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart
- b) 2000 nicht in Betrieb

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

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

a) im Dauerbetrieb

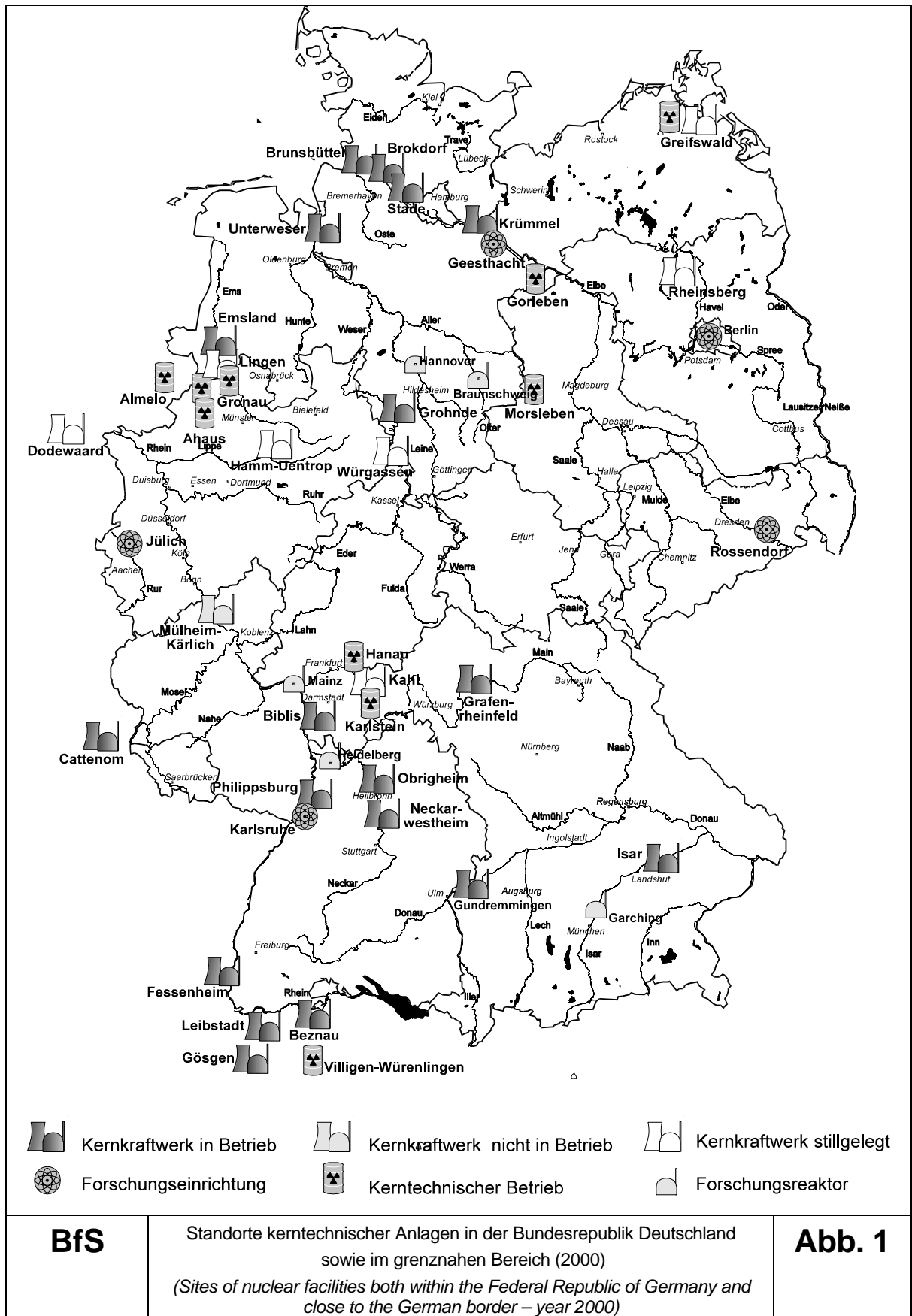
Tabelle 3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland
(Ultimate disposal facilities for radioactive wastes in the Federal Republic of Germany)

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 1,5 E14 Bq.

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

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



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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

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 § 45 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 bis 8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft der Kernkraftwerke im Jahr 2000 sind in Tabelle 1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Aerosole (Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide **Jod-131**, **Kohlenstoff-14** ($^{14}\text{CO}_2$ -Anteil) und **Tritium** aufgeführt. Die Jahresableitungen von MZFR, KNK und AVR sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 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 2000 abgeleiteten Edelgase ist aus Tabelle 2 zu ersehen. Tabelle 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 4 zeigt die zeitliche Entwicklung der jährlichen Gesamtemissionsraten für Edelgase und I-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke (ohne Forschungszentren) in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Die Summe der Jahresableitungen radioaktiver Edelgase war 2000 mit $2,6 \cdot 10^{13}$ Becquerel höher als 1999 mit $1,9 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 2000 mit $2,2 \cdot 10^8$ Becquerel unter dem Vorjahreswert von $2,5 \cdot 10^8$ Becquerel.

In Tabelle 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 2000 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 6 angegeben.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus dem Endlager Morsleben ist in Tabelle 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 8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 2000 mit insgesamt $9,9 \cdot 10^5$ Becquerel höher als 1999 mit $8,0 \cdot 10^5$ Becquerel.

Die für das Jahr 2000 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 entsprechenden Genehmigungswerte, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 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 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from nuclear power plants in the year 2000)

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

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

b) Betrieb beendet 1985

c) Betrieb beendet 1990

d) Betrieb beendet 1977

e) Betrieb beendet 1994

f) Betrieb beendet 1988

g) 1999 nicht in Betrieb

n.n.: nicht nachgewiesen (kleiner oder gleich Nachweisgrenze)

-: Messung nicht erforderlich

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2000
(Discharges of radioactive noble gases with exhaust air from nuclear power plants in the year 2000)

Radio-nuklid	Kahl/ Rheinsberg	Gundrem- mingen A/ Lingen	Obrigheim	Würgas- sen	Stade	Greifs- wald	Biblis A	Biblis B
Aktivität in Bq								
Ar-41			6,8 E 10		1,1 E 12		2,6 E 10	1,4 E 11
Kr-85m							2,2 E 07	3,1 E 10
Kr-85					3,8 E 07		3,6 E 11	1,9 E 11
Kr-87							1,4 E 08	4,3 E 09
Kr-88							1,3 E 08	1,6 E 10
Kr-89								
Xe-131m							7,3 E 10	1,5 E 10
Xe-133m			2,3 E 09		1,3 E 08		1,1 E 09	1,1 E 11
Xe-133			5,8 E 11		3,3 E 11		9,4 E 10	4,9 E 12
Xe-135m			2,3 E 09					3,9 E 09
Xe-135			8,3 E 10		2,1 E 11		2,6 E 09	4,3 E 11
Xe-137							2,4 E 08	
Xe-138							2,6 E 07	

Radio-nuklid	Neckar 1	Brunns- büttel	Isar 1	Unterweser	Philipp- sburg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmel	Gundrem- mingen B, C
Aktivität in Bq								
Ar-41	5,8E 11	4,2 E 10	2,9 E 07	1,7 E 11	2,0 E 09	6,4 E 10		1,2 E 11
Kr-85m	1,0 E 09		5,2 E 04	1,0 E 10		7,3 E 07	1,1 E 08	2,4 E 07
Kr-85	8,0 E 09		3,3 E 11	1,1 E 12	7,0 E 09		2,4 E 09	4,5 E 11
Kr-87	1,0 E 09	6,6 E 09	3,5 E 08	3,1 E 08	5,7 E 08		2,0 E 08	1,8 E 08
Kr-88			5,0 E 04	2,8 E 09	9,6 E 08			
Kr-89			2,1 E 09					
Xe-131m				5,3 E 11			4,4 E 08	1,2 E 10
Xe-133m				2,6 E 10			1,7 E 09	1,6 E 09
Xe-133	5,0 E 09	9,1 E 10	3,7 E 09	2,5 E 12	1,7 E 10	1,3 E 11	1,0 E 11	5,4 E 10
Xe-135m		3,3 E 10	3,6 E 08		8,3 E 10		2,3 E 10	9,5 E 09
Xe-135	3,3 E 10	1,2 E 12	4,9 E 08	5,7 E 11	5,8 E 10	1,7 E 10	1,1 E 11	2,0 E 10
Xe-137			2,4 E 07					2,9 E 08
Xe-138			2,6 E 08		1,1 E 09			

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

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

Tabelle 3 Ableitung radioaktiver Aerosole mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2000 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 1)
(Discharges of radioactive aerosols with exhaust air from nuclear power plants in the year 2000, expressed in becquerel (iodine-131: Table 1))

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									
Fe-59									
Co-57									
Co-58					6,3 E 04				
Co-60	1,3 E 04	2,8 E 05	5,1 E 04	6,9 E 01	6,5 E 05	4,8 E 06	1,4 E 06	1,5 E 07	
Zn-65			5,1 E 04						
Sr-89									
Sr-90		9,0 E 04				2,3 E 04			
Zr-95									
Nb-95							8,9 E 03		
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					1,6 E 05				
Sb-124									2,7 E 06
Sb-125									
Te-123m									2,2 E 07
Cs-134									1,6 E 04
Cs-137	4,6 E 03	3,8 E 05		4,9 E 03	2,8 E 04				1,5 E 03
Ba-140						2,5 E 06	8,3 E 05	4,0 E 06	4,0 E 04
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		2,5 E 05							
Eu-154		9,6 E 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 3

Radio-nuklid	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterwesser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Aktivität in Bq									
Cr-51			1,2 E 06	1,3 E 05		6,2 E 05	2,0 E 04	9,3 E 05	
Mn-54		1,5 E 04	3,1 E 06	1,1 E 05		1,4 E 06	7,9 E 03	1,8 E 05	
Fe-59			1,5 E 05			4,2 E 04			
Co-57									
Co-58		1,0 E 04	1,6 E 06	2,4 E 04		6,0 E 04	1,8 E 04	1,5 E 05	
Co-60	3,1 E 05	4,3 E 05	1,2 E 07	3,9 E 06	4,5 E 05	4,6 E 06	1,8 E 06	3,6 E 06	
Zn-65			2,0 E 06	1,9 E 05		6,0 E 05		1,5 E 06	
Sr-89			2,8 E 05	5,5 E 04		1,4 E 05		2,2 E 06	
Sr-90								3,1 E 04	
Zr-95						1,5 E 04	4,9 E 03		
Nb-95		1,8 E 04				2,1 E 04	1,1 E 04		
Ru-103									
Ru-106							1,9 E 04		
Ag-110m							3,2 E 03		
Sb-124					1,5 E 04		3,2 E 03		
Sb-125		2,2 E 04							
Te-123m	2,0 E 06								
Cs-134						2,6 E 04			
Cs-137			1,5 E 06			2,0 E 05			
Ba-140						3,0 E 04		1,5 E 06	
La-140					3,0 E 04	5,0 E 04		6,7 E 05	
Ce-141				6,3 E 04		1,0 E 04			
Ce-144									
Eu-152									
Eu-154									
Pu-238 + Am-241									
Pu-239 + Pu-240									
Pu-241									
Cm-242									
Cm-244									
Sonstige									

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

Fortsetzung Tabelle 3

Radio-nuklid	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philipps- burg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
	Aktivität in Bq							
Cr-51			2,0 E 04	9,3 E 05				
Mn-54			7,9 E 03	1,8 E 05				
Fe-59								
Co-57								
Co-58			1,8 E 04	1,5 E 05				
Co-60			1,8 E 06	3,6 E 06				
Zn-65				1,5 E 06				
Sr-89				2,2 E 06				
Sr-90				3,1 E 04				
Zr-95			4,9 E 03					
Nb-95			1,1 E 04					
Ru-103								
Ru-106			1,9 E 04					
Ag-110m			3,2 E 03					
Sb-124			3,2 E 03					
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134								
Cs-137								
Ba-140				1,5 E 06				
La-140				6,7 E 05				
Ce-141								
Ce-144								
Eu-152								
Eu-154								
Pu-238 + Am-241								
Pu-239 + Pu-240								
Pu-241								
Cm-242								
Cm-244								

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

Tabelle 4 Ableitung radioaktiver Edelgase und von Jod-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke
 (alte Bundesländer, ohne Forschungszentren) in den Jahren 1988 bis 2000
(Discharges of radioactive noble gases and iodine-131 with exhaust air from nuclear power plants (old German Länder, excluding research centres) in the years from 1988 to 2000)

Jahr	Edelgase	Jod-131
	Aktivität in Bq	Aktivität in Bq
1988	1,4 E14	7,8 E08
1989	8,4 E13	5,7 E08
1990	5,2 E13	2,7 E08
1991	3,2 E13	3,4 E08
1992	4,4 E13	5,2 E08
1993	2,8 E13	3,9 E08
1994	4,2 E13	8,0 E08
1995	9,8 E13	5,5 E08
1996	6,2 E13	3,4 E08
1997	3,8 E13	3,0 E08
1998	2,7 E13	1,8 E08
1999	1,9 E13	2,5 E08
2000	2,6 E 13	2,2 E08

Tabelle 5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research centres in the year 2000)

Forschungszentrum	Edelgase	Aerosole a)	Jod-131	Jod-129	Kohlenstoff-14	Tritium
	Aktivität in Bq					
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	2,6 E11	5,0 E06 ^{b)}	4,6 E06	2,7 E06	6,6 E10	3,8 E12
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	3,8 E11	2,6 E04	8,5 E07	-	2,7 E11	2,8 E12
Forschungszentrum Rosendorf	1,2 E10	1,8 E06	n.n.	n.n.	7,0 E09	4,5 E10
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	9,1 E11	1,8 E05	7,7 E04	-	2,6 E08	4,9 E10
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	4,1 E11	n.n.	5,6 E05	-	1,6 E09	5,0 E10

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

b) davon Alphastrahler: 2,0 E 05 Bq

n.n.: nicht nachgewiesen (Aktivitätsableitung unter Nachweisgrenze)

Tabelle 6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from research reactors in the year 2000)

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
	Aktivität in Bq				
Braunschweig	-	3,5 E04	-	5,9 E07	2,4 E09
Garching	1,2 E11	1,9 E03	8,4 E03	4,2 E07	1,8 E10
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	-	3,6 E04	-	-	1,0 E07
Mainz	7,4 E10	n.n.	n.n.	-	4,1 E06

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 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 7 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances with exhaust air from the Morsleben final disposal facility in the year 2000)

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	2,8 E10
Kohlenstoff-14	2,2 E09
langlebige Aerosole	1,8 E06
Radon-Folgeprodukte	8,7 E09

Tabelle 8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Abluft aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances (α activity) with exhaust air from processing facilities for nuclear fuels in the year 2000)

Betrieb	α -Aktivität in Bq
NUKEM GmbH (Hanau) a)	5,1 E05
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
- Betriebsteil MOX-Verarbeitung a)	<2,3 E04
- Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	<2,0 E05
ANF GmbH (Lingen)	<1,5 E04
URENCO D (Gronau)	4,5 E04

a) Brennelementeproduktion eingestellt

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

In den Tabellen 1 bis 3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2000 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 2000 insgesamt 8,6 m³ Abwasser abgeleitet (Tabelle 4).

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

Für die Druckwasserreaktoren lag die insgesamt abgegebene Menge an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei 2,4 GBq, für die Siedewasserreaktoren bei 1,3 GBq. Die Tritiumabgaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 180 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 7,2 TBq.

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

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2000 (Summenwerte, Tritium und α -Strahler)
(Discharges of radioactive substances with waste water from nuclear power plants in the Federal Republic of Germany in the year 2000 - summation values, tritium and alpha sources)

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

1) Anlage stillgelegt

2) Anlage seit 1990 außer Betrieb

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

Tabelle 2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances with waste water from research centres in the year 2000)

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (Bq) (außer Tritium)	Tritium (Bq)	α-Strahler (Bq)
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	2,7 E 07	1,5 E 12	1,5 E 05
Jülich	1,3 E 08	1,4 E 11	
GKSS Geesthacht	1,9 E 08	2,8 E 09	5,6 E 04
HMI Berlin	5,1E+05	5,8 E 07	
FRM Garching	3,8E+06	3,1E+09	
FRZ/VKTA Rossendorf ¹⁾	3,5 E 06	8,1 E 08	4,7 E 05

¹⁾ vormals ZfK Rossendorf

Tabelle 3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances (alpha activity) with waste water from nuclear fuel production plants)

Betrieb	α-Strahler (Bq)
NUKEM GmbH	*)
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung ¹⁾ Betriebsteil Uran-Verarbeitung ¹⁾	4,8E+07
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	1,0 E+04

¹⁾ Brennelementproduktion eingestellt

^{*)} Ableitungswerte lagen bei Redaktionsschluss nicht vor

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 4 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α-Aktivität) mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2000
(Discharges of radioactive substances (alpha activity) with waste water from the final repository Morsleben in the year 2000)

Radionuklid	Jahresaktivitätsabgabe (Bq)
Tritium	9,0 E+03
Nuklidgemisch (außer Tritium)	3,2 E+04

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

1.4.1 Luft (Air)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg

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

Durch die Änderung der REI im August 1993 ist die Ermittlung der Konzentrationen der langlebigen β -Aktivität in diesem Bereich nicht mehr vorgeschrieben, statt dessen werden Werte für die durch γ -Spektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentrationen einzelner Radionuklide bzw. die Nachweisgrenze für **Kobalt-60** angegeben. Die Aktivitätskonzentrationen für Co-60 lagen 2000 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 2).

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

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

Probennahmestelle	N	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		Jod-131 (mBq/m ³)							
HMI Berlin	2	-	-	<0,23	<0,22	< 0,20	<0,29	<0,31	<0,2
KKW Brunsbüttel	2	<0,093	-	<0,22	<0,26	< 0,22	-	-	<0,2 ⁹
KKW Brokdorf	2	<0,23	<0,19	<0,46	<0,54	< 0,55	-	-	<0,54
KKW Krümmel	3	<3,7	<0,10	<0,10	<0,40	< 0,40	-	-	<0,36
GKSS Geesthacht	1	<0,29	<0,28	<0,28	<0,24	< 0,50	-	-	<0,43 ⁶
KKW Stade	1	-	-	<0,60	<0,53	< 0,42	<0,38 ⁹	<0,37	-
KKW Unterweser	2	<3,7	<3,7	<2,0	<2,0 ⁹	< 2,00	<2,00 ⁹	<2,00	<2,00
KKW Grohnde	3	<3,7	<0,82	<0,48	<0,43	< 0,45	<0,44	<0,47	-
KKW Emsland	2	<0,13	<0,15	<0,38 ³	<0,43	< 0,33	<0,31	<0,37	-
KKW Würgassen	3	<0,19	<1,18	<1,43	*	*	*	*	*
KFA Jülich	3	<3,7	<3,7	<2,0	0,63**	0,33 **	0,63**	0,25**	0,76**
THTR Hamm-Uentrop	2	<0,78	<0,89	<0,38 [*]	*	*	*	*	*
KKW Biblis	2	<0,65	<1,2	<1,2	<0,54	< 0,57	<0,50	<0,57	<0,65 ⁹
KKW Philippsburg	4	<0,51	<0,61	<0,74	<0,68	< 0,65	<0,62	<0,60	<0,62
KKW Obrigheim	3	<0,35	<0,56	<0,68	<0,80	< 0,78	<0,80	<0,79	<0,85
KKW Neckarwestheim	2	<0,77	<0,54	<0,74	<0,77	< 0,72	<0,68	<0,64	<0,60
KfK Karlsruhe	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	<0,18	<0,19	<0,14	<0,35	< 0,36	<0,31	-	-
KKG Grafenrheinfeld	3	<0,23	<0,25	<0,21	<0,48	< 0,49	<0,42	-	-
KRB Gundremmingen II	3	<0,37	<0,27	<0,33	<0,44	< 0,32	<0,32	-	-
KKW Greifswald	2	-	-	<0,38	<0,14	< 0,10	<0,08	<0,07	<0,27
VKTA Rossendorf	3	-	-	<0,22	<0,14	< 0,06	<0,06	<0,06	<0,1
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KKW Mühlheim-Kärlich	2	-	-	-	-	< 0,40	<0,36	<0,18	*

N : Zahl der Messstationen

- : keine Messwerte

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

* : Messungen eingestellt

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

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

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

- : keine Messwerte

* : Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten

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

N: Zahl der Messstationen

Tabelle 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	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		nSv/h							
HMI Berlin	2	83	-	83	79	72	73	70	71
KKW Brunsbüttel	2	93	93	83	[90] ⁹	72	75	78	75
KKW Brokdorf	2	55	62	65	62	62	60	61	61
KKW Krümmel	3	64	60	66	[68] ⁹	63	71	68	53
GKSS Geesthacht	1	78	78	80	80	84	[80] ⁹	84	84
KKW Stade	1	-	-	165	196	60*	[50] ⁹	[85] ^{11*}	-
KKW Unterweser	2	50	50	54	[54] ⁹	90	[90] ⁹	83	87
KKW Grohnde	3	89	88	91	88	88	85	85	-
KKW Emsland	2	75	74	[75] ³	73	66	66	66	-
KKW Würiggassen	3	95	102	105	104	-	-	-	-
KFA Jülich	12	64	55	63	59	55	64	64	61
THTR Hamm-Uentrop	2	-	74	83	92	92	90	90	89
KKW Biblis	3	-	80 - 125	73 - 128	93	85	88	88	[88] ⁹
KKW Philippsburg	4	100	99	99	112	109	105	105	105
KKW Obrigheim	3	< 200	73	73	78	75	73	72	70
KKW Neckarwestheim	2	-	53	54	58	61	58	56	56
KfK Karlsruhe	8	-	86	86	96	85	84	84	82
KKI Niederaichbach ^a	3	83	78	79	80	68	67	-	-
KKG Grafenrheinfeld ^a	3	70	86	117	118	97	109	-	-
KRB Gundremmingen II ^a	3	87	85	88	89	79	77	-	-
KKW Greifswald	20	-	-	71	54 - 81	70	72	71	71
VKTA Rossendorf	3	-	-	116	113	110	110	112	106
KKR Rheinsberg	4	-	-	-	110	105	101	100	99
KKW Mülheim-Kärlich	2								110

- : keine Messwerte

* : Ersatzwert Sonde NLÖ unweit defekter Sonde

** : Netto-Gammadosisleistung künstlich

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

a: teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

N: Zahl der Messstationen

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

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

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

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

Bei der Zusammenstellung der nachfolgenden Tabellen wurden alle Werte berücksichtigt, die bis zum 15.06.2001 vorlagen.

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

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM										
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)							
Baden-Württemberg FZ Karlsruhe	1998	11	12,7	7	Pu-238 <0,77	Pu-239/240 0,66						
							1999	11	18,3	7	<0,12	<0,18
	1998	3	Sr-90 0,8									
				1999	3	1,6						
							2000	3	2,6 (2,0 - 3,6)			
	Kernkraftwerk Obrigheim	1998	8							10,8	a)	a)
				1999	8	12,0						
							2000	8	11,3 (2,7 - 20,0)			
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	8							12,8	a)	a)
				1999	8	14,8						
							2000	8	10,3 (3,1 - 20,0)			
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	8	15,4							a)	a)	
				1999	8	14,3						a)
							2000	8	14,4 (4,7 - 28,0)			
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	8	33,0							a)	a)	
				1999	8	36,5						a)
							2000	8	32,9 (25,0 - 44,0)			
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	4	11,9							a)	a)	
				1999	4	22,1						a)
							2000	4	10,7 (8,6 - 12,0)			
TRIGA Heidelberg	1998	2	b) 18,0; 23,0							a)	a)	
				1999	2	b) 17,0; 23,0						a)
							2000	2	b) 17,0; 18,0			

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Kahl Kernkraftwerk Gundremmingen Kernkraftwerk Isar Kernkraftwerk Grafrheinfeld Forschungsreaktor München KWU Erlangen KWU Karlstein SBWK Karlstein <u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII <u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg <u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1998	2	32,5		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
	1998	12	62,0		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
	1998	12	63,9		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
	1998	10	9,3		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
	1998	2	b) 74,0; 110,0		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
	1998	4	20,0	4	
	1999	a)	a)	a)	
	2000	a)	a)	a)	
	1998	2		2	
	1999	a)		a)	
2000	a)		a)		
1998	2	20,5	2		
1999	a)	a)	a)		
2000	a)	a)	a)		
1998	2		2		
1999	a)		a)		
2000	a)		a)		
1998	4		4		
1999	a)		a)		
2000	a)		a)		
1998	8	19,7			
1999	8	18,6			
2000	8	16,8 (6,8 - 22,0)			
1998	8	7,7			
1999	8	8,6			
2000	8	11,1 (7,1 - 17,0)			
1998	10	7,4	a)	a)	
1999	10	7,5	a)	a)	
2000	9	9,1 (4,8 - 21,0)	a)	a)	

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Nuklearbetriebe Hanau	1998	6	Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche 430 715 960 (890 - 1100)	4 3 1	Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche 370 (200 - 600)	Pu-239/240 Bq/kg Asche 0,33 (N=3) 0,40 0,46
	1999	5				
	2000	4				
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1998	28	Cs-137 15,7 9,7 4,9 (1,0 - 20,0)	18 18 a)	U-235 0,8 0,9 a)	
	1999	26				
	2000	11				
Zwischenlager Nord	1999	42	<5,9			
	2000	36	<5,0 (0,40 - 20,0)			
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1998	16	<16,8 15,5 a)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	14				
	2000	a)				
Kernkraftwerk Unterweser	1998	8	14,5 13,9 20,5 (2,9 - 46,0)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	12				
	2000	12				
Kernkraftwerk Grohnde	1998	10	15,1 23,1 a)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	10				
	2000	a)				
Kernkraftwerk Emsland	1998	7	21,6 18,2 a)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	10				
	2000	a)				
Zwischenlager Gorleben	1998	16	40,5 29,6 a)	a) 4 a)		a) 0,8 a)
	1999	22				
	2000	a)				
FMRB Braunschweig	1998	6	18,7 a) a)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	a)				
	2000	a)				
Schacht Konrad II c)	1998	a)	a) a) a)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	a)				
	2000	a)				
Advanced Nuclear Fuels Lingen	1998	3	421 a) a)	3 a) a)		Bq/kg Asche U-234 5,5 a) a) U-235 0,29 a) a) U-238 5,6 a) a)
	1999	a)				
	2000	a)				
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	1998	8	Cs-137 8,0 10,4 8,6 (4,1 - 17,0)	6 6 6		Sr-90 (Bq/kg Trockenmasse) 2,2 2,6 1,3 (0,5 - 2,1)
	1999	10				
	2000	10				
Kernkraftwerk Würgassen	1998	22	18,4 19,0 18,8 (6,8 - 51,0)			
	1999	20				
	2000	20				
Kernkraftwerk Uentrop	1998	8	38,2 24,5 18,7 (5,4 - 33,8)	a) a) a)		a) a) a)
	1999	8				
	2000	8				

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg TM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Zwischenlager Ahaus	1998	12	15,1	6	2,2
	1999	5	16,4	5	0,8
	2000	5	10,3 (6,0 - 15,0)	5	0,9 (0,5 - 1,2)
			U-238 TM		
UAG Gronau	1998	10	0,2 (0,2 - 0,2)		
	1999	10	<0,1 (<0,1 - <0,1)		
	2000	10	<0,2 (<0,2 - <0,2)		
<u>Rheinland-Pfalz</u>			Cs-137		
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1998	8	13,9		
	1999	8	13,0		
	2000	8	11,3 (7,5 - 16,0)		
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1998	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
<u>Sachsen</u>					
Rosendorf	1998	16	9,3		
	1999	16	11,4		
	2000	16	8,6 (0,4 - 21,0)		
<u>Sachsen-Anhalt</u>					
Endlager Morsleben	1998	8	11,2	4	0,9
	1999	8	9,1	4	<0,6
	2000	8	9,6 (3,7 - 19,0)	4	0,9 (0,4 - 1,5)
					Sr-90
<u>Schleswig-Holstein</u>					
GKSS	1998	10	10,2	2	0,4
Geesthacht	1999	10	9,3	2	0,5
	2000	10	12,2 (4,9 - 21,0)	2	0,5
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1998	8	33,2	2	1,9
	1999	8	37,3	2	2,6
	2000	8	31,8(23,0 - 44,1)	2	b)1,0; 3,4
Kernkraftwerk Krümmel	1998	12	10,1	6	0,9
	1999	12	8,8	6	0,9
	2000	12	8,6 (5,7 - 10,5)	6	0,9 (0,7 - 1,6)
Kernkraftwerk Brokdorf	1998	16	24,3	16	2,4
	1999	16	22,6	16	2,0
	2000	16	19,7 (5,8 - 42,0)	8	2,7 (0,8 - 5,2)

a) Messwerte lagen nicht vor ;

b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

c) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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

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

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
					Pu-238	Pu-239/240	
<u>Baden-</u>			Cs-137				
<u>Württemberg</u>	1998	6	0,4	4	<0,05	<0,04	
FZ Karlsruhe	1999	6	0,0	4	<0,06	<0,05	
	2000	6	0,2 (0,3 - 4,2)	4	<0,06(<0,02-<0,15)	<0,03 (<0,02-0,07)	
					Sr-90		
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	8	0,7				
	1999	8	,4				
	2000	8	0,4 (0,2 - 0,5)				
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	8	0,7				
	1999	8	0,8				
	2000	8	0,5 (0,2 - 0,8)				
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	8	0,4	a)	a)		
	1999	8	0,0	a)	a)		
	2000	8	0,2 (0,2 - 8,5)	a)	a)		
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	8	0,6				
	1999	8	0,8				
	2000	8	0,7 (0,4 - 5,5)				
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	4	0,9				
	1999	4	0,5				
	2000	4	<0,5 (<0,3 - 0,7)				
TRIGA Heidelberg	1998	2	1,1				
	1999	2	0,4				
	2000	2	0,2 (0,2 - 0,3)				
<u>Bayern</u>							
Kernkraftwerk Kahl	1998	3	0,3				
	1999	a)	a)				
	2000	a)	a)				
Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	12	<1,9				
	1999	a)	a)				
	2000	a)	a)				
Kernkraftwerk Isar	1998	12	<5,6 (<0,3 - 27,0) erhöhter Wert durch Bodenkontamination				
	1999	a)	a)				
	2000	a)	a)				
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	10	<0,4				
	1999	a)	a)				
	2000	a)	a)				
Forschungsreaktor München	1998	2	1,7				
	1999	a)	a)				
	2000	a)	a)				
			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240	
KWU Erlangen	1998	4	<2,1	2	b) <0,055 - <0,072	<0,05 (N=4)	
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	
KWU Karlstein	1998	2	<0,5	2	b) <0,05-<0,1	< 0,02 (N=1)	
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Gesamt-α-Aktivität		Sr-90
SBWK Karlstein	1998	2	200,0		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1998	8	<2,3		
	1999	8	<3,9		
	2000	7	<1,3 (<0,3 - 2,3)		
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	8	2,1		
	1999	8	4,6		
	2000	8	4,4 (0,8 - 13,0)		
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1998	10	<0,5	a)	a)
	1999	10	<0,5	a)	a)
	2000	9	<0,3 (<0,1 - 0,7)	a)	a)
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche
Nuklearbetriebe Hanau	1998	7	260	4	1460
	1999	3	180	1	b) <0,1- <0,7 (N=2) <0,05
	2000	3	230 (140 - 310)	a)	a)
			Cs-137		Sr-90
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1998	20	<1,3		
	1999	21	<1,6		
	2000	16	<1,1 (<0,1 - 5,8)		
Zwischenlager Nord	1999	36	<1,4		
	2000	30	<1,2 (<0,1 - 6,1)		
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1998	12	<0,8		
	1999	14	<1,4 (0,2 - 4,7)		
	2000	a)	a)		
Kernkraftwerk Unterweser	1998	3	1,9	a)	a)
	1999	12	<1,7	a)	a)
	2000	12	<0,9 (<0,2 - 3,5)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1998	10	<0,4	a)	a)
	1999	10	<0,4	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Emsland	1998	6	1,7		
	1999	10	2,3		
	2000	a)	a)		
Zwischenlager Gorleben	1998	16	51,4	4	3,5
	1999	16	85,8	4	2,9
	2000	a)	a)	a)	a)
FMRB Braunschweig	1998	4	2,2		
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Schacht Konrad II b)	1998	a)		a)	
	1999	a)		a)	
	2000	a)		a)	
<u>Nordrhein- Westfalen</u> KFA Jülich	1998	10	<0,4		
	1999	10	<0,4		
	2000	10	<0,4 (0,1 - 0,6)		
Kernkraftwerk Würgassen	1998	12	<0,8		
	1999	12	<0,4		
	2000	12	<0,5 (<0,2 - 1,7)		
Kernkraftwerk Uentrop	1998	10	<1,9		
	1999	8	<1,0		
	2000	8	<2,7 (0,4 - 9,4)		
Zwischenlager Ahaus	1998	13	<1,9	13	2,2
	1999	10	6,0	9	2,1
	2000	10	<1,8 (0,1 - 4,5)	9	2,1 (0,3 - 4,3)
UAG Gronau			Uran Bq/kg Trockenmasse	Uran µg/kg TM Fluor mg/kg TM	
	1998	18	<0,24 U-238	18	<0,7
	1999	6	<1,0 U-238	12	<0,27
	2000	4	<0,3 (<0,3 - <0,3) U-238	12	<0,34(<0,23-1,0) 1,7 (0,7 - 3,1)
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich			Cs-137	Sr-90	
	1998	6	<0,4		
	1999	7	<1,2		
2000	8	<0,7 (<0,2 - 3,4)			
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1998	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben			Gesamt-β-Aktivität		
	1998	8	<0,8	4	1120
	1999	8	<0,5	4	1065
2000	8	<0,4 (<0,2 - 1,0)	4	1070 (690 - 1400)	
<u>Sachsen</u> Rossendorf			Sr-90		
	1998	16	5,5		
	1999	16	<6,3		
2000	16	6,5 (0,6 - 35,0)			
<u>Schleswig-Holstein</u> GKSS Geesthacht	1998	8	1,9		
	1999	8	2,0		
	2000	8	2,8 (0,7 - 4,5)		
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1998	8	1,3	a)	a)
	1999	8	<0,4	a)	a)
	2000	8	<0,4 (<0,2 - 0,9)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Krümmel	1998	8	1,0	6	3,2
	1999	8	0,9	6	3,0
	2000	8	0,5 (0,2 - 1,5)	6	2,7 (1,4 - 3,7)
Kernkraftwerk Brokdorf	1998	14	<1,4	a)	a)
	1999	14	<1,2	a)	a)
	2000	14	<1,5 (<0,3 - 6,9)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor ; b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll

b) Im Genehmigungsverfahren befindliches Endlagerprojekt

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

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

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe			Sr-90		Cs-137		I-131
	1999	2	0,02	2	<0,05	a)	a)
	2000	2	0,04 (0,03 - 0,04)	2	<0,24 (<0,05 - 0,43)	a)	a)
Kernkraftwerk Obrigheim	1999	4	0,03	4	<0,08	10	<0,009 - <0,012
	2000	4	0,03 (0,02 - 0,04)	4	<0,08 (<0,06 - <0,10)	10	<0,008 - <0,012
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1999	4	0,03	4	<0,11	10	<0,010 - <0,013
	2000	4	0,04 (0,02 - 0,05)	4	<0,06 (0,03 - <0,10)	10	<0,008 - <0,010
Kernkraftwerk Philippsburg	1999	4	0,02	4	<0,04	12	<0,007 - <0,013
	2000	4	0,02 (0,02 - 0,03)	4	<0,05 (<0,01 - 0,09)	12	<0,005 - <0,011
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt, Schweiz	1999	5	0,07	6	<0,07	11	<0,007 - <0,013
	2000	5	0,07 (0,03 - 0,20)	5	<0,09 (<0,06 - 0,13)	11	<0,006 - <0,013
Kernkraftwerk Fessenheim, Frankreich	1999	4	0,02	4	<0,12	10	<0,007 - <0,015
	2000	4	0,04 (0,02 - 0,07)	4	<0,12 (<0,09 - <0,14)	10	<0,008 - <0,011
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Isar	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l		Aktivität in Bq/l		Bereich
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Brandenburg			Sr-90		Cs-137	
Kernkraftwerk Rheinsberg	1999	4	0,03	4	<0,11	a)
	2000	4	0,02 (0,01 - 0,03)	4	<0,09 (<0,08 - <0,12)	a)
Hessen						
Kernkraftwerk Biblis	1999	10	<0,02	10	<0,13	29
	2000	4	0,02 (0,01 - 0,02)	10	<0,06 (<0,01 - <0,02)	25
Mecklenburg- Vorpommern						
Kernkraftwerk Greifswald	1999	6	0,04	6	<0,12	6
	2000	3	0,02 (0,02 - 0,03)	3	<0,11 (<0,09 - <0,12)	3
Niedersachsen						
Kernkraftwerk Stade	1999	4	<0,02	4	<0,10 (<0,07 - 0,16)	12
	2000	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	4	0,03	4	<0,07	12
	2000	4	0,03 (0,02 - 0,03)	4	<0,09 (<0,06 - 0,12)	12
Kernkraftwerk Grohnde	1999	4	0,03	4	<0,07	12
	2000	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Emsland	1999	4	0,02	4	0,09	12
	2000	a)	a)	a)	a)	a)
Schacht Konrad II b)	1999	a)	a)	a)	a)	-
	2000	a)	a)	a)	a)	-
Zwischenlager Gorleben	1999	12	0,03	23	0,52 (0,13 - 2,20)	2
	2000	a)	a)	a)	a)	a)
Nordrhein-Westfalen						
KFA Jülich	1999	2	<0,01	2	<0,10	30
	2000	4	<0,04 (<0,04 - 0,04)	4	<0,06 (<0,02 - <0,09)	38
Kernkraftwerk Würgassen	1999	a)	a)	a)	a)	
	2000	a)	a)	a)	a)	
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	1999	a)	a)	a)	a)	
	2000	a)	a)	a)	a)	
UAG Gronau	1999	8	<0,23	8	<0,08	
	2000	12	<0,23 (<0,23 - <0,23)	12	<0,25 (<0,08 - <0,42)	
Rheinland-Pfalz			Sr-90		Cs-137	
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	4	0,04	4	0,03	2
	2000	4	0,04 (0,02 - 0,06)	4	<0,03 (<0,02 - 0,06)	a)
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1999	a)	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Sr-90		Aktivität in Bq/l		I-131	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1999	a)	a)	4	<0,18	-	-
	2000	a)	a)	4	<0,23 (0,10 - 0,45)	-	-
Sachsen Rossendorf	1999	1	0,05	4	<1,11	2	<0,043 - <0,046
	2000	2	b) 0,03 - 0,04	4	<0,20 (<0,06 - <0,58)	2	<0,052 - <0,060
Schleswig-Holstein GKSS Geesthacht	1999	4	0,07	4	0,13	12	<0,002 - <0,007
	2000	4	0,06 (0,05 - 0,08)	4	<0,24 (<0,06 - 0,34)	12	<0,003 - <0,008
Schleswig-Holstein Kernkraftwerk Brunsbüttel	1999	4	0,05	4	0,15	32	<0,008 - <0,010
	2000	4	0,03 (0,03 - 0,04)	4	0,07 (0,03 - 0,12)	32	<0,005 - <0,010
Kernkraftwerk Krümmel	1999	8	0,04	8	0,07	24	<0,008 - <0,010
	2000	8	0,04 (0,01 - 0,11)	8	0,11 (0,04 - 0,28)	24	<0,007 - <0,010
Kernkraftwerk Brokdorf	1999	8	0,04	8	<0,06	24	<0,008 - <0,010
	2000	8	0,03 (0,02 - 0,04)	8	0,05 (0,02 - 0,15)	24	<0,007 - <0,010

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

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

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) für das **Jahr 2000**. Die Auswertung der insgesamt 2313 (1999: 3793) Einzelwerte von 232 (1999: 300) Probenentnahmestellen – siehe Tabelle 1 - erfolgte gemäß den Hinweisen in Kapitel I Abschnitt 3.3.1.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasser** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte nicht oder allenfalls in Einzelfällen nachweisbar. Die Nuklidgehalte relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l und 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 vernachlässigbar. Erhöhte **Tritium** (H-3)-Gehalte wurden in Proben gemessen, die unmittelbar an Auslaufbauwerken genommen wurden. Die Einzelwerte betragen hier bis zu 320 Bq/l (KKW Biblis/Rhein). In Folge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die Gehalte wieder deutlich zurück (siehe auch Kapitel I Abschnitt 3.3.1). Einzelne Bestimmungen von **Plutonium-238** (Pu-238) und Pu-239/240 an Wasserproben ließen kaum Auswirkungen der jeweiligen Anlagen im Vorfluter erkennen (KKW Brunsbüttel/Elbe, Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang).

In **Sedimentproben** aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. Mittlere Gehalte an **Kobalt-60** (Co-60) bis 35,5 Bq/kg TM wurden vereinzelt in Sedimenten direkt am Auslaufbauwerk gemessen (KKW Würgassen/Weser). Diese gingen jedoch bei in geringer Entfernung entnommenen Proben wieder zurück. Aufgrund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 waren entsprechende Auswirkungen von kerntechnischen Anlagen auch hier praktisch nicht aufzeigbar. Die ausnahmsweise höchsten Cs-137-Werte stammten vom Hirschkanal (Forschungszentrum Karlsruhe) mit 498 Bq/kg TM im Mittel. Erhöhte Gesamt-Alpha-Aktivität ($G\alpha$) und Uran-Gehalte wurden wiederum im Doppelbiergraben (Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang) gemessen. Die Werte von $G\alpha$, **Uran-234** (U-234), U-235 und U-238 lagen hier bei 3500, 1000, 40 und 460 Bq/kg GR (GR = Glührückstand). Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und Pu-239/240 ergaben durchweg Gehalte unterhalb von 0,3 bzw. 0,6 Bq/kg TM (Forschungszentrum Karlsruhe, KKW Brunsbüttel, Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang).

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

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in **Oberflächenwasser** ist aus strahlenhygienischer Sicht praktisch vernachlässigbar. Geringfügig erhöhte H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen KKW Cattenom mit Jahresmittelwerten bis 19 Bq/l in der Mosel auf (Wincheringen, km 222,2). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, ergibt sich die auf dem "**Trinkwasser-Pfad**" für Erwachsene resultierende zusätzliche effektive Dosis zu ca. 0,25 μ Sv/a. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert nach § 45 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 300 μ Sv/a zu unter 0,1 % ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-58 von ca. 0,2 und an Co-60 von unter 0,15 Bq/kg TM aus dem KKW Cattenom konnten an **Sedimentproben** aus der Mosel (Perl, km 239,7 bis km 242,0) gemessen werden. Für den Fall, dass hier aus verkehrswasserwirtschaftlichen Gründen Sohlenmaterial gebaggert und an

Land gelagert werden muss, kann die auf den besonders sensitiven Expositionspfad **“Aufenthalt auf Spülfeldern“** zu erwartende zusätzliche externe effektive Dosis für Standardbedingungen zu unter 0,1 µSv/a abgeschätzt werden; sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 45 StrlSchV.

Tabelle 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/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,017	<0,024	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,023	<0,035	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,024	<0,033	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor KKW Leibstadt	1	-	0,51	0,51	0,51	-
		nach KKW Leibstadt	1	-	0,60	0,60	0,60	-
	Co-60	vor Aareeinmündung	-	-	-	-	-	nn
		nach KKW Leibstadt	1	1	<0,70	<0,70	nn	1,70
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	-	6,50	7,60	7,05	9,40
		vor KKW Leibstadt	2	-	13,0	17,0	15,0	9,45
nach KKW Leibstadt	2	-	9,48	13,0	11,2	9,05		
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil	12	11	<8,0	<8,0	nn	nn
		Breisach	12	11	7,2	<8,0	<7,9	nn
	Co-60	Weil	12	12	<0,013	<0,041	nn	nn
		Breisach	12	12	<0,018	<0,035	nn	nn
	Cs-137	Weil	-	-	-	-	-	0,020
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Breisach, km 232,0	1	-	0,77	0,77	0,77	-
	Cs-137	Grissheim, km 206,5	2	-	2,60	3,90	3,25	4,35
		Breisach, km 232,0	2	-	4,00	4,60	4,30	4,45
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	12	1	<8,0	220	75	601
	Co-60	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,015	<0,030	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0099	<0,029	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Gß	Hirschkanal	4	-	1400	1700	1600	1800
	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	-	3,40	13,0	8,0	12,3
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	-	2,90	23,0	10,5	8,10
		Hirschkanal	4	-	360	760	498	323
	Pu-238	Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	4	-	0,13	0,29	0,22	0,35
	Pu-239/240	Rheinniederungskanal, 100 m unterhalb Auslaufbauwerk	4	-	0,36	0,55	0,48	0,56

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	11	6	<8,0	16,0	<10,2	15,7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0083	<0,018	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,014	<0,021	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	vor Auslaufbauwerk	3	-	1,00	3,60	2,07	-
		am Auslaufbauwerk	4	-	2,90	5,70	4,03	1,50
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	-	0,57	0,57	0,57	2,80
		am Auslaufbauwerk	4	-	3,10	5,80	4,85	2,23
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	11,0	18,0	15,3	17,8
		am Auslaufbauwerk	4	-	19,0	20,0	19,3	17,5
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	am Auslaufbauwerk	3	2	<6,0	320	<111	113
	Co-60	am Auslaufbauwerk	3	3	<0,030	<0,040	nn	nn
		Sr-90	am Auslaufbauwerk	-	-	-	-	nn
Cs-137	am Auslaufbauwerk	3	3	<0,030	<0,040	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,60	<1,10	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,50	<2,80	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	-	4,80	12,0	9,3	7,95
		nach Auslaufbauwerk	3	-	9,40	26,0	15,5	15,2
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	-	4,5	8,0	5,5	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	-	4,5	9,7	7,4	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,013	<0,029	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,015	<0,028	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,011	<0,030	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,013	<0,030	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 596,5	2	2	<0,35	<0,54	nn	nn
		bzw. 604,5						
	nach Auslaufbauwerk, km 621,4	02	-	0,48	0,52	0,50	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 596,5	2	-	12,0	15,0	13,5	23,9
bzw. 604,5								
nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2	-	10,0	14,0	12,0	17,0		
NECKAR / KKW Neckarwestheim								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk I und II	4	-	29,0	63,0	42,8	46,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,016	<0,019	nn	nn
am Auslaufbauwerk I und II		4	4	<0,019	<0,031	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	3,90	6,30	5,10	8,10
		nach Auslaufbauwerk	2	-	4,40	4,60	4,50	4,85
NECKAR / KKW Obrigheim								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	1	<8,0	11,0	9,7	<8,3
		am Auslaufbauwerk	4	-	12,0	21,0	16,0	22,7
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,023	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,015	<0,022	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	1	<0,70	<0,70	nn	-
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	1	-	0,59	0,59	0,59	0,76
nach Auslaufbauwerk		2	-	1,30	12,0	6,65	9,45	

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
MAIN / KKW Grafenrheinfeld a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6						2,1 5,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6					nn nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6					0,0010 <0,0015	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6					nn nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6 nach Auslaufbauwerk, km 323,6					30,3 37,6	
KINZIG / DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächenw. (Bq/l)	Gα	Ablauf Kläranlage Hanau	6	6	<0,11	nn	<0,12	<0,13
	Sr-90	Kinzig, Hanau	4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,011	<0,015	nn	nn
	U-234		4	-	0,0050	0,013	0,010	0,011
	U-235		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
	U-238		4	2	<0,0050	0,0050	0,0050	0,0055
	Pu-238		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
	Pu-239/240		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
Sediment (Bq/kg GR) (GR = Glührückstand)	Gα	Kinzig, vor Einleitung Doppelbiergraben	1	-	730	730	730	740
		Kinzig, nach Einleitung Doppelbiergraben	1	-	1100	1100	1100	995
		Doppelbiergraben	1	-	3500	3500	3500	-
	Cs-137	Kinzig, Hanau	4	-	5,00	18,8	9,52	4,57
	U-234	Doppelbiergraben	1	-	1000	1000	1000	2100
	U-235		1	-	40,0	40,0	40,0	81,0
	U-238		1	-	460	460	460	1030
	Pu-238		1	1	<0,043	<0,043	nn	<0,068
	Pu-239/240		1	-	0,42	0,42	0,42	0,29
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächenw. (Bq/l)		keine Werte / s. a. Kapitel I Abschnitt 3.3.1						
Sediment (Bq/kg TM)		keine Werte / s. a. Kapitel I Abschnitt 3.3.1						
DONAU / KKW Gundremmingen a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0						2,4 2,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0					nn nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2546,0					0,0008 0,0009	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2548,5					nn 2,21	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk Staustufe Faimingen, km 2548,5					144 40,9	

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
ISAR / KKW Isar 1 und 2 a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0						1,8 2,1
	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0						nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0						0,0008 0,0010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0						nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1 Staustufe Niederaichbach, km 60,0						77,5 57,6
ISAR / Forschungsreaktor München a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6						1,9 1,9
	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6						nn nn
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6						0,0007 0,0010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6						nn nn
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7 Grünecker Brücke, km 124,6						13,5 25,1
EMS / KKW Emsland a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	am Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk, km 106,3						1978 1,6
	Co-60	nach Auslaufbauwerk, km 106,3						nn
	Sr-90	nach Auslaufbauwerk, km 106,3						0,0005
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4 4	4 4	<0,18 <0,46	<0,22 <0,60	nn nn	nn nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7 nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4 4	- -	8,30 48,0	13,0 71,0	9,9 55,8	9,53 53,8
WESER / KKW Würgassen								
Oberflächenw. (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 - 2	<2,10 34,0 <3,50	<3,30 37,0 <5,00	nn 35,5 nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2 am Auslaufbauwerk, km 49,6 Wehrden, km 60,2	2 2 2	- - -	16,0 37,0 24,0	24,0 40,0 28,0	20,0 38,5 26,0	12,0 41,0 24,5

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
WESER / KKW Grohnde a)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 116,4 nach Auslaufbauwerk, km 126,5						1,2 1,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 116,4 nach Auslaufbauwerk, km 126,5					nn nn	
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk, km 116,4 nach Auslaufbauwerk, km 126,5					0,0022 0,0022	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 116,4 nach Auslaufbauwerk, km 126,5					0,0001 0,0001	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,36	<0,71	nn	nn
		Hamel, km 135	4	4	<0,53	<0,53	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	-	11,0	24,0	17,3	22,0
		Hamel, km 135	4	-	20,0	20,0	20,0	19,5
UNTERWESER / KKW Unterweser								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1 nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	-	0,81	1,60	1,05	1,08
			4	-	0,74	1,10	0,94	1,15
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1 nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	-	7,50	12,0	9,1	10,3
			4	-	8,40	15,0	12,0	14,0
RUR / Forschungszentrum Jülich								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Selhausen	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	Selhausen	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<3,20	<4,00	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<1,90	<2,70	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	-	20,0	22,0	21,0	22,5
		Jülich-Süd	2	-	26,0	30,0	28,0	26,0
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächenw. (Bq/l)	Gα	Retentionsanlage unterhalb der Straßenkreuzung	4	-	0,060	0,070	0,065	<0,090
			12	9	<0,060	0,090	<0,068	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<3,00	<3,00	nn	nn
			2	2	<2,00	<3,00	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	-	98,0	130	114	180
			2	-	40,0	56,0	48,0	40,0
	Uran	Retentionsanlage unterhalb der Straßenkreuzung	1	-	3,17	3,17	3,17	16,2
			1	-	0,34	0,34	0,34	52,5
AHAUSER AA / MOORBACH / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächenw. (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
			4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3	Ahauser Aa	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
			4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
	Cs-137	Ahauser Aa	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
			4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Moorbach	4	4	<2,00	<5,00	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<2,40	<5,00	nn	nn
	Cs-137	Moorbach	4	-	20,0	61,0	41,3	66,8
		Ahauser Aa	4	-	61,0	72,0	64,8	118

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0070	<0,017	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0060	<0,015	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0070	<0,017	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0070	<0,013	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	2	2	<0,54	<0,74	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	2	<0,44	<0,72	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	2	1	<0,83	0,99	<0,91	1,05
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	1	0,76	<0,87	<0,82	<0,83
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächenw. (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	<0,0059	<0,013	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0068	<0,012	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<0,0073	<0,016	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0082	<0,015	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 580,0	4	4	<0,51	<0,77	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582,0	4	4	<0,48	<0,72	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580,0	4	-	1,00	3,80	1,88	1,35
		nach Auslaufbauwerk, km 582,0	4	2	0,39	0,74	0,57	0,64
ELBE / KKW Brokdorf								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	8	8	<0,70	<1,50	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	6	<0,63	<1,10	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	8	1	0,77	8,70	4,25	6,23
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	2	<0,67	8,30	3,18	5,47
ELBE / KKW Stade								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	3	<10,0	19,0	<12,3	<19,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0044	<0,0053	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0046	<0,0066	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0045	<0,0062	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 635 am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0051	<0,0060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654 nach Auslaufbauwerk, km 660	4	3	<0,26	0,41	<0,33	0,64
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	2	<0,30	0,51	0,47	0,43
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654 nach Auslaufbauwerk, km 660	4	-	4,40	11,0	7,7	8,63
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	-	6,20	12,0	9,6	9,90

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Elbe, km 690	4	3	<5,3	8,4	<6,1	nn
		Elbe, km 693	2	2	<5,2	<5,2	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<5,2	<5,2	nn	nn
	Co-60	Elbe, km 690	4	4	<0,0080	<0,011	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	0,0093	<0,0099	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<0,0076	<0,011	nn	nn
	Sr-90	Elbe, km 690	4	-	0,0043	0,0062	0,0052	0,0058
		Elbe, km 693	2	-	0,0042	0,0042	0,0057	0,0059
		Elbe, km 698	2	-	0,0049	0,0061	0,0055	0,0057
	Cs-137	Elbe, km 690	4	4	<0,0076	<0,012	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<0,0096	<0,010	nn	nn
		Elbe, km 698	2	1	<0,0072	0,0083	<0,0078	nn
	Pu-238	Elbe, km 690	1	1	<0,0001	<0,0001	nn	nn
		Pu-239/240	Elbe, km 690	1	-	0,0004	0,0004	0,0004
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	4	4	<0,55	<1,50	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<1,10	<1,40	nn	nn
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	4	4	<0,58	<1,30	nn	nn
	Cs-137	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	4	-	0,73	4,60	2,18	1,95
		am Auslaufbauwerk	4	-	3,20	5,80	4,30	7,00
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	4	1	<1,10	2,80	1,40	2,93
	Pu-238	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	-	0,0049	0,0049	0,0049	0,026
		am Auslaufbauwerk	1	-	0,036	0,036	0,036	0,049
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	-	0,0049	0,0049	0,0049	0,044
	Pu-239/240	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	-	0,031	0,031	0,031	0,14
		am Auslaufbauwerk	1	-	0,20	0,20	0,20	0,27
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	-	0,032	0,032	0,032	0,24
	HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)							
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<5,1	<5,4	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<5,1	<5,3	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0015	<0,0022	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0010	<0,0030	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	0,0080	0,010	0,009	0,0063
nach Auslaufbauwerk		4	-	0,0080	0,010	0,009	0,0079	
HAVEL / KKW Rheinsberg (Fortsetzung)								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	-	0,20	0,20	0,20	<0,20
		nach Auslaufbauwerk	2	-	<0,14	<0,15	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	21,0	23,0	22,0	24,0
		nach Auslaufbauwerk	2	-	1,10	8,70	4,90	5,10
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	9	3	<3,5	5,7	3,8	4,0
		nach Auslaufbauwerk	9	2	<3,5	4,5	3,6	4,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	9	7	<0,0055	0,012	<0,0067	nn
		nach Auslaufbauwerk	9	9	<0,0049	<0,0079	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	9	-	0,023	0,044	0,031	0,025
		nach Auslaufbauwerk	9	-	0,020	0,041	0,032	0,028

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umwelt- medium	Nuklid	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 2000		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	2000	1999
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	3	3	<0,19	<0,22	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	3	3	<0,19	<0,25	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	-	6,50	8,20	7,50	11,1
		nach Auslaufbauwerk	3	-	11,0	14,0	12,3	7,63
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächenw. (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	<0,0050	<0,0070	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0070	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0070	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,17	<0,17	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1	-	7,40	7,40	7,40	4,40
ELBE/KALTER BACH/DITTERSBACH / Forschungszentrum Rossendorf								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<10,0	<10,0	nn	nn
		Kalter Bach	4	-	29,0	44,0	37,0	57,0
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<10,0	<10,0	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	4	-	0,013	0,021	0,017	0,027
	Cs-137	Dittersbach	2	2	<0,0022	<0,0024	nn	nn
		Kalter Bach	4	3	<0,013	0,011	<0,015	0,0084
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<0,0022	<0,0022	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<0,0023	<0,0025	nn	nn
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	2	-	3,20	1,80	2,50
Cs-137		Dittersbach	2	-	3,30	5,10	4,20	3,10
		Kalter Bach	2	-	15,0	16,0	15,5	18,9
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2	-	1,40	5,40	3,40	8,35

a) Werte lagen bei Redaktionsschluss 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 (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern erhalten wurden. Im Berichtsjahr 2000 wurden für 21 kerntechnische Anlagen γ -spektrometrische Messungen (vor allem **Cäsium-137**) an 103 Fischfleischproben und 2 Wasserpflanzenproben, sowie für 5 Anlagen **Strontium-90**-Messungen an 27 Fischfleischproben durchgeführt. Bei 2 Anlagen an der Elbe wurden an 5 Fischfleischproben auch Bestimmungen der sehr niedrigen Aktivitätskonzentrationen von **Plutonium-239,240**-Bestimmungen durchgeführt. Hinsichtlich der Fischarten ergab sich, dass Proben von 18 Süßwasserfischarten, Mischproben (Süßwasser), 5 marinen Arten aus Flussunterläufen bzw. Ästuaren sowie nicht arten-spezifisch untersucht wurden. Die Wasserpflanzen wurden ebenfalls nicht spezifiziert. Die statistische Auswertung der Daten wurde ebenso wie im Kapitel I 3.4.3 beschrieben durchgeführt.

Die Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 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 2000 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich im Rahmen der statistischen Streuung keine Veränderung zu verzeichnen. Die im Messprogramm für das außer Betrieb befindliche Kernkraftwerk Rheinsberg erhaltenen höheren Cs-137-Gehalte im Fisch sind darauf zurückzuführen, dass die Proben nicht einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Eilbogensee) entnommen wurden, so dass die gefundenen Cäsium-Aktivitäten, auch Cs-134 im Falle des Stechlinsees, auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben ebenfalls höhere Cäsium-Gehalte auf.

Bei den wenigen in Tabelle 1 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 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 2000 (im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(*Specific activity in fish and aquatic plants in the year 2000 within the framework of ambient surveillance for nuclear plants*)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte <NWG; Pu-239 steht für die Summe Pu-239 + Pu-240)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg) FM							
Donau	KRB II a) Gundremmingen						
Elbe	GKSS	Cs-137	6	0	0,16	0,4	0,30
	Geesthacht						
	KKK	Sr-90	8	1	0,016	0,051	0,020
	Krümmel	Cs-137	8	0	0,14	0,37	0,30
		Pu-239	4	4	<0,00031	<0,00050	<0,0004
	PKA a) Gorleben						
	KKS	Cs-137	4	0	0,22	0,34	0,23
	Stade						
KBR	Sr-90	6	6	<0,007	<0,013	<0,008	
Brokdorf	Cs-137	6	0	0,34	0,63	0,55	
KKB	Sr-90	10	9	<0,0075	0,014	0,010	

Fortsetzung Tabelle 1

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
	Brunsbüttel	Cs-137 Pu-239	15 1	0 1	0,11 <0,00029	0,99 <0,00029	0,38 <0,00029
Ems	KKE Emsland	Cs-137	8	0	0,31	3,1	0,71
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-137	6	0	0,25	4,7	0,87
Hartteich	Rosendorf	Sr-90 Cs-137	1 1	0 0	0,062 0,20	0,062 0,20	0,062 0,20
Isar	KKI 1/2 Isar a)						
Main	KKG a) Grafenrheinfeld VAK a) Kahl						
Neckar	GKN Neckarwestheim KWO Obrigheim	Cs-137 Cs-137	2 2	0 0	0,13 0,20	1,0 0,42	0,57 0,31
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz) Biblis Fessenheim (Frankreich) KKP Philippsburg Mülheim-Kärlich	Co-58 Cs-137 Sr-90 Cs-137 Cs-137 Cs-137 Cs-137	1 2 2 6 2 3 4	0 0 0 0 0 0 0	0,11 0,37 0,017 0,13 0,12 0,14 0,20	0,11 0,41 0,025 0,25 0,49 0,19 0,44	0,11 0,39 0,021 0,20 0,31 0,18 0,21
Rheinniederungskanal	KfK Karlsruhe	Cs-137	1	0	0,37	0,37	0,37
Rur	KFA Jülich	Cs-137	4	0	0,29	0,64	0,36
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-134 Cs-137	3 4	0 0	0,20 15	0,50 150	0,30 77
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	3	0	8,1	12	12
Weser	KWG Grohnde KKU Unterweser	Cs-137 Cs-137	5 6	1 0	<0,035 0,13	0,13 0,37	0,079 0,18
Wasserpflanzen (Bq/kg) TM							
Ahauser Aa	Ahaus	I-131 Cs-137	1 1	0 0	1,3 0,36	1,3 0,36	1,3 0,36
Moorbach	Ahaus	Co-60	1	1	<0,5	<0,5	<0,5
Isar	FRM a) Garching KKI 1/2 a) Isar						

a) die Daten lagen bis 29.06.2001 noch nicht vor

1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser (Groundwater and drinking water)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischen Anlagen sind im Jahr 2000 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1 übersichtlich zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze, der Minimal und der Maximalwert sowie der Median der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 160 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 98% der Messwerte unterhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,63 mBq/l bis 98 mBq/l. Messwerte über der Nachweisgrenze liegen im Konzentrationsbereich zwischen 2,6 mBq/l und 17 mBq/l (1999: 0,53 bis 67 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei < 24 mBq/l (1999: < 28 mBq/l).

Die Werte für die **Strontium-90**-Aktivitätskonzentrationen (50% der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 0,80 mBq/l und 16 mBq/l (1999: 0,23 bis 12 mBq/l). Der Median liegt bei 2,8 mBq/l (1999: 5,1 mBq/l).

Die berichtete **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,025 Bq/l und 4,9 Bq/l (1999: 0,024 bis 6,1 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von < 0,20 Bq/l (1999: 0,20 Bq/l), wobei sämtliche Messwerte oberhalb 0,1 Bq/l im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Hanauer Nuklearbetriebe in Hessen ermittelt wurden. Erhöhte Werte wurden in Überwachungsbrunnen auf dem Werksgelände in unmittelbarer Nähe des Fertigungsgebäudes des SIEMENS-Brennelementwerkes Hanau (früher RBU I) erstmals nach Leckagen im Kühlwasserkreislauf im Jahr 1986 festgestellt. Ebenfalls treten sie lokal auf dem Betriebsgelände der Fa. NUKEM auf. Die Gesamt- α -Aktivitätswerte sind dort hauptsächlich auf Uranisotope zurückzuführen.

Die **Rest- β** -Aktivitätskonzentration wurde in 36 Proben gemessen. Alle Werte lagen unterhalb der gefundenen Nachweisgrenzen (1999: 0,2 Bq/l). Der Median aller Werte beträgt < 0,10 Bq/l (1999: < 0,17 Bq/l).

In 30% der untersuchten Wasserproben wurde **Tritium** im Konzentrationsbereich von 0,53 Bq/l bis 410 Bq/l nachgewiesen (1999: 0,26 Bq/l bis 690 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei < 9,0 Bq/l (1999: < 7,0 Bq/l). Die Werte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Werten im Niederschlag, die zwischen 1 und 2 Bq/l liegen.

Die maximalen **Tritium**konzentrationen von bis zu 410 Bq/l (1999: bis 690 Bq/l) wurden - wie in den vergangenen Jahren - an 4 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 0,35 Bq/l (1999: 0,3 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Werte im Grundwasser sind auf eine Kontamination des Untergrundes auf dem Betriebsgelände infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5,0 Bq/l auf.

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Schachanlage Asse festgestellte **Gesamt- β** -Aktivität ist natürlichen Ursprungs.

Trinkwasser

Im Jahr 2000 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 19 Trinkwasser- und 20 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für **Cäsium-137** wurde kein Messwert (1999: 5,4 Bq/l) oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,35 mBq/l bis 60 mBq/l ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei < 16 mBq/l (1999: < 30 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für **Strontium-90** liegen zwischen 0,25 mBq/l und 4,4 mBq/l (1999: 0,22 bis 10 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 2,0 mBq/l (1999: 2,7 mBq/l).

Die Werte für die **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentrationen sind größtenteils natürlichen Ursprungs. Die gemessenen Werte über der Nachweisgrenze liegen zwischen 10 mBq/l und 130 mBq/l (1999: 25 mBq/l bis 130 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte liegt bei 73 mBq/l (1999: 76 mBq/l).

In 22 Proben (von 96 gemessenen Proben) wurde **Tritium** in Konzentrationen zwischen 0,8 Bq/l und 74 Bq/l (1999: 1,0 bis 140 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei < 7,8 Bq/l (1999: < 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 weisen lediglich Tritiumkonzentrationen bis zu 4,2 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 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 2000
(Grundwasser und Trinkwasser)
(Surveillance of the surroundings of nuclear facilities in 2000 - groundwater and drinking water)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- werte ^{a)}	Maximal- werte ^{a)}	Mittel- werte ^{a)}	Mediane
Grundwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	124	55	0,014	1,1	0,22	<0,3
	Co-60	453	428	0,013	0,35		<0,03
	Cs-137 b)	280	277	0,0026	0,017		<0,024
	H-3	470	330	0,53	410		<9,0
	Sr-90	44	22	0,0008	0,016	0,0052	0,0028
	R- β	36	36				<0,1
	G- α	162	29	0,025	4,9	1,0	<0,2
Trinkwasser in Bq/l							
Bundesrepublik Deutschland	K-40	34	19	0,046	17		<0,24
	Co-60	79	79				<0,018
	Cs-137	48	48				<0,016
	H-3	96	74	0,8	74		<7,8
	Sr-90	33	19	0,00025	0,0044		0,002
	G- α	9	0	0,01	0,13	0,064	0,073

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. Daraus folgt, dass sehr viele Messstellen die Nachweisgrenzen für Cs-137 und K-40 nicht melden. Demzufolge ist für diese Nuklide die Anzahl der Messwerte auch wesentlich kleiner als bei Co-60. Im konkreten Fall wurden für Cs-137 insgesamt 280 Messwerten angegeben, wobei davon nur 3 Messwerte oberhalb der NWG liegen. Die restlichen 277 Werte sind unterhalb der NWG und brauchen theoretisch von der Messstelle nicht angegeben zu werden.

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 und 2, für Obst in Tabelle 3 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

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

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u>					
FZ Karlsruhe	1998	21	<0,08	7	<0,18
	1999	23	<0,10	8	0,21
	2000	19	<0,07 (<0,01 - <0,21)	4	0,20 (0,02 - 0,43)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	20	<0,16	9	0,14
	1999	17	<0,14	9	0,30
	2000	17	<0,13 (<0,07 - 0,22)	9	0,16 (0,08 - 0,33)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	20	<0,16	6	0,11
	1999	18	<0,14	11	0,13
	2000	15	<0,13 (0,09 - <0,20)	10	0,12 (0,04 - 0,23)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	9	<0,12	4	0,17
	1999	8	<0,10	3	0,21
	2000	8	<0,07 (<0,02 - <0,12)	5	0,08 (0,02 - 0,14)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	16	<0,15	8	0,30
	1999	17	<0,13	9	0,32
	2000	12	<0,14 (<0,08 - <0,20)	9	0,35 (0,05 - 1,10)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	7	<0,32	4	0,40
	1999	15	<0,17	8	0,32
	2000	13	<0,14 (<0,08 - <0,19)	6	0,16 (0,05 - 0,27)
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	5	<0,25	5	0,23
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Isar	1998	1	0,18	1	0,15
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	4	<0,10	4	0,09
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
Berlin					
Forschungsreaktor BERII	1998	8	<0,15	4	0,10
	1999	7	<0,15	3	0,17 (0,08-0,13)
	2000	6	<0,09 (<0,05 - <0,13)	3	0,12 (0,06-0,34)
Brandenburg					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	13	<0,16	12	0,22
	1999	11	<0,15	11	0,42
	2000	8	<0,11 (<0,09 - <0,14)	8	0,12 (0,06-0,34)
Hessen					
Kernkraftwerk Biblis	1998	12	<0,05	12	0,11
	1999	12	<0,03	12	0,09
	2000	5	<0,05 (0,02 - <0,10)	a)	a)
Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche					
Nuklearbetriebe Hanau	1998			1	<1,4
	1999			1	<0,68
	2000			a)	a)
Cs-137					
Sr-90					
Mecklenburg-Vorp. Kernkraftwerk Greifswald	1998	8	<0,18	8	0,40
	1999	8	<0,07	8	0,24
	2000	6	<0,08 (<0,06 - 0,14)	3	0,30 (0,20 - 0,37)
Niedersachsen					
Kernkraftwerk Emsland	1999	7	<0,11	5	0,28
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1999	7	<0,08	6	0,16
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Stade	1999	6	<0,13	4	<0,17
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	6	<0,12	4	0,21
	2000	2	<0,07 (<0,06 - <0,08)	2	0,08 (0,07 - 0,10)
Nordrhein-Westfalen					
KFA Jülich	1998	7	<0,13	7	0,19
	1999	6	<0,10	7	0,15
	2000	3	<0,08 (<0,06 - <0,11)	3	0,25 (0,23 - 0,26)
Fluor (mg/kg TM)					
UAG Gronau	1998	5	3,8	5	<0,25
	1999	3	3,5	4	<0,30
	2000	2	3,3 (2,3 - 4,3)	2	0,64 (0,28 - 1,0)
Cs-137					
Sr-90					
Uran (Bq/kg TM)					
U-238 (Bq/kg TM)					
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2000	1	<0,04		

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg FM			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Sachsen</u> Rossendorf	1998	6	<0,09	1	0,15
	1999	5	<0,73	1	0,14
	2000	5	<0,10 (<0,08 - <0,11)	a)	a)
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1998	3	<0,11	3	0,21
	1999	3	<0,12	2	0,26
	2000	2	<0,15	1	0,16
<u>Schleswig-Holstein</u> Kernkraftwerk Krümmel	2000	1	0,06	1	0,10

a) Messwerte lagen nicht vor

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

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

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	1998	7	<0,08	3	0,28
	1999	8	<0,08	4	0,32
	2000	9	<0,11 (<0,07 - <0,18)	3	0,36 (0,13 - 0,49)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	6	<0,17	3	0,18
	1999	6	<0,17	3	0,16
	2000	6	<0,14 (0,08 - <0,19)	3	0,12 (0,10 - 0,15)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	6	<0,20	2	0,22
	1999	6	<0,15	3	0,13
	2000	6	<0,14 (<0,11 - <0,16)	3	0,14 (0,11 - 0,18)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	3	<0,13	2	0,12
	1999	2	<0,10	1	0,11
	2000	4	<0,11 (<0,06 - <0,16)	a)	a)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	6	<0,19	4	0,33
	1999	7	<0,13	4	0,25
	2000	5	<0,13 (0,07 - 0,19)	3	0,29 (0,20 - 0,34)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	8	<0,15	5	0,26
	1999	6	<0,14	3	0,18 (0,16 - 0,22)
	2000	4	<0,17 (<0,16 - <0,20)	3	0,18 (0,16 - 0,22)
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	8	<0,22	8	0,26
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Isar	1998	5	<0,30	5	0,22
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	2	Cs-137 <0,10	2	Sr-90 0,13
	1999	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)
SBWK Karlstain	1998	2	Gesamt-α-Aktivität 0,27	a)	Sr-90 a)
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1998	1	Cs-137 <0,04	a)	a)
	1999	a)	a)		
	2000	a)	a)		
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1998	10	<0,11	10	1,26
	1999	9	<0,10	9	0,23
	2000	9	<0,06 (0,02 - <0,12)	a)	a)
Nuklearbetriebe Hanau	1998	1	Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche	1	Pu-238 Bq/kg Asche <0,71
	1999	1		1	<0,70
	2000	a)		a)	<0,01 a)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1998	4	Cs-137 <0,14	a)	Sr-90 0,31
	1999	5	<0,12		
	2000	a)	a)		
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Emsland	1999	2	0,16	2	0,23
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1998	4	<0,13	4	0,19
	1999	1	<0,10	1	0,58
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Stade	1999	2	<0,15	2	0,03
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	1	<0,11	1	0,46
	2000	2	<0,10 (<0,08 - <0,11)	2	<0,10 (0,06 - <0,13)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> Zwischenlager Ahaus	2000	1	<0,25	1	0,93
KFA Jülich	1998	1	<0,45	1	0,03
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
UAG Gronau	1998	24	Fluor (mg/kg TM) <0,59	24	Uran (Bq/kg TM) <0,23
	1999	18	<0,60	18	<0,23
	2000	18	<1,22 (<0,50 - 2,8)	18	<0,23 (<0,23 - <0,23)
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1998	1	Cs-137 <0,09	a)	Sr-90 0,27
	2000	a)	a)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1998	4	<0,13	2	0,14
	1999	4	<0,13	1	0,16
	2000	4	<0,16 (<0,15 - <0,18)	2	0,15 (0,09 - 0,21)
<u>Schleswig-Holstein</u> GKSS Geesthacht	2000	1	0,18	1	0,45
	Kernkraftwerk Brunsbüttel	2000	2	<0,13 (<0,12 - <0,13)	2
Kernkraftwerk Krümmel	2000	2	<0,07 (0,03 - <0,11)	2	0,30 (0,26 - 0,33)

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs - 137		Sr - 90
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	1998	6	<0,07	1	0,43
	1999	4	<0,05	1	0,38
	2000	7	<0,08 (<0,01 - <0,14)	2	0,76 (0,42 - 1,1)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	6	<0,17	3	0,15
	1999	7	<0,13	3	0,10
	2000	8	<0,13 (<0,08 - <0,18)	3	0,13 (0,08 - 0,17)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	5	<0,18	5	<0,05
	1999	6	<0,13	3	0,25
	2000	6	<0,11 (<0,09 - <0,14)	3	0,32 (0,19 - 0,50)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	5	<0,08	1	0,20
	1999	5	<0,07	2	0,21
	2000	6	<0,09 (<0,02 - 0,17)	3	0,08 (0,02 - 0,13)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	9	<0,12	5	0,05
	1999	10	<0,13	2	0,06
	2000	8	<0,10 (<0,07 - <0,15)	a)	a)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	5	<0,19		
	1999	3	<0,12	2	0,15
	2000	3	<0,15 (0,10 - <0,17)	1	0,02
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	1	<0,29	1	0,07
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	2	<0,10	2	0,07
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
<u>Berlin</u>					
Forschungsreaktor BERII	1998	11	<0,12	3	0,05
	1999	5	<0,10	2	0,07
	2000	5	<0,08 (<0,04 - <0,16)	9	<0,06 (<0,008 - 0,14)
<u>Brandenburg</u>					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	2	<0,12		
	1999	1	<0,12	1	0,20
	2000	1	<0,12	1	0,10
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk Biblis	1998	7	<0,03	7	0,05
	1999	3	<0,03	3	0,02
	2000	a)	a)	a)	a)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u>					
Kernkraftwerk Greifswald	1998	16	<0,13	11	0,05
	1999	14	<0,11	14	0,07
	2000	8	<0,06 (<0,03 - <0,09)	a)	a)
<u>Niedersachsen</u>					
Kernkraftwerk Emsland	1999	1	<0,07	1	0,14
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1999	2	<0,05	1	0,02
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Stade	1999	6	<0,06	2	0,04
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	3	<0,06	3	0,12
	2000	1	<0,04	1	0,05
<u>Nordrhein-Westfalen</u>					
KFA Jülich	2000	4	<0,10 (<0,05 - <0,13)	4	0,36 (0,02 - 0,80)
			Fluor (mg/kgTM)		Uran (Bq/kgTM)
UAG Gronau	1998	2	<0,95	2	<0,23
	1999	2	0,70	2	<0,23
	2000	2	2,20	2	<0,23
<u>Rheinland-Pfalz</u>					
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1998	7	<0,04	7	0,02
	1999	5	<0,03	5	0,03
	2000	8	<0,02 (<0,02 - 0,03)	8	0,02 (0,01 - 0,03)
<u>Sachsen</u>					
Rossendorf	1998	2	<0,06	1	0,06
	1999	1	<0,06	1	0,05
	2000	2	<0,11 (<0,07 - <0,15)	1	0,01

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Sachsen-Anhalt EndlagerMorsleben	1998	3	<0,11	2	0,02
	1999	3	<0,11	1	0,08
	2000	4	<0,12 (<0,10 - <0,13)	2	<0,05 (<0,02 - 0,08)
Schleswig-Holstein Kernkraftwerk Krümmel	2000	3	<0,04 (<0,02 - <0,05)	3	0,07 (0,06 - 0,08)

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg FZ Karlsruhe	1998	4	<0,08	1	0,03
	1999	5	<0,15	1	0,05
	2000	3	<0,03 (<0,02 - 0,05)	3	<0,07 (<0,02 - <0,17)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	3	<0,16	3	0,05
	1999	3	<0,15	3	0,05
	2000	3	<0,13 (<0,11 - <0,14)	3	0,03 (0,02 - 0,04)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	3	<0,13	3	0,05
	1999	3	<0,12	3	0,03
	2000	3	<0,13 (<0,09 - <0,14)	3	0,03 (0,02 - 0,03)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	1	<0,07	1	0,04
	1999	2	<0,12	2	0,03
	2000	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1998	5	<0,14	3	0,11
	1999	4	<0,14	4	0,06
	2000	4	<0,09 (0,05 - <0,12)	4	0,05 (0,03 - 0,10)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	3	<0,14		
	1999	2	<0,11	1	<0,01
	2000	2	<0,08 (<0,07 - <0,09)	2	0,06 (0,04 - 0,07)
Bayern Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	2	<0,30	2	0,21
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
Berlin Forschungsreaktor BERII	1998	1	<0,07		
	1999	1	<0,08		
	2000	1	0,08	1	0,02

Fortsetzung Tabelle 4

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	1	<0,13	1	0,02
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	a)	a)	a)	a)
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1998	1	<0,04	1	0,04
	1999	5	<0,08	5	0,05
	2000	1	<0,04	a)	a)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1998	2	<0,06	2	<0,03
	1999	2	<0,06	2	0,02
	2000	1	<0,09	a)	a)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFAJülich	1998	1	<0,02	1	0,20
	1999	a)	a)	a)	a)
	2000	2	<0,01	2	0,03 (0,03 - 0,04)
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1998	2	<0,02	2	0,06
	1999	3	<0,03	3	0,08
	2000	a)	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg und Fachbereich angewandter Strahlenschutz, Berlin

Die für das Jahr 2000 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 § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ durchgeführt.

Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Die in den Tabellen 1 bis 6 angegebenen Expositionswerte für die kerntechnischen Anlagen stellen **obere Werte** dar, da sie gemäß § 45 Abs. 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage XI) Ernährungsgewohnheiten und Aufenthaltszeiten 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 und die Schilddrüsendosis bzw. Lungendosis höchstens 900 Mikrosievert pro Jahr betragen.

Tabelle 1 Strahlenexposition im Jahr 2000 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2000 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air, expressed in microsievert)

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

Fortsetzung Tabelle 1

Kernkraftwerk	Oberer Wert a)		
	der effektiven Dosis (µSv)		der Schilddrüsendosis (µSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Grohnde	0,3	0,5	0,5
Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1
Brokdorf	0,3	0,6	0,6
Emsland	0,3	0,5	0,5

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

Tabelle 1 enthält die Ergebnisse aus den Berechnungen der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2000 in der Umgebung von **Kernkraftwerken** durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder über sämtliche relevanten Expositionspfade: γ -Strahlung aus der Abluftfahne (γ -Submersion), γ -Strahlung am Boden abgelagerter radioaktiver Stoffe, Inhalation und Ingestion. Tabelle 1 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 4 µSv (rund 1% des Grenzwertes nach Strahlenschutzverordnung) jeweils bei den Kernkraftwerken Isar und Philippsburg und für Kleinkinder 7 µSv (rund 2% des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 µSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In Tabelle 2 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,4 µSv (entsprechend ca. 0,13% des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 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 Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personengruppen 0,3 bzw. 0,4 µSv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,15 µSv und an der Donau bei 0,3 µSv. Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Tabelle 2 Strahlenexposition im Jahr 2000 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(Radiation exposures in the surroundings of nuclear power plants in the year 2000 due to the discharge of radioactive substances with waste water)

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene	Oberer Wert der effektiven Dosis Für Kleinkinder
	in µSv	in µSv
Kahl	< 0,1	< 0,1
Gundremmingen A, B und C	0,3	0,1
Obrigheim	0,3	0,2
Stade	< 0,1	< 0,1
Würgassen	< 0,1	< 0,1
Biblis A und B	0,2	0,2

Fortsetzung Tabelle 2

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene in μSv	Oberer Wert der effektiven Dosis Für Kleinkinder in μSv
	Neckar 1 und 2	0,3
Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1
Isar 1 und 2	0,2	0,2
Unterweser	< 0,1	< 0,1
Philippsburg 1 und 2	< 0,1	0,1
Grafenrheinfeld	0,2	0,2
Krümmel	< 0,1	< 0,1
Grohnde	0,2	0,2
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	< 0,1
Emsland	0,4	0,4
Rheinsberg *)	< 0,1	< 0,1
Greifswald *)	0,1	< 0,1

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

Die in Tabelle 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 2000 als höchsten Wert 14 μSv (rund 5% des Grenzwertes) für Erwachsene und 24 μSv (rund 8% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 25 μSv (rund 3% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich aus den jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte für die effektive Dosis im Jahr 2000 von 5, 3 bzw. 0,4 μSv

Tabelle 3 Strahlenexposition im Jahr 2000 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft *)
(*Radiation exposures in the surroundings of research centres in the year 2000 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	1,3	1,9
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	14	24	25
Forschungszentrum Rossendorf (FZR)	0,8	1,4	1,4
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,1	0,2	0,3
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,2	0,2	0,3

*) Entnommen den Jahresberichten 2000 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

Für die **Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe** in Hanau, Lingen und Gronau sind in Tabelle 4 die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die oberen Werte der Lungendosis für Kleinkinder durch die Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft angegeben. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene und Kleinkinder 0,5 µSv (rund 0,2% des Grenzwertes), der höchste Wert der Lungendosis für Kleinkinder 1 µSv (rund 0,1% des Grenzwertes).

Tabelle 4 Strahlenexposition im Jahr 2000 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 2000 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air*)

Betrieb	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis (µSv)		der Lungendosis (µSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	0,5	0,5	1
SIEMENS AG			
Brennelementewerk Hanau			
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

Die, bedingt durch die Ableitungen von α-Strahlern mit dem Abwasser, effektive Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind in Tabelle 5 aufgeführt. Wie in den Vorjahren liegen die Werte bei jeweils weniger als 0,1 µSv.

Tabelle 5 Strahlenexposition im Jahr 2000 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 2000 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	
Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	< 0,1
ANF GmbH (Lingen)	-
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 6 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis für Erwachsene betrug 2000 0,4 µSv, für Kleinkinder 0,7 µSv; dies sind ca. 0,1% bzw. 0,2% des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Lungendosis errechnete sich zu 0,6 µSv für Erwachsene und 1,2 µSv für Kleinkinder (ca. 0,1% des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 2000 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 6 Strahlenexposition im Jahr 2000 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 2000 due to the discharge of radioactive substances with exhaust air and waste water)

	Abluft		Abwasser
	Oberer Wert (μSv)		Oberer Wert (μSv)
	der effektiven Dosis	der Lungendosis	der effektiven Dosis
Erwachsene	0,4	0,7	<0,1
Kleinkinder	0,6	1,2	<0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Abschnitt II 1.1, Tabelle 4) führte 2000 bei Berechnung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung für die betroffene Bevölkerung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 10 μSv . Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 20 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 2000 in Milch nicht nachgewiesen.

Bewertung

Die für 2000 aus den Jahresableitungen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2000 deutlich unter 10 μSv pro Jahr.

2 Radioaktive Stoffe aus Uran-Bergbauanlagen (Radioactive substances from uranium mining facilities)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz,
Berlin

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

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

In der übertägigen Sanierungstätigkeit konzentrierten sich die Arbeiten der Wismut GmbH im Jahre 2000 auf die Haldensanierung (z.B. Weiterführung der Arbeiten an der Halde Beerwalde und der Halde 366 in Aue-Alberoda), die Fortführung der Verfüllung des Tagebaurestloches Lichtenberg bei Ronneburg, auf Abbrüche von Gebäuden und auf die Demontage von Anlagen, die Sanierung kontaminierter Betriebsflächen und die Sanierung der Absetzanlagen der Erzaufbereitung. Ende 2000 waren ca. 70% der freigefallenen Spülstrände von Absetzanlagen der Erzaufbereitung (rd. 395 ha) mit einer Zwischenabdeckung versehen. Im Vorfeld dieser Arbeiten wurden 17 Mio. m³ Freiwasser (rd. 85%) entfernt, gereinigt und in die jeweiligen Vorfluter abgegeben.

Bei der sicheren Verwahrung der Grubengebäude wurden zum Ende des Jahres 2000 rd. 95% der untertägigen Sanierungsarbeiten abgeschlossen. Im Ostthüringer Bergbaugebiet wurde die gesamte ehemals offene Grubenbaulänge von 1040 km entsorgt und abgeworfen. Damit sind die untertägigen Sanierungsarbeiten im Ostthüringer Revier praktisch beendet. Die Flutung der Ronneburger Grube, die bereits 1998 eingeleitet wurde, wurde weitergeführt. Im westsächsischen Bergbaugebiet bei Aue/Schlema wurden 262 km offene Grubenbaue abgeworfen. Hier konzentrierten sich die Sanierungsarbeiten bereits auf die oberen Sohlen, insbesondere auf die der Flutung vorausgehende Verwahrung von Schächten und tagesnahen Grubenbauen. Die Flutung wurde bereits 1991 eingeleitet; Ende 2000 sind rd. 34 Mio. m³ des Grubenhohlraumes geflutet. Im ostsächsischen Bergbaugebiet bei Königstein, wo umfangreiche Arbeiten zum Schutz eines Grundwasserleiters über der Lagerstätte erforderlich sind, wurde 2000 das zur Vorbereitung der Flutung der Grube erforderliche Flutungsexperiment fortgesetzt.

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

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

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

Für die Untersuchung der Strahlenexposition durch **Radon-222** werden vom Bundesamt für Strahlenschutz seit 1991 Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der Rn-222-Konzentrationen in der Freiluft durchgeführt. Mit den Messungen sollen Aussagen darüber gewonnen werden, inwieweit die bergbaulichen Objekte durch Rn-222-Freisetzung das natürliche Konzentrationsniveau des Gebietes beeinflussen und zur Strahlenexposition der in der Umgebung lebenden Bevölkerung beitragen.

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 2000 nicht überschritten. In Tabelle 1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 2000 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Im Vergleich mit den Vorjahren haben sich die Ableitungen mit Abwetter- bzw. Abluft weiter verringert. Im Betriebsteil Seelingstädt wurde die Ableitung im Jahr 2000 vollkommen eingestellt.

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

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$	Ableitung radioaktiver Stoffe	
			Rn-222	Langlebige α -Strahler
			MBq/a	MBq/a
Schlema/Alberoda	2	1,66 (-)	140 (480,1)	3,7 (7,6)
Pöhl	2	0,498 (-)	0,26 (0,8)	0,7 (1,0)
Dresden-Gittersee	1	0,13 (-)	0,11 (1,6)	0,06 (1,6)
Königstein	8	15,74 (-)	240 (315)	5,0 (88,5)
Ronneburg	3	0,235 (1,21)	0,026 (0,7)	0,5 (1,2)

Die im Jahr 2000 insgesamt in die Vorfluter abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe wurden in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Jahresgenehmigungswerte wurden eingehalten. Im Vergleich zu den Vorjahren haben sich die Ableitungen mit Abwässern insgesamt ebenfalls weiter verringert. Der Betriebsteil Ronneburg stellte seine Ableitung in die Weiße Elster vollständig ein.

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwässern in die Oberflächengewässer 2000
(Messwerte der Wismut GmbH, behördlich festgelegte Werte in Klammern)
(Discharge of radioactive substances into surface waters with waste waters for the year 2000 - Values measured by the Wismut GmbH; the official values are indicated in brackets)

Betriebsteile der Sanierungsbetriebe	Abwassermenge ($10^6 \text{ m}^3/\text{a}$)		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran (t/a)	Ra-226 (GBq/a)		
Einleitung in Zwickauer Mulde,	6,625	(-)	2,1748	(5,448)	0,1565	(2,799)
davon: Schlema/Alberoda	4,902	(-)	2,046	(5,273)	0,103	(2,536)
Crossen	1,58	(-)	0,124	(-)	0,0456	(-)
Pöhl	0,143	(-)	0,0048	(0,175)	0,0079	(0,263)
Einleitung in Elbe,	4,791	(7,0)	1,553	(3,2)	3,226	(11,0)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	4,791	(7,0)	1,553	(3,2)	3,226	(11,0)
Einleitung in Pleiße	1,254	(3,5)	0,242	(1,12)	0,101	(0,589)
Ronneburg	1,254	(3,5)	0,242	(1,12)	0,101	(0,598)
Einleitung in Weiße Elster,	3,442	(5,07)	0,161	(1,51)	0,008	(1,007)
Davon: Ronneburg	-	-	-	-	-	-
Seelingstädt	3,442	(5,07)	0,161	(1,51)	0,008	(1,007)

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 Rn-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 at close to ground level)

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

Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind nicht nur die genehmigten Ableitungen von Radon zu betrachten, sondern auch das aus den deponierten Materialien freigesetzte Radon. Die aus den bergbaulichen Außenanlagen (vor allem industrielle Absetzanlagen und Halden) freigesetzte Radonmenge kann aus der bekannten Ra-226-Konzentration der Materialien abgeschätzt werden. Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrates (1 Bq Rn-222/m² · sec pro Bq Ra-226/g Material) ergibt sich eine theoretisch mögliche Radonfreisetzung von ca. 2 · 10¹⁵ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde; sie hat sich infolge der bereits abgeschlossenen Maßnahmen verringert.

Die Langzeitmessungen zur Überwachung der Radonkonzentration (Rn-222) in der bodennahen Atmosphäre wurden in den Bergbaugebieten auch im Jahr 2000 fortgeführt. In Tabelle 3 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 3 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ / bergbaulich beeinflusste Messstellen (Winter 199/2000 und Sommer 2000; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere at close to ground level in Bq/m³ at sampling locations influenced by mining activities in the winter of 1999/2000 and summer of 2000, - Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	Anzahl der Messstellen mit Werten			Maximum Bq/m ³
		≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³	
Winter 1999/2000					
Schlema/Alberoda	62	18	34	10	390
Pöhl	17	16	1	0	64
Seelingstädt	25	15	10	0	47
Crossen	36	13	23	0	58
Königstein	15	13	1	1	100
Gittersee	21	19	2	0	39
Ronneburg	44	26	18	0	49
Sommer 2000					
Schlema/Alberoda	63	22	24	17	1700
Pöhl	17	12	4	1	160
Seelingstädt	25	14	11	0	72
Crossen	36	8	25	3	120
Königstein	15	10	3	2	290
Gittersee	21	17	4	0	54
Ronneburg	44	23	20	1	110

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung der bergbaulich nicht beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die an diesen Messstellen ermittelten Rn-222-Konzentrationen repräsentieren den lokalen natürlichen Konzentrationspegel der jeweiligen Bergbaugebiete und können deshalb als Vergleichswerte zur Beurteilung des Sanierungserfolges herangezogen werden.

Tabelle 4 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ bergbaulich nicht beeinflusste Messstellen (Mittelwerte 1991 – 2000 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messwerte der Wismut GmbH)
(Radon-222 concentrations in the atmosphere at close to ground level in Bq/m³ at sampling locations not influenced by mining activities (mean values 1991 - 2000 and range of variation of the mean values for the individual years; Values measured by the Wismut GmbH)

Gebiet	Rn-222 (Bq/m ³)					
	Winter			Sommer		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2000	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 2000
Schlema/Alberoda	23	40	30	27	45	33
Pöhl	14	35	21	19	28	24
Seelingstädt	18	39	25	19	37	26
Crossen	19	35	26	17	34	24
Königstein	14	31	21	17	36	26
Gittersee	18	33	26	24	43	32
Ronneburg	14	40	26	20	37	28

In der Tabelle 5 sind die vom BfS durchgeführten Untersuchungsergebnisse zur Ermittlung der Langzeit-Rn-222-Konzentration in der bodennahen Luft dargestellt. Berücksichtigt wurden hier nur die Messpunkte, die sich in ständig bewohnten Gebieten befinden. In diesen Gebieten sind auf Grund der geologischen Bedingungen (oberflächennah anstehende geologische Formationen mit einer höheren spezifischen Aktivität der Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe) und wegen der orographischen Gliederung des Geländes (Tallagen) natürlicherweise auch über dem Landesdurchschnitt liegende Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft zu erwarten. Die in den Gebieten Aue/Schlema, Johanngeorgenstadt und Lengenfeld gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 5 Halbjahreswerte der Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten in Bq/m³ (Winter 1999/2000 und Sommer 2000; Messwerte des Bundesamtes für Strahlenschutz)
(Half-yearly values for radon-222 concentrations in the atmosphere at close to ground level in residential areas in Bq/m³ in the winter of 1999/2000 and summer of 2000; Values measured by the Federal Office for Radiation Protection)

Gebiet	Rn-222 (Bq/m ³)			
	Anzahl der Messungen	Minimum	Maximum	Medianwert
Annaberg-Buchholz	58	7	46	17
Aue/Schlema	54	5	110	20
Crossen	54	7	46	18
Dittrichshütte	20	7	32	16
Freiberg	43	5	37	14
Freital	40	11	58	20
Gottesberg	12	12	72	27
Johanngeorgenstadt	103	5	710	25
Königstein	28	8	40	14
Lengenfeld	49	4	92	18
Mansfeld	23	8	20	12
Marienberg	58	7	48	15
Mechelgrün-Zobes	11	8	22	10
Ronneburg	75	8	44	18
Seelingstädt	43	8	56	17
Zwickau	7	8	36	18

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/m^3 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/m^3 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 industriellen Absetzanlagen 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 natürlichen 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 der Strahlenschutzverordnung resultieren.

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 im Oberlauf und im Unterlauf der betrieblichen Einleitung vorgenommen. Die Freisetzungen von Uran mit den Sickerwässern aus Halden und Absetzanlagen werden dabei ebenfalls erfasst.

In wichtigen Vorflutern wurden die in Tabelle 6 angegebenen Werte bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Tabelle 6 Medianwerte der jährlichen Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbauggebiete 2000 (Messwerte der Wismut GmbH)
(Median values for annual uranium and radium concentrations in the receiving streams of mining areas in Sachsen and Thüringen in the year 2000; Values measured by the Wismut GmbH)

Betrieb	Probenahmestelle	Uran mg/l	Radium-226 mBq/l
Sächsische Bergbauggebiete			
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	0,021	21
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	0,103	43
	Elbe Rathen	0,003	15
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,015	21
	Kaitzbach nach Einleitung	0,047	17
Aue	Zwickauer Mulde in Aue	0,010	13
	Zwickauer Mulde bei Hartenstein	0,002	14
Pöhla	Luchsbach vor Schachanlage	0,001	10
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,032	50
Crossen	Zwickauer Mulde Wehr Mühlgraben	0,006	18
	Zwickauer Mulde Brücke Schlunzig	0,010	15
	Helmsdorfer Bach	0,17	30
	Zinnborn	0,83	130
Thüringer Bergbauggebiete			
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	0,002	10
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	0,005	10
	Lerchenbach	0,097	11
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,042	12
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,008	10
Ronneburg	Gessenbach	0,019	13
	Sprotte	0,015	14
	Wipse	0,016	11
	Weißer Elster	0,005	11

Mit Werten der Urankonzentration zwischen 1 (Pöhla) und 6 µg/l (Crossen) und Aktivitätskonzentrationen zwischen 10 und 18 mBq/l für Ra 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 Weißer Elster wurden im Unterlauf von Wismut-Einleitungen Werte der Urankonzentration ermittelt, die gegenüber diesem allgemeinen geogenen Niveau um bis zu einer Größenordnung erhöht sind (2 - 10 µg/l). Die Werte der Radium-226-Aktivitätskonzentration liegen mit Werten zwischen 10 und 15 mBq/l im Bereich des allgemeinen geogenen Niveaus. Im Unterlauf kleinerer Bäche, die eine wesentlich geringe Wasserführung aufweisen und in denen daher die Freisetzungen eine größere Rolle spielen, wird das allgemeine geogene Niveau dagegen um bis zu einer Größenordnung (Radium-226; Werte zwischen 11 und 130 mBq/l) oder zwei Größenordnungen (Uran; Werte zwischen 15 und 103 µg/l) überschritten. Daraus resultiert jedoch keine Gefährdung, da weder das Wasser der Bäche noch der genannten Vorfluter für Trinkwasserzwecke genutzt wird.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

(OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURES)

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

1. PERSONENDOSISMESSUNGEN (PERSONAL DOSE MEASUREMENTS)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

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 einer physikalischen Strahlenschutzüberwachung nach § 62 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) oder § 35 der Röntgenverordnung (RöV). Soweit bei diesen Personen nur die Möglichkeit der Strahlenexposition von außen, also nicht durch Inkorporation radioaktiver Stoffe, besteht, geschieht 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 der StrlSchV werden in geringer Anzahl auch Radiophotolumineszenzdosimeter (Glasdosimeter) und Albedodosimeter ausgegeben.

Die vorliegende Berichterstattung bezieht sich auf die Personendosisüberwachung bezüglich der effektiven Dosis durch die in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmenden Photonenstrahlen. In einigen Fällen sind zusätzliche Dosismessungen hinsichtlich weiterer Strahlenarten (z. B. Neutronen-, β -Strahlen) oder an besonders exponierten Körperstellen (z. B. den Fingern) erforderlich.

1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen (Overview of data for all occupationally exposed persons)

Die Zahlenangaben in den Tabellen 1 bis 4 beruhen auf den statistischen Mitteilungen der Messstellen an das Bundesamt für Strahlenschutz. Da sehr viele beruflich strahlenexponierte Personen im Bereich der Medizin tätig sind, ist in diesen Tabellen der Anteil des Arbeitsbereiches Medizin gesondert ausgewiesen. Die Gesamtzahl der überwachten Personen und der Betriebe, in denen diese Personen arbeiten, kann aus Tabelle 1 entnommen werden. Zu beachten ist dabei, dass dieser Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen entspricht, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind.

Die amtliche Personendosimetrie bietet den zuständigen Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, die Einhaltung der Grenzwerte der Körperdosis nach § 49 StrlSchV und § 31 RöV bei den überwachten Personen zu kontrollieren. Für die Mehrzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen ist der Grenzwert der effektiven Dosis 50 Millisievert im Jahr und 25 Millisievert im Vierteljahr. Die Gesamtzahl der Personendosisfeststellungen (Tabelle 2) oberhalb von Grenzwerten nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung liegt - bezogen auf die Gesamtüberwachtenzahl - bei 0,07 bzw. 0,01 Promille.

Da mit den Personendosimetern die Körperdosis nicht unmittelbar gemessen werden kann, bedeutet die Feststellung einer Personendosis, die größer ist als ein Grenzwert der Körperdosis, nicht zwangsläufig bereits eine Überschreitung dieses Grenzwertes, z. B. wenn das Dosimeter während der Exposition nicht am Körper getragen wurde. Dennoch soll ein solches Ereignis den Strahlenschutzverantwortlichen oder -beauftragten im Betrieb veranlassen, unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Ursache des Expositionsfalles zu klären und eine Wiederholung zu verhindern. Soweit die Ergebnisse nachfolgender Ermittlungen bekannt geworden sind, wurden sie in der Tabelle 2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung über die Fälle erhöhter Personendosis (Tabelle 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 Jahressumme der den Einsendern der Dosimeter mitgeteilten monatlichen Personendosiswerte einer Person. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die relative Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres keine Per-

sonendosis bzw. Jahrespersonendosen von mehr als 0 Millisievert, 0,2 Millisievert, 0,4 Millisievert usw. registriert wurden. Demnach wurde für den größten Teil der überwachten Personen keine Personendosis festgestellt, so dass sich die gesamte erfasste berufliche Strahlenexposition auf nur rund 13% aller mit Personendosimetern überwachten Personen verteilte.

Die Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte werden zur Berechnung zweier Kenngrößen der beruflichen Strahlenexposition herangezogen. Tabelle 4 enthält Angaben aus den letzten Jahren über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachte Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis betrug 2000 0,153 Millisievert. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil von Personen zurückzuführen, die zwar einer regelmäßigen Überwachung unterliegen, jedoch praktisch keine Strahlenexposition erhalten. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller von den Messstellen gemeldeten Jahrespersonendosen. Sie ist gleich dem Produkt aus der mittleren Jahrespersonendosis und der Anzahl der Überwachten. Die Jahreskollektivdosis betrug 2000 höchstens 50,2 Personen-Sv. Da Personen mit wechselndem Arbeitsplatz häufig mit mehr als einem amtlichen Personendosimeter ausgestattet werden, ist die errechnete Jahreskollektivdosis höher als die tatsächliche Jahreskollektivdosis. Der mitgeteilte Wert stellt deshalb eine obere Abschätzung der Jahreskollektivdosis dar. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur effektiven Dosis der Bevölkerung belief sich daher auch 2000 auf weniger als 0,01 Millisievert.

Tabelle 1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 2000

Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich
(Monitoring with official personal dosimeters in the year 2000)
Number of monitored persons and plants, proportions in the medical occupational area)

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Baden-Württemberg	49848	32301	3883	3029
Bayern	58664	43442	4900	4187
Berlin	17019	13153	1310	972
Brandenburg	5459	4408	426	317
Bremen	3086	2515	271	218
Hamburg	10525	6217	665	524
Hessen	26549	18393	2031	1597
Mecklenburg-Vorpommern	5341	3697	346	268
Niedersachsen	28310	21663	2469	2058
Nordrhein-Westfalen	68577	55430	5906	5053
Rheinland-Pfalz	14599	12147	1046	906
Saarland	4748	4281	451	392
Sachsen	11137	8762	846	608
Sachsen-Anhalt	7014	5879	491	358
Schleswig-Holstein	10795	8434	991	836
Thüringen	5586	5039	376	314
Sonstige	1266	1056	62	47
Summe 2000	328523	246817	26470	21684
Anteil Medizin		75,1%		81,9%
Summe 1999	334451	249819	26393	21581
Anteil Medizin		74,7%		81,8%
Änderung gegenüber 1999	- 1,8%	- 1,2%	+ 0,3%	+ 0,5%

Tabelle 2 Anzahl von Personendosisfeststellungen oberhalb von Grenzwerten nach § 49 StrlSchV und § 31 RöV im Jahr 2000
(Number of individual dose results above the limits in accordance with § 49 StrlSchV and § 31 RöV in the year 2000)

Bundesland	Anzahl der Personendosisfeststellungen >25 mSv/Vierteljahr			Anzahl der Personendosisfeststellungen >50 mSv/Jahr		
	Arbeitsbereich			Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin
Baden-Württemberg	7	7	0	2	2	0
Bayern	6	3	3	0	0	0
Berlin	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	0	0	0	0	0	0
Bremen	0	0	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	0	0	0
Hessen	3	0	3	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	0	0	0	0	0	0
Nordrhein-Westfalen	3	0	3	0	0	0
Rheinland-Pfalz	0	0	0	0	0	0
Saarland	3	0	3	0	0	0
Sachsen	0	0	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	0	0	0	0	0	0
Schleswig-Holstein	0	0	0	0	0	0
Thüringen	0	0	0	0	0	0
Summe 2000	22	10	12	2	2	0
Bezogen auf Überwachtenzahl 2000 (in Promille)	0,07	0,04	0,15	0,01	0,01	-
Summe 1999	6	5	1	2	2	0
Bezogen auf Überwachtenzahl 1999 (in Promille)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-

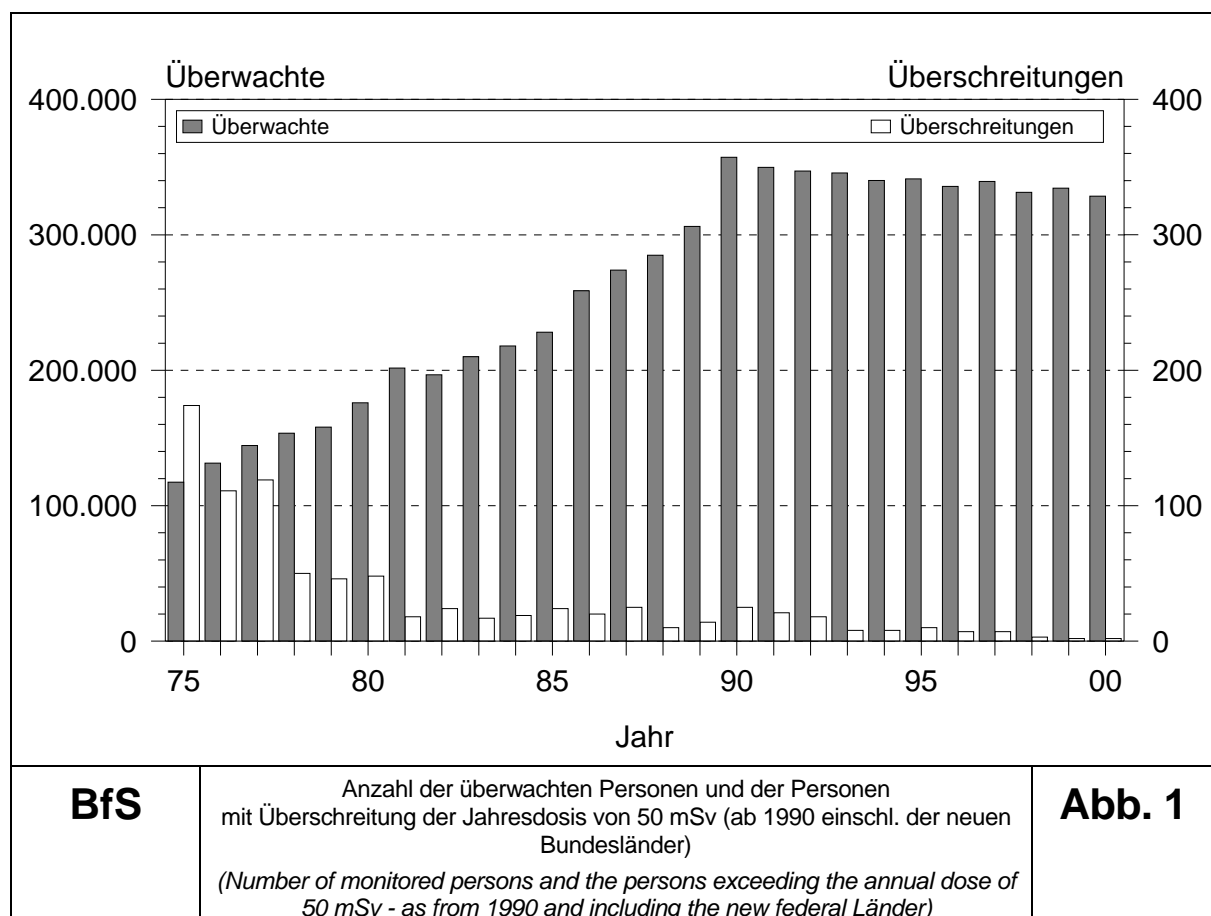
Tabelle 3 Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 2000
(Cumulative frequency distribution of the annual personal doses in the year 2000)

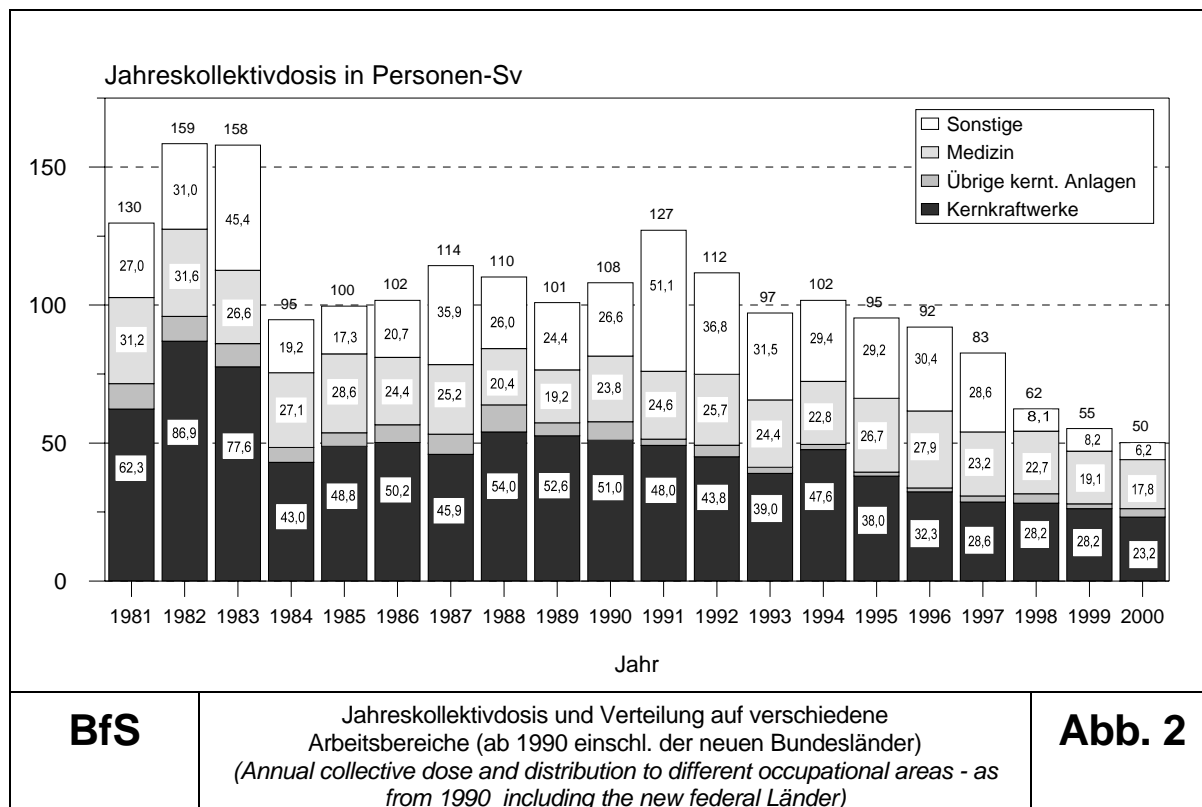
Arbeitsbereich	Überwachte Personen	Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		0 mSv	>0 mSv	>0,2 mSv	>0,4 mSv	>1,0 mSv	>2,0 mSv	>5,0 mSv	>10,0 mSv
Medizin	246817	901	99	51	34	16	7,0	1,2	0,25
Nichtmedizin	81706	783	217	157	128	86	55	20	5,9
Gesamt	328523	872	128	77	57	33	19	5,8	1,7
		Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		>15 mSv	>20 mSv	>25 MSv	>30 mSv	>35 mSv	>40 mSv	>45 mSv	>50 mSv
Medizin		0,10	0,05	0,020	0,012	0,012	0,012	0,008	0,008
Nichtmedizin		1,51	0,28	0,061	0,012	0,012	0,012	0	0
Gesamt		0,45	0,10	0,030	0,012	0,012	0,012	0,009	0,006

Tabelle 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)

Arbeitsbereich	Medizin		Nichtmedizin		Gesamt	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv
1992	0,11	26	0,77	86	0,32	112
1993	0,10	24	0,66	73	0,28	97
1994	0,10	23	0,75	79	0,30	102
1995	0,11	27	0,69	69	0,28	95
1996	0,12	28	0,66	64	0,27	92
1997	0,10	23	0,61	59	0,24	83
1998	0,09	23	0,45	40	0,19	62
1999	0,08	19	0,43	36	0,17	56
2000	0,07	18	0,40	32	0,15	50

Die Entwicklung der Zahl überwachter Personen ist in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Zahlen der festgestellten Personendosen oberhalb 50 mSv pro Jahr eingetragen. Abbildung 2 zeigt die Änderung der Beiträge aus den wichtigsten Arbeitsbereichen zur Kollektivdosis über den Zeitraum von 1981 - 2000.





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 den BMU und die zuständigen obersten Länderbehörden zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Versuchs- und Prototypreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung (einschließlich Rückbau der Anlagen) geben die Tabellen 5 bis 7 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie die Kollektivdosiswerte.

Tabelle 5 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren (Occupational radiation exposure during the operation of light water reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	Überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		Gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1992	20	34285	28475	43,8	37,0
1993	20	37980	30544	39,0	32,7
1994	20	35068	29002	47,6	42,0
1995	20	31525	25489	38,0	32,0
1996	19	31937	25785	32,3	27,5
1997	19	29780	23771	28,6	25,0
1998	19	30207	24306	28,2	24,2
1999	19	28790	22066	24,8	21,1
2000	19	29263	22463	23,2	19,8

Tabelle 6 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		Kollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1992	6	4677	3250	2,0	0,9
1993	7	6241	3923	1,7	1,0
1994	7	3965	2011	1,0	0,4
1995	8	2783	1508	0,5	0,2
1996	6	1873	853	0,4	0,1
1997	6	1989	1066	0,5	0,2
1998	6	1991	1173	0,8	0,5
1999	6	1338	773	0,3	0,1
2000	6	2524	1582	1,0	0,5

Tabelle 7 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Versuchs- und Prototypreaktoren
(Occupational radiation exposure during the operation of pilot and prototype reactors)

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremd-personal	gesamt	davon Fremd-personal
1992	8	2840	1259	0,6	0,2
1993	8	1381	888	0,6	0,2
1994	9	1399	760	0,7	0,3
1995	8	2192	1175	0,6	0,3
1996	9	2188	1252	0,5	0,2
1997	10	2247	1284	0,7	0,4
1998	8	2082	1159	1,2	0,6
1999	10	2366	1347	1,1	0,6
2000	10	2104	1150	1,2	0,6

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 Angewandter Strahlenschutz

In den neuen Bundesländern wurde im Jahr 2000 gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR entsprechend der "Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz" vom 11. Oktober 1984 (VOAS) auch die Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und kurzlebigen Radonzerfallsprodukten im Bergbau und bei anderen Arbeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht.

Die Strahlenbelastung durch das Edelgas Radon ist dabei im Allgemeinen zu vernachlässigen. Den Hauptanteil der Strahlenbelastung liefern die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222, die Alphastrahler Polonium-218 und Polonium-214. Falls die Arbeitsplatzkonzentrationen der potentiellen Alphaenergie der Radonzerfallsprodukte den Wert von $4 \cdot 10^6$ MeV/m³ (entsprechend 10% des DAC-Wertes) überschreiten, unterliegen die jeweiligen Arbeitsbereiche und das Personal der Überwachung, die entsprechend der Festlegung der zuständigen Landesbehörde vom Betreiber der betroffenen Einrichtung durchzuführen ist.

Im Jahr 2000 wurde diese Überwachung bei ca. 2 100 Personen vorgenommen, von denen mehr als 75% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Für zwei Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurden die Messungen zur Ermittlung der Strahlenexposition im Jahr 2000 mit personengebundenen Geräten durchgeführt. Diese am Körper getragenen speziellen Messgeräte mit akkumulatorgetriebener Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren erfassen integrierend die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Strahlung. Für alle anderen überwachten Personen wurden die Strahlenexpositionen entweder von den individuell ermittelten Expositionen für Personen mit vergleichbaren Arbeiten abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Konzentrationsmessungen an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten an diesen Arbeitsplätzen bestimmt.

Die Entwicklung der Anzahl der überwachten beruflich durch Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen seit 1980 ist in Abbildung 1 dargestellt. Die unter Berücksichtigung der Dosiskonversionskonvention nach ICRP 65 für Strahlenexpositionen durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten ermittelte Kollektivdosis betrug im Jahr 2000 einschließlich der Exposition durch langlebige Alphastrahler und äußere Bestrahlung ca. 2,57 Personen-Sv.

Auf die Beschäftigten der Wismut GmbH entfielen 1,71 Personen-Sv (Abbildung 2). Bei diesen Beschäftigten wurde auch die Exposition durch Inhalation langlebiger α -Strahler aus der Uran/Radium-Zerfallsreihe und durch Photonenstrahlung messtechnisch erfaßt. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte (Abbildung 3) liefern diese Expositionsarten im Allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der bei den Dosisberechnungen pauschal mit insgesamt 10% der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Im Jahr 2000 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchsten individuellen effektiven Dosen wurden mit 19,5 mSv bei einem Mitarbeiter der Wismut GmbH und mit 17,9 mSv bei einem Beschäftigten eines Besucherbergwerks festgestellt.

Die mittlere jährliche effektive Dosis aller überwachten Personen, die durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponiert waren, betrug 1,23 mSv und lag damit weit unter dem – noch geltenden - Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 50 mSv pro Jahr. Sie ist für einzelne Arbeitsbereiche ab 1975 in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Die höchste mittlere effektive Dosis im Jahr 2000 ergab sich für die Beschäftigten bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau mit 2,17 mSv, gefolgt von den Beschäftigten in technisch-wissenschaftlichen Einrichtungen und in Radiumbädern mit 2,16 mSv, in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 1,71 mSv,

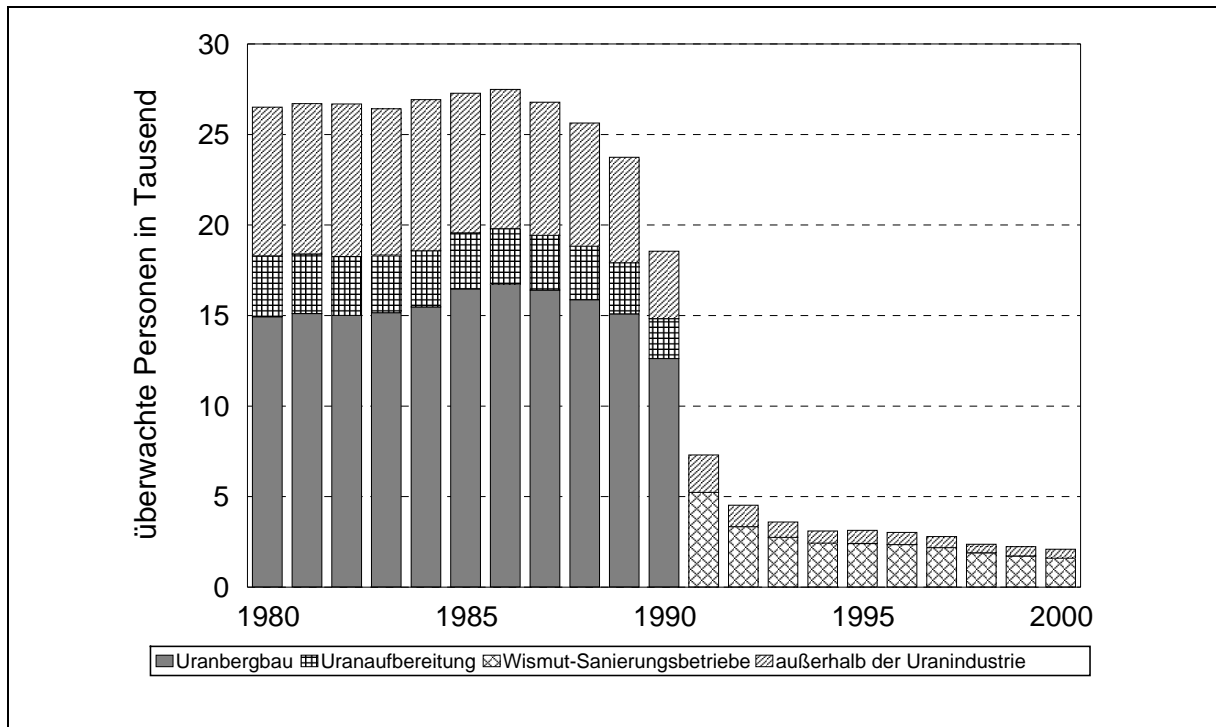
in Bergsicherungsbetrieben mit 1,42 mSv, in Wasserbetrieben mit 1,27 mSv und in der Wismut GmbH mit 1,08 mSv.

Bemühungen der Strahlenschutzverantwortlichen/Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörden um eine ständige Verbesserung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz finden seit Jahren ihren Ausdruck in den sinkenden Tendenzen der Kollektivdosis und der mittleren jährlichen effektiven Dosis, wie sie aus den Abbildungen 2 - 5 zu entnehmen sind. Das im Vergleich zu den mittleren Dosen bei Arbeiten außerhalb der Uranindustrie insgesamt höhere Niveau der Strahlenexpositionen bei Arbeiten in der Uranindustrie war auf die hier vorliegenden spezifischen Expositionsverhältnisse zurückzuführen (siehe Abbildung 4). Erst nach der Einstellung der Uranförderung (1990) und -aufbereitung (1991) kam es zu einer Angleichung der Höhe der Strahlenexpositionen. Die Verminderung der mittleren Dosis in Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie ist vor allem dem Wirksamwerden der umfangreichen Strahlenschutzmaßnahmen in den Nichturanbergwerken mit ca. 90% der Überwachten außerhalb der Uranindustrie zuzuschreiben, die Mitte der 70er Jahre eingeleitet wurden. Während entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen in Arbeitsbereichen mit relativ inhomogenen Expositionsbedingungen, wie in Bergsicherungsbetrieben, in Schachtbaubetrieben und in sonstigen Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte, 1983 bereits weitgehend abgeschlossen waren, ist in Abbildung 5 das Wirksamwerden entsprechender Strahlenschutzmaßnahmen in den ab 1980 in die Überwachung einbezogenen Schauhöhlen und Schaubergwerken deutlich zu erkennen. Entsprechende Maßnahmen in einzelnen Wasserbetrieben ab 1984 haben inzwischen zu einer Angleichung der mittleren jährlichen effektiven Dosis der hier beruflich exponierten Personen an das Niveau in den übrigen Arbeitsbereichen geführt.

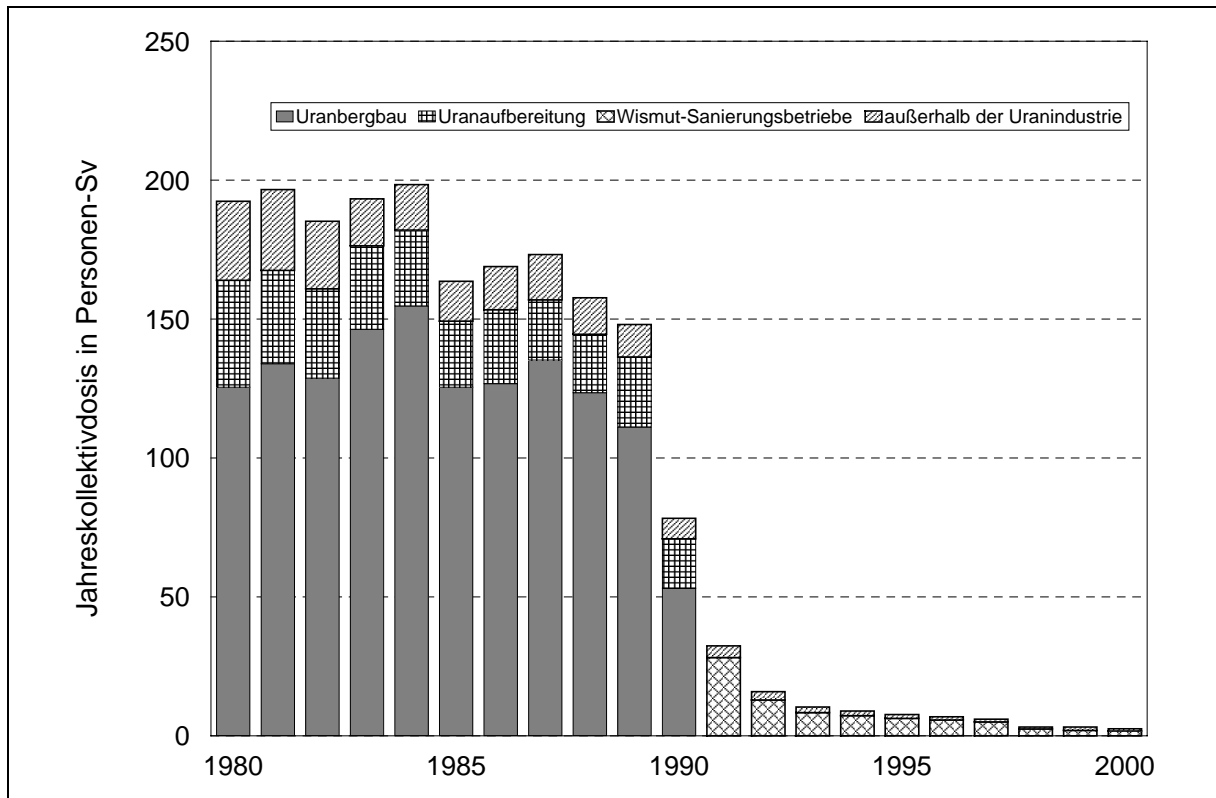
Insbesondere nach 1990 spielte bei der Reduktion der Kollektivdosis allerdings auch die stark fallende Anzahl überwachter Personen mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte eine wesentliche Rolle (s. Abbildungen 1, 2 und 3).

Der Anteil von Strahlenexponierten mit einer individuellen jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv (zukünftiger Richtwert für Anzeige und Einbeziehung in die Überwachung der beruflich durch Radon und Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen in Arbeitsfeldern außerhalb der Uranindustrie) betrug im Jahr 2000 in den Wismut-Sanierungsbetrieben 2,6% und außerhalb der Uranindustrie 5,6%. Die insgesamt 69 Beschäftigten (3,3% aller Überwachten) mit einer nach ICRP-65 ermittelten jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv lieferten einen Beitrag von 24,1% zur Kollektivdosis. Weitere Einzelheiten über die Entwicklung der entsprechenden Anteile in den verschiedenen Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie seit 1975 sind der Abbildung 6 zu entnehmen.

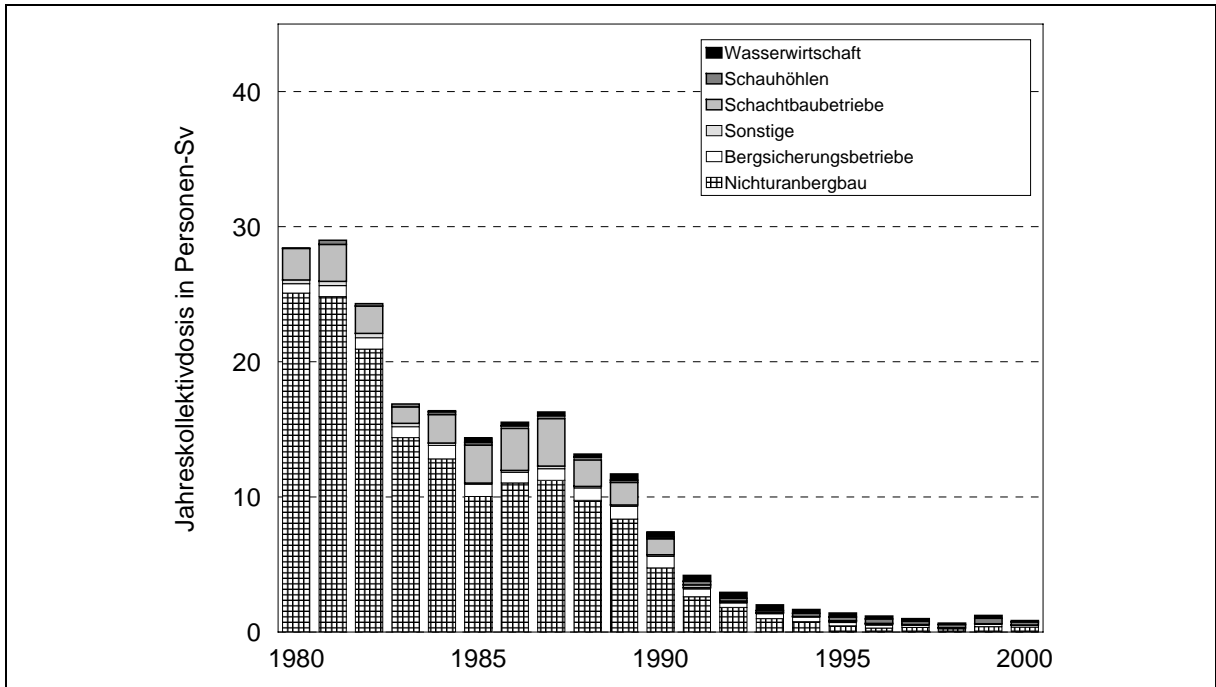
Den Übersichten liegen für die Jahre vor 1990 die entsprechenden Datensammlungen des ehemaligen Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR bzw. der SDAG Wismut zu Grunde.



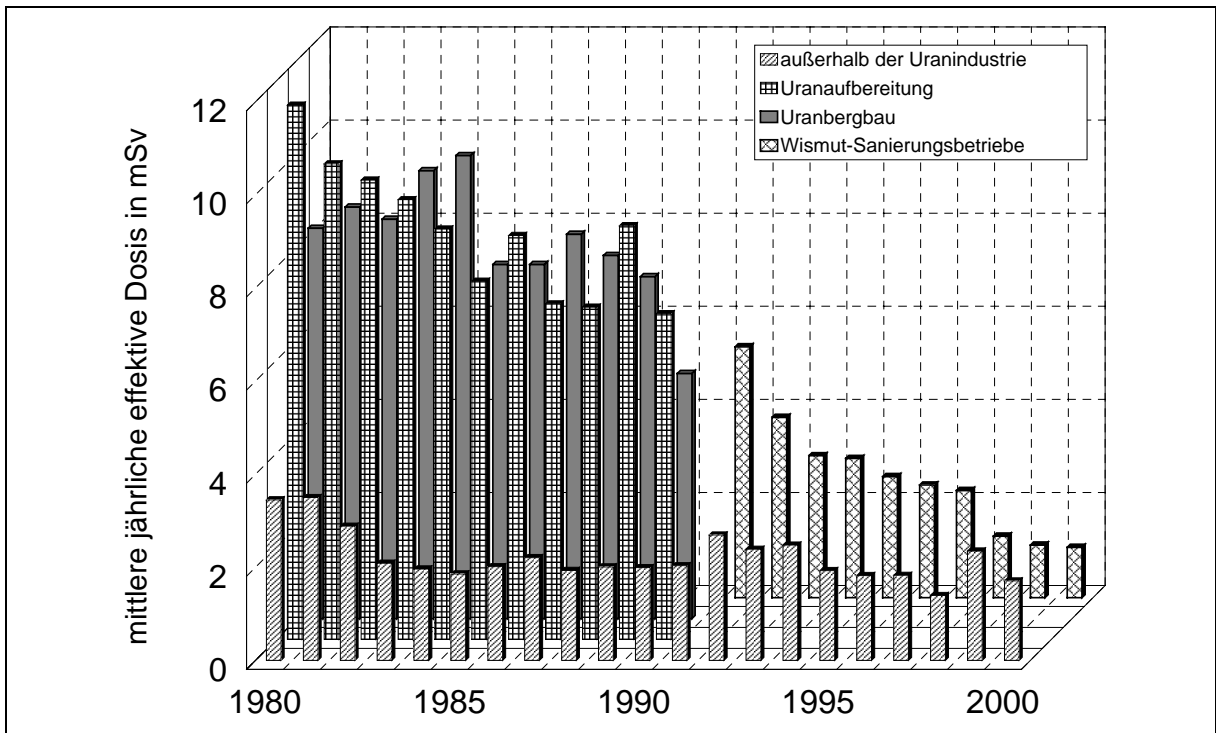
Bfs	Anzahl überwachter Personen mit Strahlenexpositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte <i>(Number of monitored persons exposed to radiation from short-lived radon daughter products)</i>	Abb. 1
------------	---	---------------



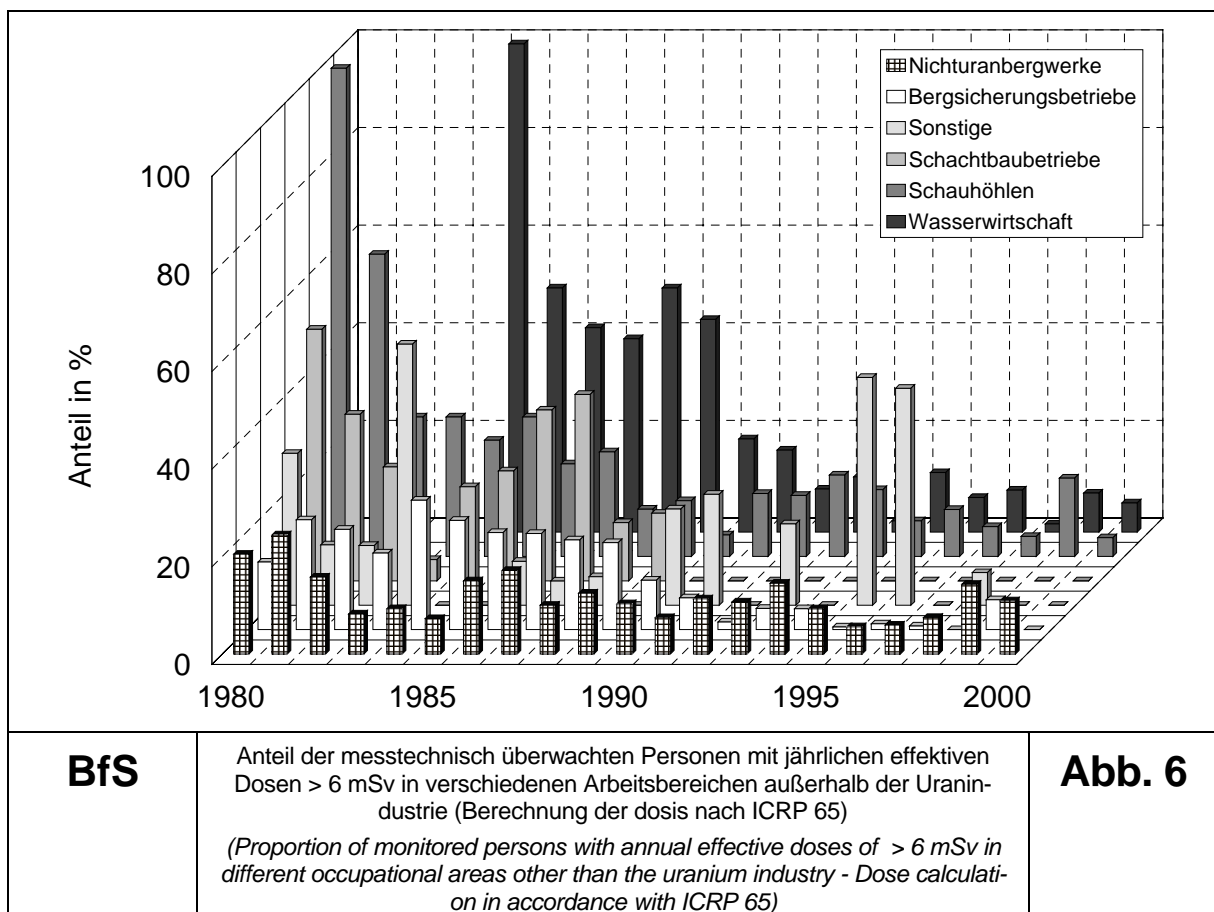
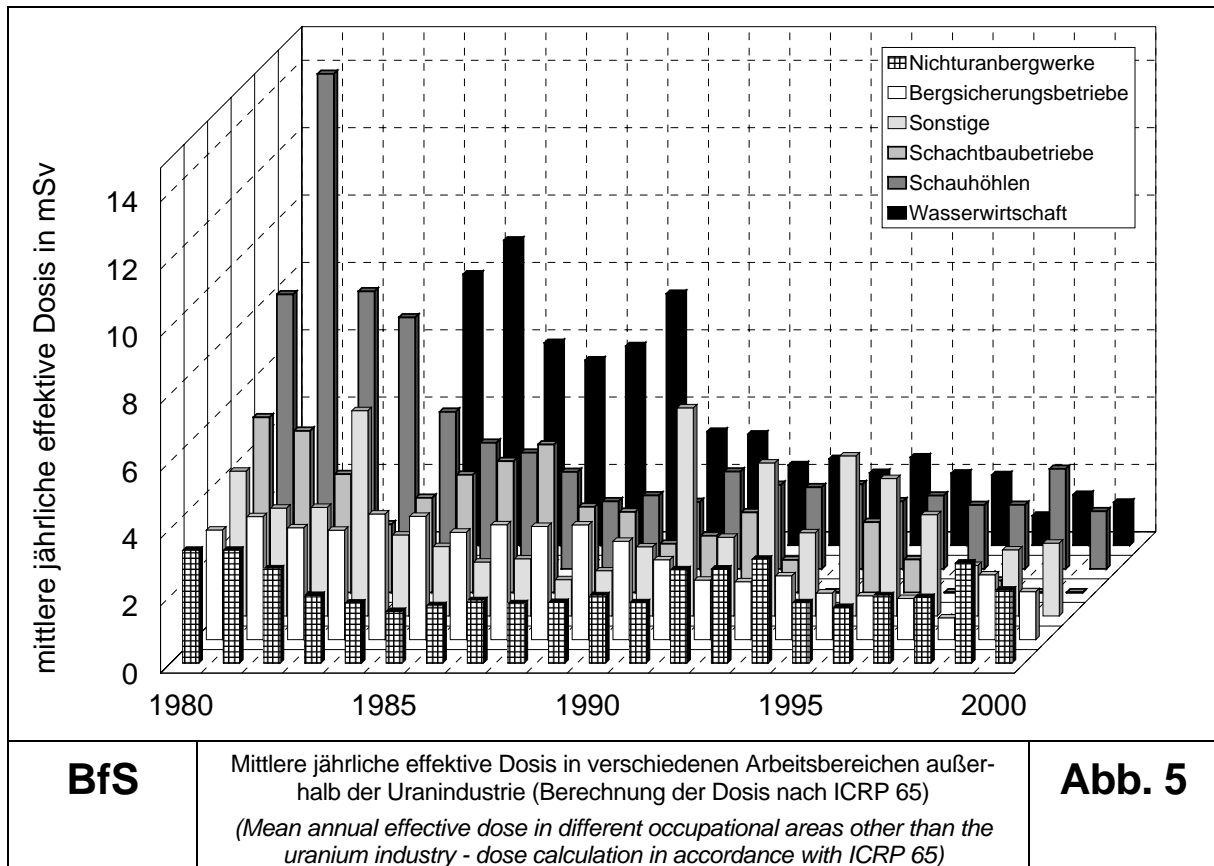
Bfs	Jahreskollektivdosis in verschiedenen Arbeitsbereichen (Berechnung der Dosis nach ICRP 65) <i>(Annual collective dose in different occupational areas - dose calculation in accordance with ICRP 65)</i>	Abb. 2
------------	---	---------------



BfS	Verteilung der Jahreskollektivdosis auf verschiedene Arbeitsbereiche außerhalb der Uranindustrie (Berechnung der Dosis nach ICRP 65) <i>(Distribution of annual collective dose among the different occupational areas other than the uranium industry dose calculation in accordance with ICRP 65)</i>	Abb. 3
------------	--	---------------



BfS	Mittlere jährliche effektive Dosis in verschiedenen Arbeitsbereichen (Berechnung der Dosis nach ICRP 65) <i>(Mean annual effective dose in different occupational areas - dose calculation in accordance with ICRP 65)</i>	Abb. 4
------------	---	---------------



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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

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 Strahlungsfeld in Höhen zwischen etwa 10 km und 14 km wichtig. Das Strahlungsfeld ist komplex zusammengesetzt. 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 kann sich jedoch die Strahlenbelastung je nach Höhe bis zu einem Faktor 2 innerhalb einiger Jahre ändern.

Die Abschätzung der Strahlenexposition des fliegenden Personals beruht auf Stichproben mit ortsdosimetrischen Messungen beim Flugbetrieb und Annahmen über die jährlichen Flugzeiten und Flugrouten. Die Umgebungs-Äquivalentdosis wird als Messgröße verwendet. Von 0° bis 50° geomagnetischer Breite nimmt sie bei gleicher Höhe kontinuierlich zu und ist dann in höheren Breiten konstant. Flüge auf der Nordatlantik-Route finden fast ausschließlich in geomagnetischen Breiten oberhalb von 50° statt und führen damit zur höchsten Strahlenexposition. Als obere Abschätzung für die Jahresdosis des fliegenden Personals kann ein Wert von etwa 8,3 mSv errechnet werden, wenn man annimmt, dass die Flüge ausschließlich auf der Nordatlantik-Route zur Zeit eines Sonnenfleckenminimums stattfinden und die maximal zulässige Summe der Blockzeiten von 1000 Stunden (entspricht 875 Stunden in Reiseflughöhe) voll ausgenutzt wird. Bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind unter sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer. Die Ergebnisse deuten - je nach zu Grunde gelegten Annahmen - auf mittlere jährliche Dosen in der Umgebung von 3 mSv hin. Die genannten Abschätzungen beinhalten nicht die Strahlenexposition durch solare Teilchenereignisse, deren Anteil gemittelt über mehrere Jahre gegenüber der ständigen Exposition durch galaktische kosmische Strahlung gering ist; im Prinzip kann diese Strahlenexposition jedoch über Messstationen und Satelliten erfasst und berücksichtigt werden.

Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung, die im Jahr 2001 abgeschlossen wird, werden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist künftig auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen müssen die Dosiswerte ermitteln und mindestens halbjährlich über das Luftfahrtbundesamt oder über eine von ihm bestimmte Stelle an das Strahlenschutzregister des BfS übermitteln. Auf der Grundlage der individuellen Flugzeiten, -routen, -höhen und unter Berücksichtigung der Phasen des Sonnenzyklus wird die Dosis personenbezogen ermittelt. Hierzu sind Computerprogramme verfügbar bzw. in der Entwicklung, die hinreichend verlässliche Berechnungen liefern. Auf Grund der relativen Konstanz des Strahlungsfeldes in Reiseflughöhen ist nicht zu erwarten, dass sich die Expositionsbedingungen des fliegenden Personals unerkannt verändern. Der künftige Jahresgrenzwert der effektiven Dosis von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wird beim fliegenden Personal unterschritten, dennoch stellt das fliegende Personal mit erwarteten mittleren jährlichen Dosen von etwa 3 mSv eine im Vergleich mit anderen Berufsgruppen hoch exponierte Gruppe dar mit einem hohen Anteil an relativ jungen Frauen.

2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG (INCORPORATION MONITORING)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Neuherberg

Bei Personen, die radioaktive Stoffe in offener Form handhaben, kann gemäß §§ 62 und 63 StrlSchV eine Inkorporationsüberwachung erforderlich sein. Erfordernis und Verfahren dieser Inkorporationsüberwachung sind in der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 StrlSchV)" geregelt.

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

Ganzkörpermessungen

Bei der Inkorporationsüberwachung durch Ganzkörpermessung wird nur die zum Zeitpunkt der Messung im Körper vorhandene Aktivität eines radioaktiven Stoffes ermittelt. Die Aktivitätszufuhr ist daraus unter Beachtung des Zufuhrweges und des biologischen Verhaltens der chemischen Verbindung, in der der radioaktive Stoff vorliegt, zum Zeitpunkt der Inkorporation zu berechnen. Solange das Messergebnis der Ganzkörpermessung im Prozentbereich des Jahresaktivitätszufuhr-Wertes für das Radionuklid oder darunter liegt, kann zur Bewertung das Messergebnis der Ganzkörpermessung mit dem Jahresaktivitätszufuhr-Wert verglichen werden.

Ausscheidungsmessungen

Ausscheidungsanalysen werden durchgeführt, wenn die Bestimmung der Körperaktivität durch Ganzkörpermessungen aus physikalischen Gründen nicht möglich ist. Dies ist der Fall bei der Inkorporation β - und α -strahlender Nuklide, die keine oder nur eine geringe begleitende γ -Strahlung aufweisen. Hierzu gehören β -Strahler wie Tritium, Kohlenstoff-14, Phosphor-32, Schwefel-35, Calcium-45, Strontium-90, Promethium-147 sowie α -Strahler wie natürliches Thorium und Uran, Uran-233, Uran-235, Plutonium-238 und Plutonium-239.

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

Das Rechenverfahren zur Bestimmung der aus einer Inkorporation radioaktiver Stoffe resultierenden Strahlendosis ist in der Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition gemäß §§ 63 und 63a Strahlenschutzverordnung (Berechnungsgrundlage) angegeben.

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung liegen bei den Messstellen bislang in teilweise unterschiedlicher Darstellung vor. Im Zuge der Ausweitung der Tätigkeit des Strahlenschutzregisters wird eine Harmonisierung herbeigeführt.

3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSE (RADIOLOGICAL EVENTS SUBJECT TO REPORTING)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2000 enthält Tabelle 1. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um zukünftig vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotential beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung, Dichtheit, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar.

Bezüglich meldepflichtiger Ereignisse in Kernkraftwerken wird auf die Berichte „Meldepflichtige Ereignisse in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen in der Bundesrepublik Deutschland“ des BMU verwiesen.

Tabelle 1 Besondere Vorkommnisse im Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 2000
(Radiological events in handling radioactive substances, in the operation of accelerators and during the transport of radioactive material in the year 2000)

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
04.01.00	Fund eines Kampfstoffdetektors ausländischer Gaststreitkräfte (Am-241 925 kBq) in einem Wertstoffhof	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering, Gerät unverseht	Rückgabe an die Gaststreitkräfte
06.01.00	Sicherstellung eines beschädigten Frachtstückes mit radioaktiven Stoffen (I-125 111 kBq) auf einem Flughafen	Unbekannt	Gefährdungspotential gering	Kontaminationsmessungen, ordnungsgemäße Entsorgung
18.01.00	Kontamination eines Kundendienststraumes einer Firma durch einen undichten zur Entsorgung anstehenden Strahler (Kr-85 1,85 GBq)	Strahler 10-12 Jahre alt	Gering, max. Teilkörperdosis (Haut) 120 µSv	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.01.00	Störung der Strahlerrückführung an einem Afterloadinggerät in einer Klinik beim Selbsttest des Gerätes	Defekter Endschalter	Keine	Reparatur durch Servicefirma, Sachverständigenprüfung
03.02.00	Verlust eines RIA-Kits (I-125 1,48 MBq) bei einer Transportfirma	Vermutlich Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Behördliche Ermittlungen
04.02.00	Verlust von zwei Prüfstrahlern (Kr-85 56 kBq und Na-22 11 kBq) in einer Universität	Unbekannt	Gefährdungspotential gering	Behördliche Ermittlungen
07.02.00	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90 3,7 MBq) bei einer Gesellschaft für Abfallwirtschaft	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering, Strahler unverseht	Sicherstellung des Strahlers, keine Kontaminationen bei 3 beteiligten Beschäftigten nachweisbar, Feststellung des Eigentümers, weitere Untersuchungen

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
22.02.00	Brand einer Kunststoffabdeckung an einem Messkopf (Pm-147 18,5 GBq) einer Papiermaschine in einer Papierfabrik	Ausfall einer Über-temperatursicherung	Keine, Messkopf unversehrt	Dichtheitsprüfung, Erneuerung der Kunststoffabdichtung
23.02.00	Fund von zwei Strahlern (Cs-137 max. 20 mSv/h und Co-60 max. 0,94 mSv/h) bei Aufräumarbeiten in einer Firma	Unterlassene Entsorgung bei Stilllegung der Geräte	Keine, da Strahler in Strahlenschutzbehälter	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.02.00	Registrierung von Strahlung bei Aufräumarbeiten einer Assistentin im Röntgenraum durch den akustischen Warn- ton nach Ablauf der Uhr	Defekt am Fußschalter durch verkeilte Schraube	Keine, da Blende geschlossen, Leistung heruntergeregelt und kein Aufenthalt im Direktstrahl	Sofortauswertung des Dosimeters ergab keinen Nachweis einer Exposition
25.02.00	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 16 MBq) in einer verpackten Messapparatur bei Aufräumarbeiten in einem übertägigen Gebäude des Endlagers für radioaktive Stoffe	Unterlassene ordnungsgemäße Einlagerung vor vielen Jahren	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
02.03.00	Fund zweier Prüfstrahler (Sr-90/Y-90 je 0,6 MBq) und eines Ionisationsrauchmelders (Pu-239 18,5 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.03.00	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90 0,6 MBq) und einem Messgerät mit Strahler (Sr-90/Y-90 0,6 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.03.00	Fund einer Ampulle Übungsstaub (Co-60, Ba-133, Eu-152)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.03.00	Abbruch des Transportes eines Typ-A-Versandstückes (Am-241 296 GBq, Cs-137 55,5 GBq) in einem ausländischen LKW durch die Polizei	keine Beförderungsgenehmigung, unvollständige Beförderungspapiere	keine	Ordnungswidrigkeitsverfahren, Weitertransport durch autorisierte Spedition
15.03.00	Sicherstellung eines Radium-Emanationsapparates (Ra-226 ca. 1 MBq) zur Trinkwasserbereitung	Fund in einem Nachlass	Keine, da Apparatur unversehrt und unbe- nutzt auf einem Dachboden gelagert	Kontaminationskontrolle, ordnungsgemäße Entsorgung
16.03.00	Fehlpositionierung des Strahlers eines Afterloadunggerätes während einer Patientenbehandlung	Elektromagnetische Einstrahlung von außen	Therapiedosis in einer von sieben Sitzungen statt 3,45 Gy nur 2,71 Gy	Austausch der Steuerungssoftware durch den Hersteller
20.03.00	Fund eines Prüfstrahlers (Pu-239 4 kBq)	Unzureichende Räumung eines ehemals militärisch genutzten Bereiches	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.03.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (I-131 3 µSv/h an der Fahrzeugwand) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage, Verursacher ermittelt
24.03.00	Verdacht auf kontaminiertes Abwasser in einem Installationsschacht einer nuklearmedizinischen Therapiestation	Ablagerung radioaktiver Stoffe durch zu geringe Spülung	Keine	Erhöhung des Spülwassereinsatzes, weitere Untersuchungen

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
24.03.00	Fund zweier Prüfstrahler (Co-60 je 0,4 MBq)	Unzureichende Räumung eines ehemals militärisch genutzten Bereiches	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.03.00	Fund eines Strahlers (Cs-137 778 kBq) eines zerstörten Flüssigszintillations-Messgerätes in einer Elektronikschrottlieferung bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung, Feststellung des früheren Besitzers
27.03.00	Fund eines Behälters mit Strahlenzeichen bei einer Hausdurchsuchung	Unterlassene Entfernung des Strahlenwarnzeichens bei Entleerung des Behälters	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
31.03.00	Kontamination eines Mitarbeiters beim Umgang mit einer H-3-haltigen Flüssigkeit in einem Labor einer Universität	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering, max. Inhalationsdosis $3\mu\text{Sv}$	Unverzügliche Dekontamination, Ausscheidungsanalyse
04.04.00	Kontamination einer Stuhlsitzfläche mit P-32 (max. 1,11 MBq), obwohl offiziell kein Umgang mit P-32 stattfand	Unbekannt	Exposition eines Mitarbeiters (ca. 30 mSv Personendosis, ca. 120 mSv Gonadendosis)	Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen, Dekontamination, ärztliche Untersuchung
05.04.00	Fund von 2 Kunststoffflaschen mit je 500 ml Uranylacetat in einer Hausmüllsortieranlage	Unzulässige Entsorgung	Keine, Behältnisse unversehrt und kontaminationsfrei	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.04.00	Kurzzeitige Exposition eines Patienten außerhalb des Zielvolumens während der Behandlung durch freistrahlen den Ir-192-Strahler (486 GBq) eines Afterloadinggerätes	Defekte Kupplung	Zusätzliche Strahlenexposition des Patienten kleiner 1 mSv	Reparatur des Gerätes, Sachverständigenprüfung, Durchführung zusätzlicher patienten-naher Ortsdosimetrie und Videoüberwachung der Strahlerführung
08.04.00	Verkehrsunfall eines LKW mit radioaktiven Versandstücken (verbrauchte Mo-99/Tc-99-Generatoren)	Fahrfehler eines Pkw-Fahrers	Keine, Versandstücke unversehrt	Kontaminationsmessungen
11.04.00	Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott, Betonabriebmaterial und Erdreich nach Abriss eines ehemaligen Isotopenbunkers	Unterlassene Information, unzulässige Entsorgung	Kontamination von Teilen des Betriebsgeländes	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.04.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Hausmüllcontainer (I-131 $0,9\mu\text{Sv/h}$ an der Fahrzeugwand) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage, Verursacher ermittelt
14.04.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (Tl-201 $0,8\mu\text{Sv/h}$ an der Fahrzeugwand) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage, Verursacher ermittelt
20.04.00	Fehlanzeige über Strahlerposition an einem Afterloadinggerät (Ir 192 370 GBq) während einer Patientenbehandlung in einer Klinik	Unbekannt	Keine, da Strahler ordnungsgemäß eingefahren	Überprüfung der Anlage
25.04.00	Sicherstellung eines Herzschrittmachers (Pu-238 96 GBq) bei einer verstorbenen Patientin	Unterlassene Entsorgung		Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
02.05.00	Fund eines Ra-226-Strahlers (ca. 10-20 kBq) in einem Aluminiumschrottballen bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.05.00	Fund von Strahlenschutzbunkern anhand der Beschilderung bei Abrissarbeiten einer alten Kaserne	Unterlassene Entfernung von Strahlenschildern	Keine Strahler, keine Kontaminationen	
15.05.00	Verkehrsunfall eines PKW mit radioaktivem Versandstück (Mo-99/Tc-99m Generator)	Auffahren eines anderen PKW	keine, Verpackungsinhalt unversehrt	
17.05.00	Fund eines Radium-Strahlers aus einem Radium-Trinkbecher in einer Schrottladung bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.05.00	Fund von zwei Radium-Emanationsapparaten (Ra-226 ca. 0,9 und 2 MBq) auf dem Dachboden eines Wohnhauses	Unzulässige Lagerung	Keine, Apparatur seit 25 Jahren nicht genutzt	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.05.00	Sicherstellung eines Radiumbechers (Ra-226 ca. 200 kBq) auf einem Flohmarkt	Ungenehmiger Umgang	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.05.00	Wiederholtes Auftreten einer Fehlanzeige über die Strahlerepositionierung an einem Afterloadinggerät (Ir-192 370 GBq) während einer Patientenbehandlung in einer Klinik	Unbekannt	Keine, Therapiesitzung nur unterbrochen	Stilllegung der Anlage bis zur Klärung der Ursache
24.05.00	Nichtabschalten einer Telekobalt-Therapie-Anlage nach Ablauf der geplanten Bestrahlungszeit in einer Klinik	Ursache nicht feststellbar	Patientenbestrahlung (1,68 Gy) im Bereich der therapeutisch vorgesehenen Tagesdosis bei drei verschiedenen Einfallrichtungen	Austausch der Bestrahlungsuhr
08.06.- 23.06.00	Fehlbestrahlung von ca. 110 Patienten mit einer Röntgentherapieeinrichtung bei der Schmerztherapiebehandlung	Verwendung eines falschen Filters	Hautrötungen und Verbrennungen 1. und 2. Grades	Staatsanwaltschaftliche und behördliche Ermittlungen
27.06.00	Fund eines Strahlers (Co-60 1,1 GBq) einer radiometrischen Messeinrichtung eines Verbrennungsofens in einer LKW-Ladung durch ein Zollamt	Unterlassener Ausbau des Strahlers bei Abbau des Ofens	Keine	Behördliche Ermittlungen
Juli 2000	Fund eines Strahlers (Co-60) aus einer Füllstandsmessanlage im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Feststellung des Eigentümers, behördliche Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung
04.07.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (Ra-226 ca. 200 kBq) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, Herkunft ermittelt
10.07.00	Feststellung erhöhter Ortsdosisleistung (Co-60-Strahler, 10 cm über Oberfläche der Ladung max. 185 µSv/h) an einem LKW mit Buntmetallschrott durch ein Zollamt	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Einfuhrverbot

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
14.07.00	Fund dreier Prüfstrahler (Pu-Gemisch je 37 MBq)	Unzureichende Räumung eines ehemals militärisch genutzten Bereiches	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.07.00	Verlust eines in Folie eingeschweißten Strahlers (Ba-133 ca. 400 kBq) bei einem Therapiepatienten	Unterlassene Entfernung des Strahlers nach einer Messung	Gefährdungspotential erhöht bei Kontakt mit dem Strahler (in 1 cm 0,25 mSv/h)	Umfangreiche Suche, auch unter Einschalten der Presse erfolglos
18.07.00	Feststellung erhöhter Ortsdosisleistung an einem mit Stahlschrott beladenen Güterwagen (zwei Co-60-Strahler, max. 90 µSv/h an Waggonaußenseite) durch ein Zollamt	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Einreiseerlaubnis nach ordnungsgemäßer Entsorgung der Strahler in das Nachbarland
28.07.00	Störung der Strahlerrückführung an einem Afterloadinggerät (Ir-192 444 GBq) in einer Klinik während der Patientenbehandlung	Defekter Endschalter	Geringfügige Patientenüberexposition (0,5 µSv am Rumpf und 5 µSv an den Füßen)	Reparatur durch Servicefirma, Sachverständigenprüfung
07.08.00	Freisetzung von 520 MBq O-15 in die Abluft beim Betrieb einer Zyklotronanlage in einer Klinik	Defektes Target	Keine Exposition von Personen, Freisetzung direkt in die Abluft	Austausch des Targets
18.08.00	Fund eines Strahlers (Co-60) im angelieferten Schrott in einem Stahlwerk	Unterlassene Information über eingebaute radiometrische Messeinrichtung mit zwei Strahlern vor Demontage von Anlagen einer Gießerei	Gefährdungspotential gering	Erfolgreiche Suche nach dem zweiten Strahler; ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungsverfahren
28.08.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (I-131 0,5 µSv/h an der Fahrzeugwand) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Keine
30.08.00	Aufenthalt eines Hausmeisters im Bestrahlungsraum einer Klinik beim Einschalten eines medizinischen Beschleunigers zu Messzwecken	Unachtsamkeit	Strahlenexposition des Hausmeisters kleiner 1 mSv	Vorstellung des Hausmeisters beim ermächtigten Arzt, Maßnahmen gegen Strahlenschutzbeauftragten eingeleitet
30.08.00	Feststellung der Undichtheit eines Strahlers (C-14 9,25 MBq) eines Schichtdickenmessgerätes bei einer Dichtheitsprüfung	Unbekannt	Keine	Strahler sichergestellt, vom Hersteller ausgetauscht und entsorgt, Dichtheitsprüfung für 6 weitere Strahler dieses Typs empfohlen
07.09.00	Verkehrsunfall eines Lieferwagens mit 24 Typ-A-Versandstücken (Radiopharmaka)	Überschlagen des Fahrzeugs infolge unangepasster Geschwindigkeit	keine, Verpackungsinhalt unversehrt	
08.09.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (I-131 0,5 µSv/h an der Fahrzeugwand) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Keine, Herkunft ermittelt
20.09.00	Fund radioaktiver Stoffe (H-3 18,5 GBq) bei Aufräumarbeiten in einer Forschungseinrichtung	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Weitergabe

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
26.09.00	Fund eines Strahlers (Sr-90 37 MBq) im Metallschrott bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.09.00	Fund von thorium- und uranhaltigen Materialien (Th-nat 32,6 MBq, U-nat 2,3 MBq) auf einem Privatgrundstück	Ungenehmigte Lagerung	Gefährdungspotential gering, da zugriffssichere Lagerung	Ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliches Ermittlungsverfahren
Oktober 2000	Verlust von 6 Ionisationsrauchmeldern (Am-241) bei Umbauarbeiten eines Gebäudes	Unzulässige Entsorgung mit Bauschutt	Gefährdungspotential gering	
06.10.00	Fund eines Strahlers (Ortsdosisleistung 1,5 mSv/h) im Tresor einer Privatwohnung	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential bei Kontakt erhöht	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.10.00	Verlust eines Metallanalysegerätes mit drei Strahlern (Cd-109 185 MBq und 370 MBq, Fe-55 1,67 GBq) in einer Firma	Diebstahl	Gefährdungspotential gering bei sachgerechter Handhabung	Polizeiliches Ermittlungsverfahren
23.10.00	Überschwemmung von Labors im Kontrollbereich eines Forschungsinstituts	Öffnung eines Kühlwasseranschlusses durch Sabotage	Keine Kontaminationen nachweisbar	Kontaminationsmessungen
26.10.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (I-131 0,8 µSv/h an der Fahrzeugwand) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
26.10.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (Tc-99m 0,2 µSv/h an der Fahrzeugwand) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage, Herkunft ermittelt
30.10.00	Fund eines Flächenstrahlers (Ra-226 17,4 MBq) in einem Metallschrottcontainer einer Rohstoffverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.11.00	Fund radioaktiver Stoffe (Ra-226 88,8 MBq) in einem Kunststoffbehälter mit Kupferschrott bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.11.00	Fund von 4 Strahlern (Cs-137 844 und 245 MBq, Am-Be-241 3,2 und 1,48 GBq) in verschlossenem Lagerraum einer Firma	Unterlassene Entsorgung nach Beendigung des genehmigten Umgangs	Gefährdungspotential gering, da Strahler im Abschirmbehälter in verschlossenem Stahlschrank	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.11.00	Verkehrsunfall eines Kleintransporters mit radioaktivem Typ-B-Versandstück (Ir-192 Prüfstrahler)	Kollision des Kleintransporters mit PKW	keine, Verpackungsinhalt unversehrt	
21.11.00	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Pu-239 18,5 MBq) und von zwei Prüfstrahlern (Cs-137 72 kBq, Sr-90/Y-90 0,6 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
23.11.00	Fund radioaktiver Stoffe (Thoriumnitrat ca. 2 MBq) in einem Futterphosphatwerk	Unzulässige Lagerung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.11.00	Verkehrsunfall eines Kleintransporters mit 7 Typ-A-Versandstücken (Radiopharmaka)	Kollision des Kleintransporters mit PKW	keine, Verpackungsinhalt unversehrt	

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen
27.11.00	Verkehrsunfall eines Fahrzeugs mit radioaktiven Versandstücken	Fahrfehler	Keine; Versandstücke blieben unversehrt	
28.11.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (Ra-226 1,5 µSv/h an der Fahrzeugwand) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.11.00	Fund eines kontaminierten Stahlstabes in einer Schrottladung (Co-60 ca. 7 MBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.12.00	Fund eines Transportbehälters mit Strahler (Cs-137 1,5 MBq) in einer Garage auf einem Privatgrundstück	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering, Strahler im Abschirmbehälter	Polizeiliche Ermittlungen
05.12.00	Zerstörung und Verlust des Strahlers (Am-241 90,55 MBq) eines Ionisationsrauchmelders bei Demontearbeiten	Ungenügende Sorgfalt	Gefährdungspotential gering	Behördliche Ermittlungen
12.12.00	Verlust von zwei Prüfstrahlern (Am-241/Sr-90 1,85 kBq und Cs-137 333 kBq) beim Transport	Unbekannt	Gefährdungspotential gering	Am-241/Sr-90-Strahler gefunden, behördliche Ermittlungen
14.12.00	Fund radioaktiver Stoffe in einem Müllcontainer (Tc-99m 2,8 µSv/h an der Fahrzeugwand) auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
15./16.12.00	Verlust einer Feuchtemesssonde (Am-241 1,48 GBq) bei einer Firma	Diebstahl	Gefährdungspotential gering bei sachgerechter Handhabung	Behördliche Ermittlungen
18.12.00	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226 740 kBq) in einem Presscontainer mit Hausmüll auf einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

TEIL IV

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

1. DIAGNOSTISCHE STRAHLENANWENDUNGEN (DIAGNOSTIC APPLICATIONS OF RADIATION)

1.1 Röntgendiagnostik (X-ray diagnostics)

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Sowohl an die Indikationsstellung als auch Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der Röntgenverordnung ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte 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 Patienten und Patientinnen hat es die Europäische Union in der Patientenschutzrichtlinie (PatSRL) 97/43/EURATOM /4/ den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wird, sieht vor, diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zu übertragen.

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

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

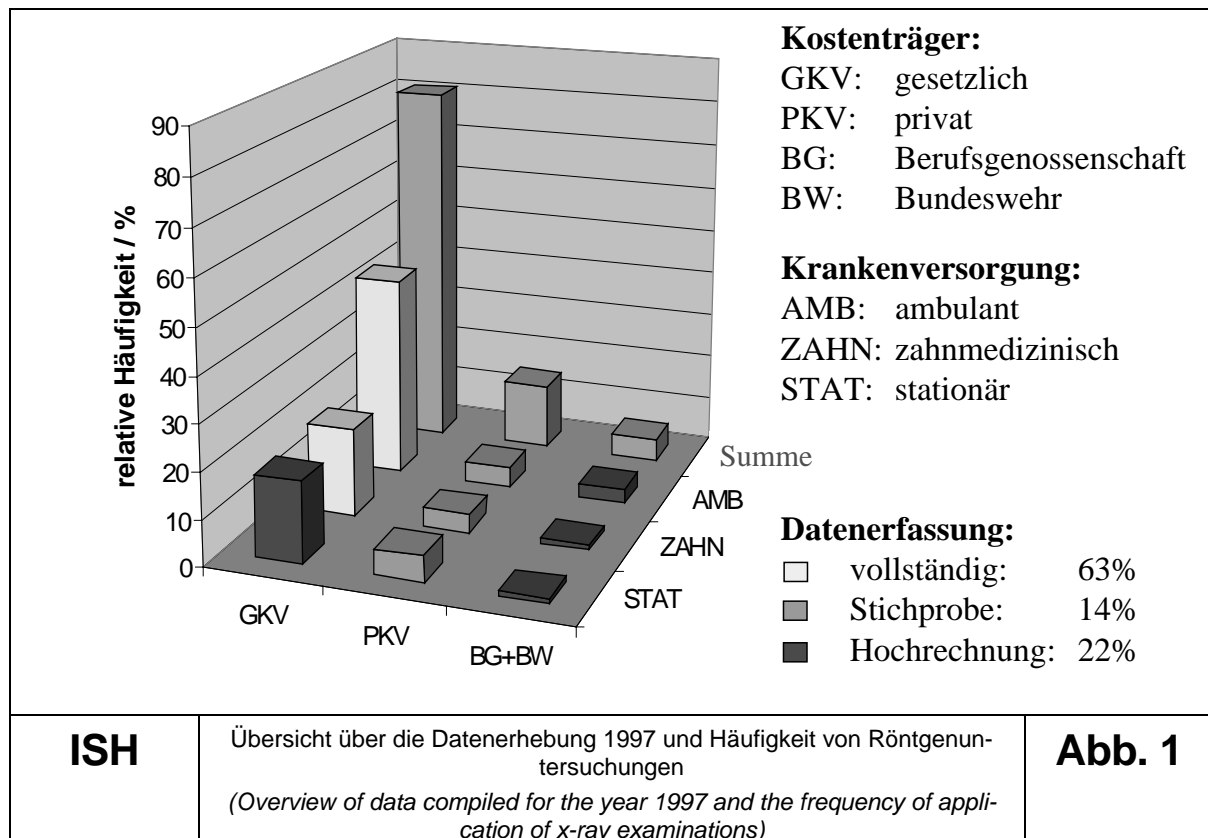
Das Institut für Strahlenhygiene des BfS führt seit 1991 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durch. Die aktuellsten zu erhaltenden Daten stammen aus dem Jahr 1997. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sog. 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:

- 1) Die GKV rechnet nur die ambulanten human- und zahnmedizinischen Leistungen über Leistungspositionen ab, so dass die stationären Röntgen-Leistungen abgeschätzt werden müssen - unter der Annahme, dass das Verhältnis von ambulanten und stationären Untersuchungen bei Kassenspatienten und Privatpatienten gleich ist.
- 2) Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa ein 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), 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.



ISH

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)

Abb. 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 – zusammen mit Norwegen und Luxemburg - eine Spitzenstellung ein, die nur von Japan übertroffen wird.

Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. $\pm 10\%$ 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 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 2 als jährliche Häufigkeit in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1000 Einwohner dargestellt. 72% aller Röntgenuntersuchungen einschließlich der zahnmedizinischen Untersuchungen werden danach ambulant durchgeführt, ohne Zahnmedizin sind es 66%. Am häufigsten sind Röntgenuntersuchungen des Thorax (Brustkorb), der Zähne und der Extremitäten. Welchen Anteil die einzelnen Untersuchungen innerhalb der Tätigkeit der niedergelassenen Ärzte und der Krankenhäuser haben, ist ebenfalls aus Tabelle 1 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 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik an Standardpatienten (70 ± 5 kg Körpergewicht).
(Ranges of mean values for the dose from frequently applied x-ray diagnostic procedures in relation to standard patients: body weight of 70 kg ± 5 kg)

Untersuchungsart / -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 KM-Gabe

Tabelle 2 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland
(Frequency of application of x-ray examinations in Germany in the year 1997)

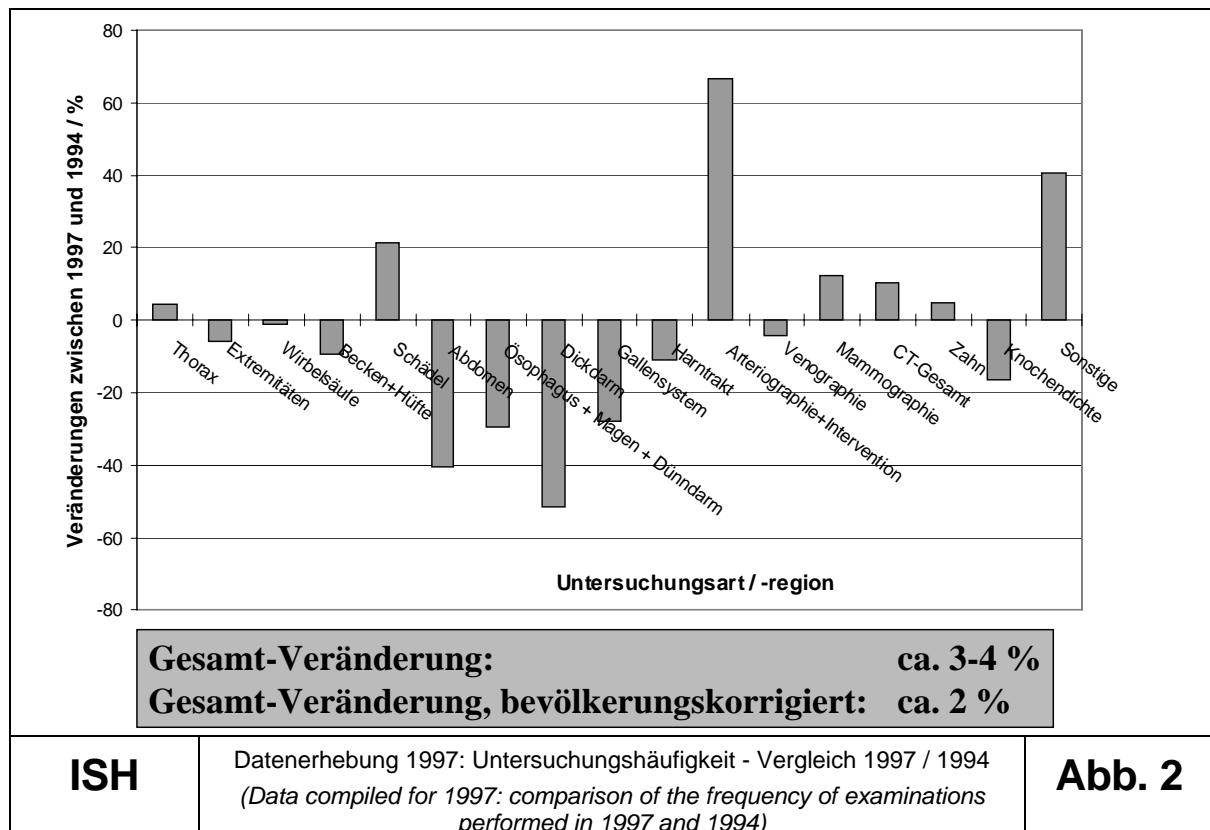
Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär ^{d)}		Gesamt in Tausend	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in% a)	in Tausend	Anteil in% a)		
Brustkorb	9508	13	15460	49	24968	304
Gliedmaßen	18877	26	3430	11	22307	272
Wirbelsäule	10067	14	1430	4	11497	140
Becken und Hüfte	5725	8	1240	4	6965	85
Schädel	12007	16	1600	5	13607	166
Bauchraum (leer)	965	1	640	2	1605	20
Speiseröhre/Magen/ Dünndarm	741	1	180	1	921	11
Dickdarm	634	1	270	1	904	11
Galle	68	0	90	0	158	2
Harntrakt	1397	2	640	2	2037	25
Arteriendarstellung und Intervention	439	1	1950	6	2389	29
Venendarstellung	356	0	300	1	656	8
Mammographie	5840	8	380	1	6220	76 ^{b)}
Computertomographie	3198	4	2580	8	5778	70
Knochendichtemessung	902	1	?	-	902	11
nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen	3031	4	1560	5	4591	56

Fortsetzung Tabelle 2

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär ^{d)}		Gesamt in Tausend	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in% a)	in Tausend	Anteil in% a)		
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) entspricht 199 je 1000 Frauen im Alter ab 25 Jahren (31,29 Mio.)
- c) z. B. Gesundheitsämter, Justizvollzugsanstalten u.a. Diese Untersuchungsstellen sind weder ambulant noch stationär zugeordnet.
- d) Die Unsicherheit der Abschätzung wirkt sich besonders bei den sehr häufigen Untersuchungen des Brustkorbs (Thorax) auf die angegebene Häufigkeit aus.

Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen, wobei die Zuordnungen einzelner Leistungspositionen zu organbezogenen Untersuchungen nicht mehr in derselben Weise möglich ist. Weiterhin wurden bei der Auswertung für das Jahr 1997 einige Leistungspositionen zusätzlich berücksichtigt, die 1994 noch nicht erfasst werden konnten. Mit diesen Einschränkungen ergibt sich eine Steigerung der Gesamt-Untersuchungshäufigkeit zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%, also grob geschätzt von 1% pro Jahr. Bevölkerungskorrigiert liegt der Anstieg bei ca. 2% (Abb. 2).



Die Auswertung für die einzelnen Untersuchungsarten lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der relativen Häufigkeit im Vergleich zu 1994 erkennen (Abb. 2). Einerseits zeigte sich eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts um 10 – 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlung wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie (MRT) weiter anhält. Andererseits zeigte sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%, wobei erstere im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt ist, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Brustkrebsfrüherkennung 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 Patienten und Patientinnen 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 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 Patienten durchgeführten Untersuchungen errechnet wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten "Normalpatienten".

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache, kontinuierliche oder gepulste Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört auch die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patienten und Patientinnen - vermieden werden können.

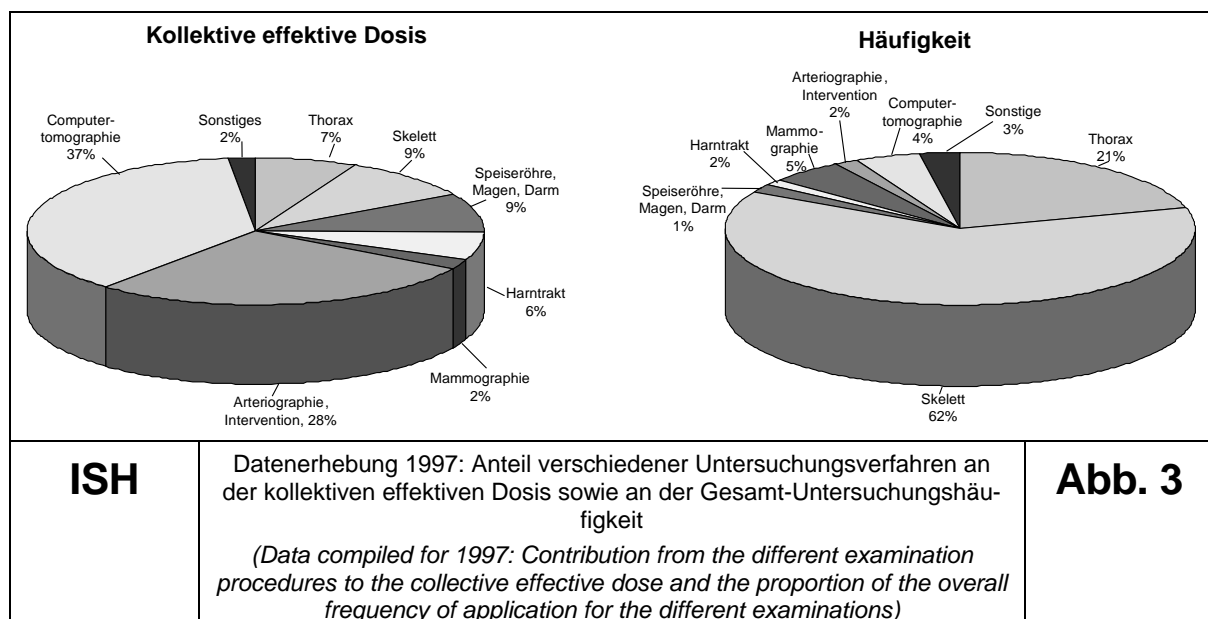
Die CT, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten und der Patientin fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sog. Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für den Patienten und der Patientin weniger belastend und erlaubt es zusätzlich, nicht nur morphologische sondern auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die außer mit der Magnetresonanztomographie mit keinem anderen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen einer gezielt durchgeführten Untersuchung für den Patienten und die Patientin in den Hintergrund tritt.

Kollektive effektive Dosis

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungs-dosis für jede Untersuchungsart berechnet und in das oben beschriebene Schema eingetragen. Dadurch ist es möglich, sowohl die kollektive effektive Dosis insgesamt als auch den auf eine bestimmte Untersuchungsart bzw. -region entfallenden Anteil daran abzuschätzen.

Die rein rechnerisch ermittelte effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland im Jahr 1997 lag bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Unsicherheit von ca. $\pm 25\%$. Eine wichtige Fehlerquelle liegt in der Schwankungsbreite der Dosen für die einzelnen Untersuchungen. Hier sind die individuellen Verhältnisse bei den Patienten und den Patientinnen - insbesondere die Körpermaße der 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 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 Dosisersparung je CT-Untersuchung auf Grund neuer Gerätetechniken ausgeglichen worden ist. Der prozentuale Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Häufigkeit ist ebenfalls in Abbildung 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 Patienten.



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

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten und Patientinnen offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z. B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von 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, sonstigen bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Insbesondere mit Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z. B. der Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen /1, 2, 3/. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland 1997 ca. 4 Millionen Radionuklidapplikationen bei ambulanten und stationären Patienten und Patientinnen durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 49 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden bei den ambulanten Patienten Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung 3). Insgesamt wurde für die im Jahr 1997 durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,1 mSv ermittelt. Die Skelettszintigraphie liefert mit 47% den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis, gefolgt von der Myokard- und Schilddrüsenszintigraphie mit je 24% (Abbildung 3).

Die mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei der (PET) mit FDG mit 8,6 mSv am Höchsten, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 7,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 4,8 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,8 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,8 mSv).

Im Vergleich zum Jahr 1994 ist ein Anstieg der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen zu verzeichnen, wobei insbesondere die Häufigkeit von PET-Untersuchungen stark zugenommen hat. Andererseits wurden neue Radiopharmaka eingesetzt, die zu einer Verringerung der Strahlenexposition bei einzelnen Untersuchungsarten führten. So konnte z. B. durch den Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI der Beitrag der Myokardszintigraphie zur Strahlenexposition deutlich reduziert werden.

Basierend auf Vorgaben internationaler Gremien für Referenzwerte strahlendiagnostischer Verfahren sind von Experten des Ausschusses „Strahlenschutz in der Medizin“ der Strahlenschutzkommission Vorschläge für Referenzaktivitätswerte in der nuklearmedizinischen Diagnostik zusammengestellt worden /1, 2, 3, 4, 5, 6/.

- /1/ S.N. Reske et al.: Klinische Wertigkeit der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) bei onkologischen Fragestellungen: Ergebnisse einer interdisziplinären Konsensuskonferenz, Nucl. Med. 1996; 35: 42-52.
- /2/ PET-Arbeitsgruppe/Arbeitskreis Nuklearkardiologie (M. Schwaiger et al.: Indikationen für die Klinische Anwendung der Positronen-Emissions-Tomographie in der Kardiologie.
- /3/ T. Kuwert et al.: Klinische Wertigkeit der Positronen-Emissions-Tomographie in der Neuromedizin, Nervenarzt 1998; 69: 1045-1060.

- /4/ Rat der Europäischen Union: Richtlinie 97/43/EURATOM des Rates vom 30. Juni 1999 über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition und zur Aufhebung der Richtlinie 84/466/EURATOM. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 180 vom 09.07.1997.
- /5/ Internationale Strahlenschutzkommission: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission 1990, ICRP-Veröffentlichung 60. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1993.
- /6/ Diagnostische Referenzwerte in der Nuklearmedizin – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission – verabschiedet in der 167. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 06./07. Juli 2000.

1.3. Strahlenhygienische Bewertung *(Evaluation in terms of radiation hygiene)*

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik beträgt etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr, wobei die Untersuchungshäufigkeit eine Zunahme von ca. 1% pro Jahr erkennen lässt. Der Beitrag der Nuklearmedizin ist mit 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr sehr gering.

Eine strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenanwendungen muss vor allem berücksichtigen, dass diese Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Sie ist vielmehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ältere Personen wesentlich häufiger betroffen sind, aber auch eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere. Im Vergleich zur Röntgendiagnostik seltene, aber hohe Strahlenbelastungen finden sich bei Patienten der Strahlentherapie. Diese Daten werden daher zur Bewertung der Exposition der Normalbevölkerung nicht herangezogen.

Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Röntgenleistungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Erste Erkenntnisse brachte eine durch das BfS erhobene repräsentative Stichprobe aus Akutkrankenhäusern über die Altersverteilung stationärer 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 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 ersten Ergebnissen ist allerdings nicht vor dem Jahr 2004 zu rechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf Röntgenuntersuchungen nicht verzichtet werden kann, und bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen für seine Gesundheit in den Hintergrund tritt.

1.4. Alternative Untersuchungsverfahren (Alternative examination procedures)

Bei den alternativen Untersuchungen steht neben der Endoskopie die Sonographie im Vordergrund - eine Untersuchungsmethode, die auf der Anwendung von Ultraschall beruht (s. Tabelle 3). Demgegenüber spielt die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) – zumindest in der letzten vorliegenden Erhebung aus dem Jahr 1994 - zahlenmäßig noch eine untergeordnete Rolle, wobei die jährliche Steigerungsrate mit + 180% zwischen 1990 und 1994 jedoch erheblich ist. In der nächsten Erhebung, die für das kommende Jahr vorgesehen ist, ist deswegen mit einem deutlich veränderten Bild zu rechnen.

Tabelle 3 Häufigkeit von alternativen Untersuchungsverfahren im Jahr 1994
(Frequency of application of alternative examination procedures in the year 1994)

Untersuchungsart	in Tausend			je 1000 Einwohner
	Ambulant	Stationär	Gesamt	
Sonographie	64700	13730	78430	963
Oberbauch	20230	7060	27290	335
Unterbauch	25620	940	26560	326
Mamma	2570	70	2640	32
Herz/Echokardiographie	2490	3030	5520	68
Gefäße/Dopplersonogr.	5390	1420	6810	84
Sonstige	8400	1210	9610	118
Endoskopie	13670	3500	17170	212
Bronchoskopie	60	180	240	3
Ösophago-/Gastroskopie	1960	1390	3350	41
Koloskopie	2650	660	3310	41
Zystoskopie	1080	280	1360	17
Arthroskopie	200	420	620	8
Sonstige	7720	570	8290	102
MR-Tomographie	1020	190	1210	15
ZNS	630	70	700	9
Sonstige	390	120	510	6

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder bis zu einigen Tesla. Durch die Einstrahlung von Radio-Pulsen in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Ein weiterer Vorteil gegenüber der CT ist, dass die Krankheitsherde in freiwählbaren Projektionsebenen dargestellt werden können. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahre weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, über die Morphologie hinaus auch funktionelle Informationen über das Gewebe zu erhalten wie z. B. über Angiogenese, Mikrozirkulation und Stoffwechsel. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit Mehrschicht-CT.

1.5. Qualitätssicherung (Quality assurance)

Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV), die am 1. Januar 1988 in Kraft getreten ist, bewirkte eine Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik. Die jetzt festgeschriebene Pflicht zur Befragung der 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 dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, der Belichtungsautomatik und die gepulste Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. Die dosisintensiveren radiologischen Verfahren CT und interventionelle Radiologie erhöhen über den Weg einer wesentlich genaueren und umfangreicheren Diagnosestellung bzw. den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen zwar die Strahlenexposition des einzelnen Patienten, führen aber zu einer wesentlichen Verbesserung des Verhältnisses von Nutzen und Risiko. Die "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie" beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die Leitlinien für die Röntgendiagnostik wurden 1995 aktualisiert, die für die CT sind in Überarbeitung. Die Ärztlichen Stellen nach § 16 Abs. 3 RöV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer Ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass leichte und vor allem schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die Ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Eine weitere Maßnahme der Qualitätskontrolle ist die Einführung von diagnostischen Referenzwerten auf Grund der Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom. Es handelt sich hierbei nicht um Grenzwerte, sondern um Werte, die dazu dienen sollen, systematische Fehler bei denjenigen Ärzten herauszufinden, deren Patientendosiswerte beständig über dem Referenzwert liegen. Die Einführung wird mit Inkrafttreten der novellierten RöV erfolgen. Einzelheiten sollen in der Richtlinie zur Qualitätssicherung nach § 16 RöV geregelt werden. Das BfS, das nach dem Entwurf zur Novellierung der RöV diagnostische Referenzwerte erstellen und veröffentlichen soll, hat bereits mehrere Expertengespräche durchgeführt, um die Einführung der diagnostischen Referenzwerte vorzubereiten.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch Vermeidung von Fehlbelichtungen bei Aufnahmetechniken als auch der strahlungsfreien Situationskontrolle bei Durchleuchtungen durch „Last Image Hold (LIH)". Eine Einsparung ist aber auch möglich, wenn bei geringerer Anforderung an die Bildqualität mit gezielt niedriger Dosis gearbeitet werden kann. Auch bei der CT zeichnet sich ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Mehrere Forschungsvorhaben wurden oder werden durchgeführt oder sind geplant, um festzustellen, wie weit bei CT-Untersuchungen die Exposition vermindert werden kann, um eine an die diagnostische Fragestellung angepasste Bildqualität zu erhalten. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken neue Anwendungsarten mit z. T. höheren Dosen, jedoch mit diagnostischen Aussagen, die bisher nicht zu erhalten waren.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder durch eine Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Dies darf aber keineswegs dazu führen, dass nicht fachkundige Ärzte oder medizinisch-technisches Personal Röntgenuntersuchungen ohne fachkundigen Arzt durchführen und dieser ausschließlich auf dem Weg der Datenleitung zur Befundung weit weg vom Patienten tätig wird. Auch sind die Probleme der Qualität und Sicherheit der Datenübertragung noch nicht vollständig gelöst. Auch in der Teleradiologie muss weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl die Indikationsstellung als auch die Durchführung bzw.

Überwachung von Röntgenuntersuchungen Ärzten vorbehalten sind, die die erforderliche Fachkunde besitzen. Auch bei Ausschöpfung aller Maßnahmen der technischen Qualitätssicherung ist die streng an der notwendigen diagnostischen Fragestellung orientierte Indikationsstellung mit der möglichen Herabsetzung der Untersuchungshäufigkeit die wirksamste Methode, die Strahlenexposition der Patienten herabzusetzen.

Weiterhin sind zwei neuere Röntgenverfahren von strahlenhygienischem Interesse, die digitale Volumentomographie zur Darstellung der Ober- und/oder Unterkieferregion in der Zahnmedizin sowie die 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Ähnlich der Computertomographie besitzen beide Techniken die Möglichkeit, Schichtaufnahmen zu erstellen und durch entsprechende Rekonstruktionsverfahren weiterzuverarbeiten. Die digitale Volumentomographie liegt mit einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv zwischen der konventionellen Panoramaschichtaufnahme und der Dental-CT. Die applizierte Dosis bei dem ISO-C-3D-Verfahren ist sehr stark abhängig von der OP-Situation, aber auch von der radiologischen Erfahrung des Chirurgen. Aus strahlenhygienischer Sicht ist dieser Punkt sicherlich problematisch, da dem Chirurgen hier ein Gerät an die Hand gegeben wird, für das er einerseits ein radiologisches Wissen wie bei der CT besitzen sollte, um die benötigte Bildqualität mit einer möglichst geringen Dosis zu erzielen, für das aber andererseits die Zuordnung zur CT nicht eindeutig gegeben ist. Ähnlich ist die strahlenhygienische Bewertung bei der digitalen Volumentomographie im Bereich der Zahnmedizin zu sehen. Um bezüglich dieser beiden Verfahren die rechtliche Grundlagen für eine Qualitätssicherung zu schaffen, ist es notwendig, sie in die bestehenden Richt- und Leitlinien für die Röntgendiagnostik einzubeziehen sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.

2 THERAPEUTISCHE STRAHLENANWENDUNGEN (THERAPEUTIC APPLICATIONS OF RADIATION)

2.1. Strahlentherapie (Radiotherapy)

Im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik findet die Strahlentherapie nur bei einem relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung Anwendung. Sie ist durch eine sehr hohe Strahlenexposition in einem kleinen Zielvolumen des Körpers charakterisiert. Zielsetzung ist es, die zur Vernichtung der krankhaft veränderten Zellen erforderliche Strahlendosis im Tumor zu applizieren, gleichzeitig aber das gesunde, benachbarte Gewebe weitgehend zu schonen.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen der klinischen Strahlentherapie im Verbund mit der Diagnostik, Medizinischen Strahlenphysik, Strahlenbiologie und Informatik. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z. B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, stellt neue Herausforderungen an eine interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene. Wichtige Entwicklungen in den letzten Jahren beinhalten insbesondere die weitere Verbesserung der Bestrahlungsplanung. Durch 3-dimensionale, tumorkonforme Bestrahlung unter Einsatz von dynamischen Multileaf-Kollimatoren und Kompensatoren wird eine optimierte und individuelle Bestrahlung auch irregulär geformter Tumoren in anatomisch schwieriger Umgebung möglich.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen, sog. ultraharte Röntgenstrahlung, oder schnelle Elektronen im Megavoltbereich erzeugt werden. Derzeit werden in Deutschland jährlich etwa 220.000 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 beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass eine therapeutisch ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht würde.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordination der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Exposition zu charakterisieren. In der „interdisziplinären Leitlinie der Deutschen Krebsgesellschaft“ unter Federführung der Arbeitsgemeinschaft Radiologische Onkologie (ARO) der Deutschen Krebsgesellschaft wird auf die Prinzipien der modernen Strahlenschutztherapie (Radioonkologie) im Einzelnen sowie zu den Indikationen für eine Strahlentherapie eingegangen /1/.

/1/ Kurzgefasste Interdisziplinäre Leitlinien 2000, A3, S. 22 ff. (www.awmf@uni-duesseldorf.de)

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 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung besonders schmerzhafter Gelenke, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zuneh-

mend an Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie, bei der spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert werden, um Krebszellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören /1/.

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

Im Jahr 2000 wurden - wie bereits seit 1977 - keine Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien mehr implantiert. Auf derartige Batterien kann verzichtet werden, nachdem nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Funktionsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden.

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

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

Tabelle 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 1 Gemeldete Implantationen und Explantationen von Herzschrittmachern mit Radionuklidquellen Stand: 31.12.2000
(Registered implantations and explantations of pacemakers with radionuclide sources at 31 Dec. 2000)

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4
1989	0	9
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
Gesamt	284	258

a) 1 HSM ist in Kambodscha verschollen

4. MEDIZINISCHE FORSCHUNG (MEDICAL RESEARCH)

Die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in § 41 StrlSchV und die Durchführung von Röntgenuntersuchungen am Menschen in der medizinischen Forschung in § 24 Abs. 2 RöV geregelt. Im Gegensatz zu deren Anwendung in Ausübung der Heilkunde oder der Zahnheilkunde besteht bei der Anwendung in der medizinischen Forschung eine Genehmigungspflicht im Einzelfall. Die Antragstellung erfolgt bei der zuständigen Landesbehörde; dabei ist nachzuweisen, dass die Forderungen des § 41 StrlSchV bei der geplanten Versuchsdurchführung erfüllt sind. Bei der Genehmigung zur Anwendung von Röntgenstrahlen sind die Vorschriften des § 41 StrlSchV sinngemäß anzuwenden. Rechtsgrundlage ist die Möglichkeit, nach § 17 Abs. 1 Satz 2 AtG Genehmigungen mit Auflagen zu verbinden.

Voraussetzung für die Genehmigung nach § 41 StrlSchV ist u. a. ein Gutachten einer vom Bundesamt für Strahlenschutz im Benehmen mit dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) eingesetzten Gutachtergruppe. Für die besondere Genehmigung nach § 24 Abs. 2 RöV ist nur ein Gutachten des BfS vorgesehen. Darin ist auf den Forschungsbedarf bei der betreffenden Fragestellung und das zwingende Bedürfnis für die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen bzw. Röntgenstrahlen einzugehen. Im Gutachten ist zu prüfen, ob die strahlenbedingten Risiken für die Probanden, gemessen an der voraussichtlichen Bedeutung der Ergebnisse für die Heilkunde und die medizinische Forschung ärztlich vertretbar sind. Zu prüfen ist ferner, ob die Anwendung von radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung bzw. Röntgenstrahlung nicht durch andere, weniger strahlenintensive oder alternative - also ohne ionisierende Strahlen durchzuführende - Untersuchungsarten ersetzt werden kann, und ob die damit verbundene Strahlenexposition der Probanden ärztlich vertretbar ist. Die Genehmigungsbehörde kann auch bei positivem Gutachten die Genehmigung versagen bzw. mit bestimmten Auflagen verbinden.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender bzw. Röntgenstrahlen an gesunden Probanden, die aus der Anwendung keinen diagnostischen Nutzen ziehen, und der Anwendung an kranken Probanden, also Patienten, bei denen die Anwendung gleichzeitig deren Untersuchung oder Behandlung dienen kann, da entsprechend unterschiedliche Grenzwerte für deren Strahlenexposition gelten.

Eine Erläuterung für Forscher und Behörden zur Durchführung des § 41 StrlSchV ist als „Grundsätze nach § 41 StrlSchV“ von der Strahlenschutzkommission veröffentlicht worden.

- /1/ Grundsätze für die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung, Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK), Heft 15 (1998).
- /2/ V. Minkov et al.: Anwendung radioaktiver Stoffe in der nuklearmedizinischen Forschung: aktuelle Trends und Strahlenexposition der Probanden. Nuklearmedizin 2001 (im Druck).

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

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

Wichtig ist u. a. die Biokinetik bzw. der Metabolismus des Arzneimittels im menschlichen Organismus, d. h. es müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- In welche Körperregionen oder Organe gelangt das Arzneimittel?
- Wo und wie wird es im Organismus abgebaut?
- Welche Umwandlungsprodukte (Metabolite) entstehen?
- Wo und wie wird das Arzneimittel ausgeschieden?
- Wie vollständig und in welcher Zeit geschieht dies?

In vielen Fällen erlaubt die Messung radioaktiver Substanzen die Erfassung viel kleinerer 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 Fragestellungen ergeben, die nur unter Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zu beantworten sind, wobei das zu prüfende Arzneimittel selbst nicht radioaktiv bzw. nicht radioaktiv markiert ist. Daneben unterliegen auch **radioaktive Arzneimittel** einer klinischen Prüfung.

Um Normalwerte bzw. Normalbefunde zu erhalten, kann es notwendig sein, die beiden zuletzt genannten Arten der Untersuchung ebenfalls an gesunden Probanden vorzunehmen.

In § 41 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 StrlSchV sind die Dosisgrenzwerte festgelegt, die grundsätzlich nicht überschritten werden dürfen. Diese betragen pro Jahr ein Zehntel der für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A geltenden Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr, welche in der Anlage X Tabelle X1 Spalte 4 StrlSchV aufgeführt sind.

Die zuständige Behörde kann - mit Ausnahme der klinischen Prüfung von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln - im Einzelfall eine Überschreitung der Grenzwerte nach § 41 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 StrlSchV zulassen, sofern hierfür ein besonderes Bedürfnis besteht. Die zugelassene Körperdosis darf dabei die Grenzwerte der Anlage X Tabelle X 1 Spalte 2 StrlSchV nur überschreiten, wenn eine klinische Prüfung von radioaktiven Arzneimitteln am Probanden gleichzeitig seiner Untersuchung oder Behandlung dient (§ 41 Abs. 11 StrlSchV). Dem Bundesamt für Strahlenschutz sind bisher keine Überschreitungen der Dosisgrenzwerte bekannt geworden.

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

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

Grundsätzlich sind auch beim Patienten die Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr (ein Zehntel der Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A) einzuhalten. Die Genehmigungsbehörde kann jedoch im Einzelfall Ausnahmen zulassen, sofern hierfür ein besonderes Bedürfnis besteht (s. § 41 Abs. 11 StrlSchV).

Bei den Gutachten zur Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. ionisierender Strahlen an Patienten ist im Einzelnen auf das Studienziel bzw. auf die in der klinischen Prüfung interessierende Erkrankung, auf die Untersuchungsmethode sowie auf den aus der Anwendung für den Patienten möglicherweise resultierenden diagnostischen bzw. therapeutischen Nutzen einzugehen.

Im Jahr 2000 wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt 89 Anträge auf Anwendung radioaktiver Stoffe (radioaktive Arzneimittel) bzw. ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 41 StrlSchV begutachtet.

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

Seit Inkrafttreten der Röntgenverordnung im Jahr 1988 ist die Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen nur in Ausübung der Heilkunde erlaubt, oder wenn ein Gesetz die Anwendung vorsieht oder zulässt. Andere Anwendungen bedürfen der besonderen Genehmigung nach § 24 Abs. 2 RöV. Die Anwendung von Röntgenstrahlen in der medizinischen Forschung fällt unter diese Genehmigungspflicht, soweit das Ziel der Röntgenstrahlenanwendung wissenschaftliche Erkenntnisse sind. Eine Anwendung in der Forschung ist dann gegeben, wenn ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der üblichen medizinischen Versorgung durchgeführt werden und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungspflichtig.

Im Jahr 2000 wurden wiederum hauptsächlich Anträge zur Knochendichtemessung, z. T. mit gleichzeitiger Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule gestellt (s. Tabelle 1). Weitere Forschungsschwerpunkte sind Bein-Becken-Phlebogramme zur Prüfung von Arzneimitteln zur Verhinderung der postoperativen Beinvenenthrombose und Lungenembolie, digitale Techniken, Mammographien zur Minimierung von Risiken durch unbekannte Arzneimittelnebenwirkungen sowie Forschungen mit dem Elektronenstrahl-Computertomographen (EBCT). Für die Jahre 1991 bis 2000 sind in Tabelle 1 jeweils die Anzahl der Gutachten mit Untersuchungsart, mittlerer effektiver Dosis je Proband und die Anzahl der Probanden sowie der Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis aufgeführt. Studienanträge, die negativ begutachtet, nicht genehmigt oder nicht durchgeführt wurden, sind nicht aufgelistet.

Tabelle 1 Gutachten des BfS über Anträge auf Genehmigung der Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung
(BfS expert reports on licensing applications for the application of x rays on humans in medical research)

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv)
1991	4	Knochendichtemessung	0,02	1180	0,024
	2	Knochendichtemessung	1,1	6500	7,15
	1	Rö. Brust- und Lendenwirbelsäule seitl. Bein-Phlebogramm	1	40	0,04
Summe	7			7720	7,214
1992	4	Knochendichtemessung	0,002	5200	0,01
	2	Thorax	0,06	320	0,019
	1	DL Duodenalsonde	0,25	20	0,005
	1	Lendenwirbelsäule	1	200	0,2
	2	Bein-Phlebogramm	2	850	1,7
Summe	10			6590	1,934
1993	2	Knochendichtemessung	0,002	360	0,001
	1	Schädel-CT	2,5	100	0,25
	1	Rö.-Aufn. Brust- und Lendenwirbelsäule und Knochendichtemessung	1	4500	4,5
Summe	4			4960	4,751
1994	2	Rö.-Aufn. Brust- und Lendenwirbelsäule und Knochendichtemessung	6,3	330	2,1
	1	Oberschenkel - CT	0,001	110	< 0,001
	1	Bein-Arteriographie ^{c)}	10	50	0,5
	3	Becken-Bein-Phlebographie	2	1270	2,54
Summe	7			1760	5,14
1995	2	Knochendichtemessung	0,016	380	0,0061
	1	Knochendichtemessung und Rö. -Aufn. der Wirbelsäule	6	500	3
	2	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	1,34	7	0,0094
	1	Kieferpanorama	0,01	300	0,003
	1	CT-Thorax	3	100	0,3
Summe	7			1287	3,319

Fortsetzung Tabelle 1

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv)
1996	1	Knochendichtemessung	0,005	180	0,0009
	3	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	3	1680	5,04
	1	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	0,5	6	0,003
	1	Digitale Mammographie	1	400	0,4
	1	Bein-Becken-Phlebographie	1	250	0,25
	1	Koronarangiographie ^{c)}	15	550	8,25
	1	CT-Schädel (2 Schichten)	0,2	400	0,08
Summe	9			3466	14,024
1997	6	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	1,16	280	0,326
	3	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	4,23	292	1,234
	4	Schädel, Kieferpanorama	0,015	1790	0,027
	1	Rö. bd. Hände	4,1	200	0,82
	2	Skelettszintigramm (§ 41 StrlSchV)			
	2	Bein-Becken-Phlebographie	0,5	1500	0,75
	1	Koronarangiographie ^{c)}	5	24	0,12
Summe	17			4086	3,277
1998	8	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,026	1215	0,031
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	0,7	120	0,084
	4	Mammographie	1	1340	1,34
	2	Digitale Radiographie (Thorax, Skelett)	1,61	250	0,403
	2	Bein-Becken-Phlebographie	0,5	800	0,4
	1	Computertomographie / EBCT	0,86	150	0,129
Summe	18		0,62^{d)}	3875	2,387
1999	2	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,94	300	0,281
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	1,2	1200	1,440
	1	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	4	60	0,240
	2	Knochendichtemessung und Mammographie	0,5	178	0,089
	1	Rö.-Aufn. Hand	0,2	100	0,02
	1	Rö.-Aufn. Stereometrie d. Hüfte	0,45	60	0,027
	1	Rö.-Aufn. Thorax pa und Skelettstatus ^{c)}	22	100	2,2
	4	Koronarangiographie ^{c)}	3,11	780	2,426
	3	Bein-Becken-Phlebographie	0,45	940	0,423
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,28	400	0,112
	1	EBCT Herz	1,0	80	0,08
	1	Rö.-Aufn. Zahn	0,05	100	0,005
Summe	19		1,71^{d)}	4298	7,343
2000	14	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,0127	1880	0,0238
	2	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	3,5	285	0,998
	1	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	2,5	120	0,30
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufnahmen Hand	0,1	60	0,006
	2	Knochendichtemessung und CT Wirbelsäule	8,925	159	1,419
	1	Rö.-Aufn. NNH	0,1	250	0,025

Fortsetzung Tabelle 1

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv)
2000	2	Rö.-Aufn. Hand, Unterarm, Unterschenkel	0,06	120	0,0072
	2	Rö.-Aufn. Hüfte und Knie	0,2	360	0,0652
	1	Arm-Schulter-Phlebographie	0,65	140	0,091
	1	MS-CT Herz	1,8	100	0,18
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,2	30	0,006
	2	EBCT Herz	0,84	4300	3,612
Summe	30		0,95^{d)}	7084	6,7332

- a) Die unterschiedlichen mittleren Dosiswerte je Proband bei gleichen Untersuchungsarten ergeben sich aus unterschiedlichen Durchführungsarten der Untersuchungen und der Anzahl der Messungen bzw. Aufnahmen je Studie
- b) Die kollektive effektive Dosis in Personen-Sievert entspricht nicht der tatsächlichen Jahresdosis in dem Berichtsjahr, da sich die Studien oft über mehrere Jahre erstrecken. Diese Ungenauigkeit gleicht sich jedoch bei mehrjähriger Betrachtung aus
- c) Die Untersuchungen waren größtenteils klinisch indiziert und mit diagnostischem Nutzen für die Patienten verbunden
- d) gewichteter Mittelwert

Teil V

UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDEN STRAHLEN

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg, Fachbereich Angewandter Strahlenschutz, Berlin und dem Fachbereich Nukleare Entsorgung und Transport, Salzgitter

1. EIN- UND AUSFUHR VON RADIOAKTIVEN STOFFEN (IMPORT AND EXPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS)

Daten des Bundesausfuhramtes (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 §§ 11 - 14 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegt. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhr genehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesausfuhramt (BAFA).

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

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren (Legal basis and procedures)

Kernbrennstoffe

In der Bundesrepublik Deutschland ist die **Ausfuhr** von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die **Einfuhr** ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist; Einzelheiten hierzu regelt § 12 StrlSchV.

Sonstige radioaktive Stoffe, radioaktive Abfälle

Die **Einfuhr** ist nur anzeigepflichtig - nicht genehmigungspflichtig -, sofern der Empfänger in der Bundesrepublik Deutschland eine Umgangsgenehmigung für sonstige radioaktive Stoffe (§ 3 StrlSchV) besitzt (§ 12 Abs. 2 StrlSchV). Die **Ausfuhr** ist bis zum 10^8 -fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 11 Abs. 1 StrlSchV), oberhalb dieser Freigrenze genehmigungspflichtig (§ 12 Abs. 4 StrlSchV).

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 Technologie (BMWi); betroffen sind Waren der Kategorien 0 und 1 des Abschnittes C der Ausfuhrliste. Die Anträge werden an das BAFA gerichtet und dort unter Beachtung aller relevanten Vorschriften und der internationalen Verträge bzw. Abkommen in einem abgestuften Verfahren unmittelbar oder nach Abstimmung mit den Ressorts entschieden.

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

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

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

Die Regelungen der Verordnung sind nicht so strikt wie die der Richtlinie 92/3/EURATOM mit ihrem lückenlosen Konsultationsverfahren. Der Besitzer von umschlossenen und anderen Strahlenquellen, der diese in einen anderen Mitgliedstaat verbracht hat, macht den zuständigen Behörden des Bestimmungsmitgliedstaates binnen 21 Tagen nach jedem Quartalsende eine Anzeige. 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 (ABI. L 35 vom 12. Februar 1992)

Das Europäische Parlament hat 1988 aus konkretem Anlass eine umfassende Gemeinschaftsregelung gefordert, um grenzüberschreitende Transporte nuklearer Abfälle von ihrer Entstehung bis zur Lagerung einem System strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen.

Die Richtlinie des Rates über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle **gefährlicher Abfälle** gilt nicht für radioaktive Abfälle. Die Grundnormen für den **Gesundheitsschutz** enthalten ebenfalls keine Regelungen, die die Verbringung radioaktiver Abfälle betreffen. Zur Behebung dieses Defizits hat der Rat die Richtlinie 92/3/EURATOM erlassen.

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 Ermächtigungsbasis 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 (§ 11 Abs. 1) für radioaktive Abfälle.

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

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1983 - 2000 geben die Tabellen 1 und 2.

Die **Gesamteinfuhr** an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) stieg im Jahr 2000 wieder an. Dieser Anstieg ergibt sich u. a. durch die erhöhte Einfuhr umschlossener Quellen ab 1850 GBq und durch den Anteil eingeführter Bestrahlungsproben. Die Einfuhr von Radionukliden ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq, Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe sank weiter ab.

Die **Gesamtausfuhr** von Radionukliden in GBq stieg im Jahr 2000 an, im Wesentlichen verursacht durch die zunehmende Ausfuhr bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq. Auch bei den offenen Radionukliden ohne Quellen ab 1850 GBq war ein deutlicher Anstieg zu beobachten. Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden nicht in signifikanten Mengen ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt und bestrahlt) und Ausgangsstoffen ist gegenüber dem Vorjahr wieder eine leichte Zunahme festzustellen.

Tabelle 1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland
(Import of radioactive materials into the Federal Republic of Germany)

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungs- proben (z. B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1985	4 740 823	25 700	28 103 121	32 869 644	2 650 716
1986	6 898 702	482 006	75 665 995	83 046 703	2 550 506
1987	2 819 826	9 415	22 601 222	25 430 463	3 164 497
1988	3 847 911	65 858	60 575 600	64 489 369	2 139 796
1989	2 399 272	103 372	90 816 100	93 318 744	1 508 501
1990	2 682 529	319 142	61 850 900	64 852 571	2 206 300
1991	3 040 547	72 469	102 929 300	106 042 316	1 461 661
1992	4 470 768	1 470 922	31 326 500	37 268 190	1 742 521
1993	3 227 143	2 546 470	23 330 800	29 104 413	2 306 737
1994	1 911 797	1 072 513	71 315 900	74 300 210	1 999 972
1995	4 686 926	72 629	38 600 400	43 360 955	2 049 273
1996	10 447 635	511 014	59 959 336	70 917 985	2 226 240
1997	1 541 873	51 948	79 215 145	80 808 066	2 490 191
1998	3 254 186	26 300	63 455 965	66 736 451	2 685 212
1999	2 149 973	237	49 894 030	52 044 519*	2 540 221
2000	2 070 200	299 203	59 094 344	61 465 318*	2 446 259

Tabelle 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

* inkl. sonstige radioaktive Gemische

1.4 Einfuhrstatistik (Import statistics)

1.4.1 Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 Giga-bequerel) (Import of sealed and unsealed radionuclides - without sources with levels of above 1850 giga-bequerel)

Tabelle 3 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq und Bestrahlungsproben. Die Gesamteinfuhr hat gegenüber dem Vorjahr leicht abgenommen (ca. 4%).

Eine Erhöhung der Einfuhr ist vor allem bei **Jod-125** zu verzeichnen.

Die Radionuklide **Kobalt-60**, **Molybdän-99**, **Jod-131** und **Iridium-192** machen an der Gesamteinfuhr bereits einen Anteil von 90,5% aus, wobei Ir-192 den größten Einzelposten darstellt.

Tabelle 3 Aktivität der 2000 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)
(Total activity values for sealed and unsealed radionuclides imported in the year - 2000 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	I-123
Frankreich	585	0	0	15	8	0	58	279	2.195	139.349	0
Belgien	94	66	420	3.312	6	1.863	14	0	0	122.648	1.502
Niederlande	0	0	91	0	12	0	24	0	134	184.786	940
Dänemark	1.734	0	0	0	4	5.870	3	0	0	0	0
Italien	0	0	0	1.200	17	518	187	1	0	30.873	0
Spanien	0	0	0	0	14	74	50	3	0	0	0
Griechenland	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Österreich	0	1	0	2	0	266	11	0	0	0	0
Schweden	98	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0
Großbrit.	323	6.545	436	1.236	4.258	1.495	2.957	2.519	1.578	81.482	0
Norwegen	10	0	0	0	1	4.166	0	2	0	0	0
Schweiz	58.110	1	0	65	10	6.795	39	113	2.010	0	0
USA	738	119	2	196	644	7	222	486	0	0	0
Kanada	0	0	0	221.000	0	0	7	0	0	145	0
Japan	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Ungarn	0	4	202	0	0	0	0	0	0	0	0
Russland	4	912	0	0	22	4.821	0	1.110	0	0	0
Tschechien	0	0	0	4	1	2.257	1.475	0	0	595	0
Polen	10	0	0	11	0	975	0	1	0	0	0
Südkorea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Singapur	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
Taiwan	0	0	0	0	0	88	0	0	0	0	0
Brasilien	0	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0
Argentinien	0	0	0	0	0	1.299	0	0	0	0	0
Indien	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0	0
Israel	11.294	0	0	0	0	180	0	0	0	0	0
Syrien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indonesien	0	0	0	0	0	1.309	0	0	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	0	259	37	0	0	0	0
Sonstige	18	0	160	26	3	69	308	6	0	0	0
Summe 2000	73.028	7.649	1.311	227.867	5.010	32.311	5.402	4.525	5.917	559.878	2.442
Summe 1999	90.411	4.888	1.584	240.518		27.259	5.516	3.161	3.726	569.941	1.245

Fortsetzung Tabelle 3

Versenderland	Aktivitäten in GBq										
	I-125	I-131	Xe-133	Cs-137	Pm-147	Re-186	Ir-192	Tl-201	Am-241	Sonst.	Summe
Frankreich	65	1.450	0	103	15	922	2.781	1.545	1.471	1.541	152.382
Belgien	151	232.385	382	0	7	0	260.728	3.423	4	335	627.340
Niederlande	0	15.801	93	0	0	494	452.293	3.133	0	640	658.441
Dänemark	0	0	0	0	0	0	541	0	0	1	8.153
Italien	8	0	0	0	7	0	993	0	2	9	33.815
Spanien	0	0	0	0	0	0	1.135	0	2	0	1.278
Griechenland	0	0	0	0	0	0	1.941	0	0	0	1.951
Österreich	0	0	0	0	0	0	1.263	0	0	19	1.562
Schweden	6.180	0	0	0	11	0	751	0	0	21	7.067
Großbrit.	600	11	1.143	11.711	20	0	1.069	546	2.385	1.593	121.907
Norwegen	0	0	0	0	0	0	447	0	0	0	4.626
Schweiz	6	0	0	55	16.354	0	11.328	0	7	0	94.893
USA	1.399	0	0	1.488	52	94	25.480	0	177	1.119	32.223
Kanada	10.027	0	0	0	0	0	0	0	0	9	231.188
Japan	3	0	0	0	65	0	7.065	0	0	0	7.136
Ungarn	10	0	0	0	0	0	3.723	0	2	83	4.024
Russland	578	6	0	3.300	0	0	22.342	0	0	1.771	34.866
Tschechien	0	0	0	618	0	0	1.373	0	1.820	0	8.143
Polen	0	0	0	126	0	0	3.947	0	592	2	5.664
Südkorea	0	0	0	0	0	0	2.607	0	0	0	2.607
Singapur	0	0	0	76	907	0	888	0	0	0	1.879
Taiwan	0	0	0	0	19	0	1.691	0	0	0	1.798
Brasilien	0	0	0	0	0	0	2.002	0	0	0	2.011
Argentinien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.299
Indien	0	0	0	0	0	0	0	0	222	111	1.133
Israel	0	0	0	0	0	0	223	0	0	0	11.697
Syrien	0	0	0	0	0	0	1.080	0	0	0	1.080
Indonesien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.309
Malaysia	0	0	0	42	0	0	826	0	0	0	1.164
Sonstige	44	1	0	195	278	0	6.332	0	75	49	7.564
Summe2000	19.071	249.654	1.618	17.714	17.735	1.510	814.849	8.647	6.759	7.303	2.070.200
Summe 1999	5.647	231.032	2.165	11.971	13.502	2.109	902.767	8.983	14.906	8.642	2.149.973
Änderungen %	+ 144	- 3	- 14	+ 8	- 38	+ 58	+ 140	- 27	+ 12	+ 47	- 34

1.4.2 Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq
(*Import of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq*)

Tabelle 4 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide **Kobalt-60, Selen-75, Cäsium-137** und **Iridium-192**. Die Einfuhr hat 2000 im Vergleich zum Vorjahr zugenommen; die Gesamtaktivität betrug im Jahr 1999 49.894.030 GBq und 59.094.344 GBq im Jahr 2000 bei weiter angestiegener Stückzahl (1999: 796; 2000: 898). Der größte Einzelposten liegt wieder bei Co-60 mit 95 % der Gesamtaktivität (1999: 94,3%).

Tabelle 4 Aktivität der 2000 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq
(*Total activity values for sealed radiation sources imported in the year 2000 with levels of above 1850 GBq*)

Versenderland	Aktivität in GBq				Summe
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	
Frankreich	364.100	0	90.100	0	454.200
Belgien	4.025.633	0	47.000	1.064.863	5.137.496
Niederlande	0	0	0	37.000	37.000
Großbritannien	197.898	0	367.000	0	564.898
Italien	163.500	0	125.200	0	288.700
Dänemark	0	2.900	0	0	2.900
Finnland	0	0	5.700	0	5.700
Norwegen	0	0	38.900	0	38.900
Schweiz	5.353.500	4.400	0	0	5.357.900
USA	0	0	0	122.961	122.961
Kanada	14.969.400	0	0	0	14.969.400

Fortsetzung Tabelle 4

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Russland	31.075.100	692.689	203.600	91.800	32.063.189
Tunesien	0	0	0	14.600	14.600
Chile	0	0	0	3.700	3.700
Brasilien	32.800	0	0	0	32.800
Summe 2000	56.181.931	699.989	877.500	1.334.924	59.094.344
Stückzahl	172	210	29	487	898
Summe 1999	47.068.164	908.246	855.000	1.062.620	49.894.030
Änderungen %	+ 19	- 33	+ 3	+ 26	+ 18

1.4.3 Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen (Import of nuclear fuels and raw materials)

Tabelle 5 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 2000 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein leichter Rückgang um 4% festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wieder bei **Natururan** und angereichertem Uran mit 3 - 10% **Uran-235**.

**Tabelle 5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 2000
(Import of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2000)**

Versenderland	abger. Uran (kg)	Natururan (kg)	mit U-235 angereichertes Uran				Plutonium (kg)	Thorium (kg)	Summe (kg)
			bis 3%	>3 - 10%	>10 - <20	20 - 85%			
			(kg)	(kg)	(kg)	(kg)			
Frankreich	32	682.206	0	44.363	104	0	0	1.495	728.200
Belgien	27.475	24.293	0	21.032	0	0	3.023	0	75.823
Niederlande	0	1	3.797	107.967	0	0	0	0	111.765
Großbritannien	0	808.914	2.910	41.235	0	6	0	0	853.065
Schweden	0	0	0	31.389	0	0	0	0	31.389
Spanien	0	922	0	27.453	0	0	0	0	28.375
USA	556	0	9.267	87.428	0	0	0	0	97.251
Kanada	0	251.440	0	0	0	0	0	0	251.440
Russland	0	209.597	0	51.389	0	0	0	0	260.986
Brasilien	1.088	0	0	0	0	0	0	0	1.088
China	0	0	0	6.877	0	0	0	0	6.877
Summe2000	29.151	1.977.373	15.974	419.133	104	6	3.023	1.495	2.446.259
Summe 1999	104.078	1.981.638	3.604	446.461	-	-	2.938	1.490	2.540.210
	- 72	- 0,2	+ 343	- 6	-	-	+ 3	+ 0,3	- 4

1.5 Ausfuhrstatistik (Export statistics)

1.5.1 Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq (Sealed and unsealed radionuclides without sources with levels of above 1850 GBq)

Die Gesamtausfuhr (Tabelle 6) nahm von 711.403 GBq (1999) um 29,2% auf 828.677 GBq (2000) weiter zu.

Mit 89% bilden die Radionuklide **Tritium**, **Selen-75**, **Jod-131** und **Iridium-192** bereits den größten Anteil der insgesamt ausgeführten Aktivität, wobei der mächtigste Einzelposten wieder Ir-192 ist. **Fluor-18** kam im Berichtszeitraum hinzu.

Tabelle 6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2000
(Export of sealed and unsealed radionuclides without radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2000)

Verbraucher- land	Aktivität in GBq									
	H-3	C-14	F-18	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Mo-99	I-123
Frankreich	1.732	75	0	253	19	0	136	339	1.656	70
Belgien	6	0	0	41	6	6.734	79	0	1.536	0
Luxemburg	99	0	0	0	1	0	19	0	0	0
Niederlande	0	1	0	8	16	0	103	2	0	0
Italien	0	0	0	33	66	1.366	143	0	167	198
Großbritannien	1.091	17	0	49	423	16.118	52	10	8.752	0
Irland	56	0	0	23	0	0	84	0	0	0
Dänemark	5.001	0	0	6	10	1.700	6	0	0	0
Schweden	1.389	0	0	67	44	0	22	0	120	0
Österreich	261	0	170	9	3	0	76	1	0	872
Griechenland	42	0	0	0	2	0	52	0	0	0
Spanien	437	0	0	4	50	1.100	127	3	0	0
Portugal	0	0	0	2	4	1.500	9	4	0	0
Schweiz	7.871	0	2.260	7	355	4.543	1.321	48	0	2
Norwegen	181	0	0	0	8	5.000	33	0	0	0
USA	50.566	4.288	0	184	200	259	85	1.203	0	0
Japan	0	0	0	0	0	0	3	12	0	0
Tschechien	40	0	0	0	12	4.600	4.643	2	5.395	13
Slowakei	30	0	0	1	2	0	43	5	1.814	4
Polen	10	0	0	1	10	1.000	11	0	7.595	0
Ungarn	14	3	0	2	3	0	4	0	0	0
Russland	0	0	0	5	2	60.013	49	2	0	0
Kuwait	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Südkorea	0	7	0	77	1	1.400	3	1	0	0
Mexiko	0	0	0	67	0	0	18	0	0	0
Brasilien	0	127	0	1.238	0	0	38	0	0	0
Singapur	20	0	0	37	0	0	0	1	0	0
Thailand	2	0	0	13	0	0	0	0	0	0
Philippinen	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
China	16	0	0	102	0	0	41	9	0	0
Taiwan	0	0	0	27	0	0	27	0	0	0
Indien	0	0	0	300	0	0	68	0	0	0
Südafrika	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0
Israel	907	0	0	12	1	0	18	0	0	0
Sonstige	434	2	13	1.260	38	0	75	22	0	0
Summe 2000	70.205	4.520	2.443	3.829	1.279	105.333	7.392	1.664	27.035	1.159
Summe 1999	69.171	3.665	-	115.376	1.684	57.997	5.979	1.168	34.768	1.563
Änderungen%	+ 1	+ 23	-	- 97	- 24	+ 82	+ 24	+ 42	- 22	- 26

Fortsetzung Tabelle 6

Verbraucherland	Aktivität in GBq							Summe
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonstige	
Frankreich	512	9	860	338	14.198	106	42	20.345
Belgien	54	3.102	171	133	1.435	227	65	13.589
Luxemburg	0	0	0	0	3.401	72	3	3.595
Niederlande	45	27.500	47	25	218.553	29	8	246.337
Italien	49	1.565	810	31	5.336	54	189	10.007
Großbritannien	1	37.270	461	1.467	2.705	382	41	68.839
Irland	0	0	0	999	1.271	0	0	2.433
Dänemark	53	30	23	0	1.037	18	10	7.894
Schweden	1	111	82	2	3.317	24	49	5.228
Österreich	6	4.465	699	22	6.759	216	44	13.603
Griechenland	40	0	35	25	26.240	69	42	26.547
Spanien	4	12.688	76	5	6.186	38	11	20.729
Portugal	26	0	7	0	6.400	103	3	8.058
Schweiz	5	0	48	9	14.277	21	59	30.826
Norwegen	0	0	295	13	2.453	2	3	7.988
USA	3.261	0	2.047	5.254	8.603	90	159	76.199
Japan	0	0	1	1.254	24.022	10	12	25.314
Tschechien	13	4.411	387	56	19.496	3.654	778	43.500
Slowakei	1	819	34	56	404	5	2	3.220
Polen	25	888	275	0	11.291	1.295	76	22.477
Ungarn	0	0	13	0	11.833	3	0	11.875
Russland	0	0	32	0	10.790	0	0	70.893
Kuwait	0	0	0	0	22.121	0	0	22.122
Südkorea	204	0	3.324	11	9.329	120	11	14.488
Mexiko	0	0	3.365	0	0	0	0	3.450
Brasilien	0	0	461	7	3.080	256	12	5.219
Singapur	0	0	354	7	3.010	4	2	3.435
Thailand	0	0	26	0	1.910	10	0	1.961
Philippinen	0	0	0	0	3.238	0	0	3.242
China	0	0	1.350	90	0	429	5	2.042
Taiwan	0	0	21	0	1.945	39	0	2.059
Indien	0	0	53	25	5.456	769	7	6.678
Südafrika	0	0	0	0	3.027	0	3	3.033
Israel	124	0	53	9	1.110	2	2	2.238
Sonstige	66	95	1.826	304	14.670	277	132	19.214
Summe 2000	4.490	92.953	17.236	10.142	468.903	8.324	1.770	828.677
Summe 1999	1.581	79.466	14.408	8.305	307.087	7.465	1.720	711.403
Änderungen%	+ 184	+ 17	+ 20	+ 22	+ 53	+ 12	+ 3	+ 16

1.5.2 Umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq
(Sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq)

Die Gesamtausfuhr von umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq (Tabelle 7) nahm wieder zu um 76% von 1.705.422 GBq im Jahr 1999 (319 Stück) auf 3.001.795 GBq (296 Stück) im Jahr 2000.

Tabelle 7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 2000
(Export of sealed radiation sources with levels of above 1850 GBq in the year 2000)

Verbraucher- land	Aktivitäten in GBq				Summe
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	
Frankreich	77.900	0	0	0	77.900
Großbritannien	0	8.100	1.900	0	10.000
Niederlande	0	0	0	27.158	27.158
Belgien	0	34.500	0	0	34.500
Luxemburg	0	2.800	0	2.000	4.800
Dänemark	0	35.300	0	0	35.300
Schweden	0	0	0	8.700	8.700
Finnland	0	0	5.700	0	5.700
Spanien	0	2.800	0	0	2.800
Italien	0	2.700	0	0	2.700
Österreich	0	2.900	0	0	2.900
Norwegen	0	29.400	0	0	29.400
Schweiz	0	19.600	81.400	89.363	190.363
USA	0	0	5.700	0	5.700
Kanada	1.883.388	0	0	0	1.883.388
Türkei	0	5.500	0	0	5.500
Südkorea	0	0	5.500	0	5.500
Tschechien	0	19.400	0	106.456	125.856
Slowakei	0	2.700	0	3.848	6.548
Ungarn	0	2.800	0	0	2.800
Rumänien	0	2.800	0	0	2.800
Polen	0	14.300	0	0	14.300
Tunesien	0	0	0	7.992	7.992
Ägypten	0	0	0	12.000	12.000
Ver.Arab. Emirate	0	2.900	0	0	2.900
Brasilien	293.798	13.000	4.048	0	310.846
Kuwait	0	0	0	1.850	1.850
Thailand	0	5.100	0	0	5.100
Taiwan	0	5.600	0	11.000	16.600
Indonesien	0	16.800	0	0	16.800
Vietnam	0	0	0	4.100	4.100
Ukraine	3.500	0	0	0	3.500
Weißrussland	0	0	0	10.462	10.462
Slowenien	0	0	0	25.800	25.800
Lettland	0	0	44.400	0	44.400
Malaysia	0	5.900	0	9.240	15.140
Argentinien	0	8.400	0	0	8.400
Tansania	0	0	0	3.700	3.700
Chile	0	0	0	7.600	7.600
Israel	0	2.700	0	5.800	8.500
Syrien	0	0	0	3.500	3.500
Libyen	0	0	0	7.992	7.992
Summe2000	2.258.586	246.000	148.648	348.561	3.001.795
Stückzahl	86	85	12	113	296
Summe 1999	708.750	302.813	59.700	634.159	1.705.422
Änderungen%	+ 218	- 19	+ 149	- 45	+ 76

1.5.3 Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe (Non-irradiated nuclear fuels and raw materials)

Tabelle 8 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es erfolgte eine Abnahme der Ausfuhrmenge von 3.257.188 kg (1999) auf 2.719.455 kg (2000) um 17%. Der mengenmäßig größte Anteil liegt vorwiegend wieder bei angereichertem Uran, aber auch bei den Ausgangsstoffen und angereichertem Uran mit 3 - 10%-igem Anteil U-235 sind größere Posten festzustellen.

**Tabelle 8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2000
(Export of non-irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2000)**

	abger. Uran (kg)	Ausgangs- stoffe (kg)	Natur- uran (kg)	mit U-235 angereichertes Uran					Pluto- nium (kg)	Thorium (kg)	Summe (kg)
				bis 3% (kg)	>3-10% (kg)	>10-<20% (kg)	20-85% (kg)	>85-100% (kg)			
Frankreich	100.755	0	3.853	0	86.354	57	0	0	156	42	191.217
Belgien	0	0	0	0	62.167	0	0	0	0	0	62.167
Niederlande	0	0	1	0	9.016	0	0	0	0	0	9.017
Großbritann.	67.030	0	337	0	57.808	0	0	0	0	0	125.175
Spanien	0	27.941	0	0	22.767	0	0	0	0	0	50.708
Schweden	17.925	0	0	506	88.084	0	0	0	0	0	106.515
Finnland	0	0	0	0	28.154	0	0	0	0	0	28.154
Italien	2	0	6	0	8	0	2	0	0	0	18
Tschechien	3.021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.021
USA	0	0	1	16.429	113.169	0	0	2	0	0	129.601
Kanada	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	67
Russland	2.009.227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.009.227
Südkorea	0	0	0	0	4.523	0	0	0	0	1	4.524
China	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	32
Sonstige	7	0	0	0	3	2	0	0	0	0	12
Summe 2000	2.197.967	27.941	4.265	16.935	472.053	91	2	2	156	43	2.719.455
Summe 1999	2.766.540	32.636	91.906	2.610	363.491	-	-	-	-	5	3.257.188
Änderung in %	- 21	- 14	- 95	+ 549	+ 30	-	-	-	-	+ 760	- 17

1.5.4 Bestrahlte Kernbrennstoffe (Irradiated nuclear fuels)

In Tabelle 9 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt.

**Tabelle 9 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe im Jahr 2000 in kg
(Export of irradiated nuclear fuels and raw materials in the year 2000)**

Verbraucherland	mit U- 235 angereichertes Uran		Summe
	bis 10 - 20%	20 - 85%	
	(kg)	(kg)	(kg)
USA	36	11	47
Summe	36	11	47

2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE (TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIALS)

Mit der sich weiterentwickelnden Kerntechnik und dem ständig steigenden Bedarf an radioaktiven Stoffen in Medizin, Wissenschaft und Technik hat die Frage nach dem jährlichen Umfang des Transportes von radioaktiven Stoffen und die dadurch bedingte mögliche Gefährdung des beteiligten Personals und der Umwelt ein besonderes Gewicht erhalten.

2.1 Übersicht über Transporte radioaktiver Stoffe (Overview of data on the transportation of radioactive materials)

Gemäß § 23 AtG ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen (§ 4 AtG) für Kernbrennstoffe und Beförderungsgenehmigungen (§ 8 StrlSchV) für Großquellen. Im Jahr 2000 wurden insgesamt 177 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

2000 wurden insgesamt 365 Transporte von Kernbrennstoffen durchgeführt (s. Tabelle 1).

**Tabelle 1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 2000
(Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)
(Overview of the number of indicated shipments of nuclear fuels in the year 2000
with differentiation between means and type of transport)**

Inlandtransporte	
Schiene /bestrahltes Material	0
Schiene /Reststoffe und Abfall	0
Straße /unbestrahltes Material	80
Straße /bestrahltes Material	1
Straße /Reststoffe und Abfall	0
insgesamt	81
Grenzüberschreitende Transporte a)	
Luft /unbestrahltes Material	26
Luft /bestrahltes Material	0
See /unbestrahltes Material	82
See /bestrahltes Material	5
See /Reststoffe und Abfall	12
Schiene /unbestrahltes Material	0
Schiene /bestrahltes Material	0
Schiene /Reststoffe und Abfall	0
Straße /unbestrahltes Material	159
Straße /bestrahltes Material	0
Straße /Reststoffe und Abfall	0
insgesamt	284

- a) Bei kombinierten Transporten wurden folgende Entsprechungen gewählt:
 Straßen- oder Schienen-/Seetransport: als Seetransport
 Straßen-/Schienenstransport: als Schienentransport
 Straßen-/Lufttransport: als Lufttransport
 Straßen-/Schienen-/Seetransport: als Schienentransport

3. UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN (THE HANDLING OF SEALED AND UNSEALED RADIOACTIVE SOURCES)

Nach § 1 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung versteht man unter Umgang mit radioaktiven Stoffen deren Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung.

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 1 ist die Entwicklung der Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1995 bis 2000 wiedergegeben. Auf Grund eines ab 1995 verwendeten neuen Fragebogens kann die Zahl der Verwender auf vier statt wie bisher zwei Bereiche aufgeschlüsselt werden:

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

Die Gesamtzahl der Verwender radioaktiver Stoffe hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht erhöht. Der höchste Anteil von 55,8% ist auch im Jahr 2000 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 26,0% der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 2000 den Angaben des Jahres 1999 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 1999 deutlich höher (Faktor 11 bis 15) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 1999 stieg die Gesamtzahl in diesem Bereich um 8,6 %, die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung fiel um 7,5 %.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach §§ 15 und 16 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2000 gibt Tabelle 3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender erhöhte sich um 16 %.

Tabelle 4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 1999 und 2000. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine leicht absteigende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 2000 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 81 % auf Umgang (§ 3 StrlSchV), zu ca. 3 % auf Beförderung (§ 8 StrlSchV) und zu 13 % auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20 StrlSchV). Nur ca. 0,4 % der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 1999 und 2000 erteilten Genehmigungen nach §§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 1999 nahm die Zahl der 2000 erteilten Genehmigungen um ca. 7 % ab.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2000 kann einer Übersicht in Tabelle 6 entnommen werden. Von den insgesamt 15.041 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 60 Präparate (ca. 0,4 %) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, sofern gemeldet, u.a. 14 Nickel 63-Quellen, 1 Americium-241-Quelle, 1 Cäsium-137-Quelle, 1 Strontium-90-Quelle und 2 Radium-225-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 1 Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1995 - 2000
(User of radioactive sources in the Federal Republic of Germany from 1995 to 2000)

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	1747	1804	1824	1814	1700	1524
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	467	454	433	481	462	493
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	344	378	409	285	240	247
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	904	935	972	1025	956	740
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	32	37	10	23	42	44
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1748	1781	1721	1742	1639	1595
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	385	376	376	382	365	364
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	203	200	188	195	222	220
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1074	1112	1059	1074	1009	975
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	86	93	98	91	43	36
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	1109	987	950	971	1021	993
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	449	356	404	413	434	437
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	353	305	372	380	402	366
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	307	326	174	178	185	189
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	0	0	0	0	0	1
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	226	247	233	255	259	280
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	15	25	33	34	28	30
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	14	26	19	23	27	25
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	182	180	167	181	196	215
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	15	16	14	17	8	10
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	100	98	96	119	112	112
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	19	19	18	28	25	25
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	7	7	6	6	6	6
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	72	71	71	73	70	70
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	2	1	1	12	11	11
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	302	357	303	309	309	288
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	78	82	63	66	63	51
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	36	39	31	32	37	36
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	167	205	188	190	191	181
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	21	31	21	21	18	20
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	801	758	760	758	725	740
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	213	211	200	196	189	198
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	92	95	88	94	94	99
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	450	412	428	425	401	403
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	46	40	44	43	41	40
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	211	195	242	250	220	222
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	65	39	74	77	43	46
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	29	30	34	35	38	38
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	110	119	126	130	132	130
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	7	7	8	8	7	8
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1125	1015	1137	1051	1095	954
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	274	206	239	234	295	220
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	134	113	134	123	119	109
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	706	679	746	663	648	591
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	11	17	18	31	33	34
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2814	2512	2545	1854	2337	2377
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	714	760	755	507	633	641
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	384	110	102	97	97	95
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	1716	1595	1636	1243	1585	1565
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	-	47	52	7	22	76

Fortsetzung Tabelle 1

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	582	537	574	551	559	515
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	222	209	216	194	180	134
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	35	25	31	23	30	41
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	231	220	249	266	284	275
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	94	83	78	68	65	65
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	97	93	82	80	77	86
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	29	29	26	28	28	32
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	2	2	2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	61	57	53	48	44	48
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	5	5	1	2	3	4
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	575	588	586	621	608	591
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	87	95	98	111	111	109
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	160	170	162	173	168	166
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	180	170	169	178	170	178
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	148	153	157	159	159	138
Sachsen-Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	345	358	382	403	395	415
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	44	46	45	50	53	53
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	25	29	36	45	51	45
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	259	266	280	281	261	290
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	17	17	21	27	30	27
Schleswig-Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	406	418	436	436	436	361
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	109	113	119	119	119	74
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	33	33	34	34	34	18
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	237	245	256	256	256	254
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	27	27	27	27	27	15
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	217	224	243	243	254	255
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	20	23	28	28	28	30
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	10	11	11	11	10	9
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	184	184	197	194	205	205
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	3	6	7	10	11	11
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	12405	11972	12114	11457	11746	11308
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre	3190	3043	3127	2948	3056	2937
	das entspricht	25,7%	25,4%	25,8%	25,7%	26,0%	26,0%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin	1861	1573	1659	1558	1577	1522
	das entspricht	15,0%	13,1%	13,7%	13,6%	13,5%	13,4%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft	6840	6776	6771	6405	6593	6309
das entspricht	55,1%	56,6%	55,9%	55,9%	56,1%	55,8%	
davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)	514	580	557	546	520	540	
das entspricht	4,1%	4,8%	4,6%	4,8%	4,4%	4,8%	

1) ab 1995 neue Abfrage

Tabelle 3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 1999 und 2000 (§§ 15 und 16 StrlSchV)
(Survey on the number of users of facilities for the generation of ionising radiation in 1999 and 2000 (§§ 15 and 16 StrlSchV))

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschließlich medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z. B. Behörden)	
			1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Baden-Württemberg	51	96	32	33	14	15	5	48	0	0
Bayern	56	53	33	36	18	9	5	8	0	0
Berlin	41	41	21	23	20	18	0	0	0	0
Brandenburg	5	6	5	6	0	0	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	14	11	4	5	7	3	2	2	1	1
Hessen	14	21	8	14	3	4	3	3	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	6	7	6	7	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	30	33	23	20	4	4	2	8	1	1
Nordrhein-Westfalen	65	71	51	56	8	8	6	7	0	0
Rheinland-Pfalz	13	13	11	11	2	2	0	0	0	0
Saarland	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	30	29	23	20	7	9	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	6	8	4	5	0	0	2	3	0	0
Schleswig-Holstein	13	13	13	13	0	0	0	0	0	0
Thüringen	8	7	6	6	0	0	2	1	0	0
Summe	358	415	246	261	83	72	27	80	2	2

Tabelle 4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen
(Survey on the development of the current licenses)

	Umgang		Beförderung		Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Tätigkeiten in fremden Anlagen		Umgang nach		Gesamtzahl	
	(§ 3) ¹⁾		(§ 8) ¹⁾		(§§ 15,16) ¹⁾		(§ 20) ¹⁾		§ 9 AtG			
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Baden-Württemberg	2530	2317	86	91	84	85	467	485	0	15	3167	2993
Bayern	1777	1768	55	60	59	55	757	420	19	39	2667	2342
Berlin	984	993	91	95	41	41	131	146	2	2	1249	1277
Brandenburg	292	336	15	19	5	7	35	59	0	0	347	421
Bremen	146	149	18	19	3	3	28	31	1	0	196	202
Hamburg	375	417	27	22	14	10	76	79	0	0	492	528
Hessen	1300	1246	21	17	38	39	297	281	7	7	1663	1590
Mecklenburg-Vorpommern	227	230	6	5	7	8	67	74	0	0	307	317
Niedersachsen	2222	2288	125	138	47	49	253	258	2	2	2649	2735
Nordrhein-Westfalen	7411	5685	430	169	151	134	655	672	17	19	8664	6679
Rheinland-Pfalz	586	584	37	37	17	17	108	116	2	2	750	756
Saarland	150	151	22	20	7	7	24	22	1	0	204	200
Sachsen	628	607	38	37	32	31	151	173	10	9	859	857
Sachsen-Anhalt	420	439	27	26	10	12	45	49	2	2	504	528
Schleswig-Holstein	748	640	31	14	17	19	166	103	0	0	962	776
Thüringen	314	403	10	9	15	12	20	20	1	1	360	445
Summe	20110	18253	1039	778	547	529	3280	2988	64	98	25040	22646

1) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

Tabelle 5 Übersicht über die 1999 und 2000 erteilten Genehmigungen

(§§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV, § 9 AtG)

(Survey on the licenses granted in 1999 and 2000 - §§ 3,8,15,16,20 StrlSchV, § 9 AtG)

Land	Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)	
	1999	2000
Baden-Württemberg	324	374
Bayern	384	325
Berlin	92	118
Brandenburg	86	84
Bremen	53	43
Hamburg	294	269
Hessen	280	387
Mecklenburg-Vorpommern	85	51
Niedersachsen	435	292
Nordrhein-Westfalen	676	628
Rheinland-Pfalz	166	104
Saarland	48	59
Sachsen	201	213
Sachsen-Anhalt	181	161
Schleswig-Holstein	109	72
Thüringen	121	118
Summe	3535	3298

Tabelle 6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 2000
(Survey on the scope and the results of monitoring of sealed radioactive sources in the year 2000)

BUNDESLAND	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:										Von Spalte 12 entfallen auf:					Sonstige Nuklide
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide	Anzahl der bei den Prüfungen lt. Spalte 2 als undicht ermittelten Präparate	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-Württemberg	1845	109	566	336	11	2	63	291	81	386	3	0	0	0	0	2 C-14; 1 Ni-63	
Bayern	2392	237	423	336	37	2	55	236	171	895	21	0	1	1	1	10 Ni-63; 1 Sm-151; 3 Co-57; 2 Kr-85; 1 Pb-210; 1 Cs-134	
Berlin	276	15	114	64	2	0	4	29	8	40	0	0	0	0	0		
Brandenburg	501	95	15	284	1	0	3	43	38	22	0	0	0	0	0		
Bremen	49	14	8	9	0	0	2	10	0	6	0	0	0	0	0		
Hamburg	320	29	68	89	1	1	4	59	4	65	0	0	0	0	0		
Hessen	366	25	74	87	9	0	7	50	18	96	0	0	0	0	0		
Mecklenburg-Vorpommern	399	45	171	45	1	0	1	42	1	93	1	1	0	0	0		
Niedersachsen	1547	199	269	427	15	0	68	139	111	319	1	0	0	0	0	1 Ni-63	
Nordrhein-Westfalen	2516	326	298	526	53	0	347	597	16	353	2	0	0	0	0	1 Ni-63; 1 C-14	
Rheinland-Pfalz	210	10	48	68	6	0	11	46	2	19	0	0	0	0	0		
Saarland	53	7	14	12	0	0	0	14	0	6	0	0	0	0	0		
Sachsen	3075	674	161	1524	3	0	127	7	125	454	31	0	0	0	0		
Sachsen-Anhalt	680	34	30	431	0	0	2	37	69	77	0	0	0	0	0		
Schleswig-Holstein	236	7	54	57	4	0	43	34	6	31	1	0	0	1	0		
Thüringen	549	51	32	423	0	0	0	9	8	26	0	0	0	0	0		
Summe	15014	1877	2345	4718	143	5	737	1643	658	2888	60	1	1	2	1		

1) Keine Angabe der Radionuklide

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

Nach der Strahlenschutzverordnung können bestimmte Gebrauchsgüter, die radioaktive Stoffe enthalten, sowie radioaktive Stoffe mit geringer Aktivität genehmigungsfrei verwendet werden. Diese Möglichkeit ist allerdings an eine Reihe von Auflagen gebunden, z. B. hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art und Aktivität der Radionuklide, der Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Typische Fälle sind z. B.:

- Geräte, Anlagen oder sonstige Einrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten und deren Bauart die nach Landesrecht zuständige Behörde nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zugelassen hat (z. B. Rauchmelder),
- elektronische Bauteile (Fernseher, Monitore),
- radioaktive Stoffe, die unter die allgemeinen Freigrenzen fallen.

Unter diese Regelungen fällt eine Vielzahl von Erzeugnissen, die sowohl in Wissenschaft und Technik als auch im privaten Bereich anzutreffen sind. Die in diesen Produkten eingebauten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Sie tragen dazu bei, Energie zu sparen oder garantieren ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Vorrichtungen, wie z. B. bei Ionisationsrauchmeldern. Einen Überblick über einige dieser Gebrauchsgüter und Industrieprodukte gibt Tabelle 1.

**Tabelle 1 Radioaktive Stoffe enthaltende Gebrauchsgüter (typische Beispiele)
(Consumer goods containing radioactive substances – typical examples)**

Industrieerzeugnisse	enthaltene Radionuklide und Aktivität
abgedeckte Skalen u. Zeiger für Instrumente mit Leuchtfarben	bis ca. 250 MBq H-3 5 MBq Pm-147
Starter für Leuchtstoffröhren	bis ca. 500 Bq Kr-85 oder H-3
Ionisationsrauchmelder	bis ca. 50 kBq Am-241
Schutzgas-Schweißelektroden	bis ca. 2000 Bq Thorium (natürlich)
Gasglühstrümpfe *)	ca. 1000 Bq Thorium (natürlich)

*) in den letzten Jahren wurden für den privaten Gebrauch vorwiegend Gasglühstrümpfe ohne Thorium verkauft

Radioaktive Stoffe enthaltende Baumaterialien sind im Kapitel 2 im Teil I zusammengestellt.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

Für Werkstoffprüfungen werden die in Tabelle 2 angegebenen Radionuklide verwendet. Iridium-192 ist das weitaus am häufigsten verwendete Nuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Quelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die niedrige spezifische Aktivität ist der Hauptnachteil von Cäsium-137, das daher kaum Anwendung findet. Andere γ -Strahler sind nicht praktikabel, weil die spezifische Aktivität zu klein oder die Halbwertszeit zu kurz ist. Verlangt werden heute spezifische Aktivitäten im Bereich von 7,4 bis 14,8 TBq/Gramm.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit γ -Strahlern (Kobalt-60 und Cäsium-137) mit einer Aktivität bis zu 1 GBq. Zur Messung wird die von der Dichte abhängige Absorption der ionisierenden Strahlung herangezogen. Quelle und Detektor sind im Allgemeinen so gut abgeschirmt, dass praktisch kein Kontrollbereich entsteht. Außerdem sind die Geräte meistens an schwer zugänglichen Stellen eingebaut, die von Arbeitsplätzen weit entfernt sind, so dass keine Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Krypton-85, Strontium-90 und Promethium-147 als β -Strahler und Kobalt-60, Cäsium-137 und Americium-241 als γ -Strahler benutzt. Die Aktivitäten liegen etwa zwischen 370 MBq und 370 GBq. Geräte mit β -Strahlung werden in der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit γ -Strahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickemessung, in der Lebensmittelindustrie und chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Tabelle 2 Radionuklide für Werkstoffprüfungen
(*Radionuclides applied in tests on materials*)

Radionuklid	Halbwertszeit	γ -Energien	Dosisleistung in 1 m Abstand von 37 GBq
Iridium-192	74 d	0,30 - 0,61 MeV	4,8 mSv/h
Cäsium-134	2,1 a	0,48 - 1,4 MeV	8,7 mSv/h
Kobalt-60	5,3 a	1,17 und 1,33 MeV	13,0 mSv/h
Cäsium-137	30 a	0,66 MeV	3,3 mSv/h
Americium-241	432 a	60 keV	0,16 mSv/h

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Störstrahlern

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der enthaltenen Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der allgemeinen Verbreitung dieser radioaktiven Industrieerzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d.h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung, wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht, u.a. für Geräte, Instrumente oder andere Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Landesbehörde zugelassen worden sind.

Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen und der Beachtung des Grundsatzes, dass mit der Anwendung ein echter Vorteil verbunden sein muss, ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 10 Mikrosievert pro Jahr ist.

Andere Quellen ionisierender Strahlung sind die sogenannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlen erzeugt werden, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildinhalten, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. Bei den meisten von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt nach der Röntgenverordnung überprüften Geräten dieser Art wurde die vorgeschriebene höchstzulässige Ortsdosisleistung von 5 Mikrosievert pro Stunde in 5 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Obwohl bei Datensichtgeräten die Betrachtungsabstände nur etwa 0,5 m (ca. 3 m bei Fernsehgeräten) betragen und die zu unterstellende Betrachtungszeit mit acht Stunden im Vergleich zu Fernsehgeräten sehr viel länger ist, hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt festgestellt, dass die durch die überprüften Geräte verursachte Strahlenexposition für die betroffenen Arbeitnehmer nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition betragen würde.

Der jährliche Beitrag von Datensicht- und Fernsehgeräten zur Strahlenexposition der Bevölkerung wird zu weniger als 10 Mikrosievert abgeschätzt.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyatronen, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen solche Störstrahler nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen beruflich mit diesen Geräten umgehen.

ANHANG
(ANNEX)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene, Neuherberg

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). Dicht ionisierende Strahlung wie z. B. α -Teilchen kann biologisch wesentlich wirksamer sein als locker ionisierende Strahlung (z. B. γ - und β -Strahlung). Aus diesen Gründen ist die **Äquivalentdosis** H eingeführt worden, die sich aus der Energiedosis D durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Bewertungsfaktor q ergibt:

$$H = q \times D$$

Der Faktor q berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung in Abhängigkeit von der Strahlenqualität. Gemäß der Strahlenschutzverordnung kann für den Bewertungsfaktor ein Wert von 1 für β - und γ -Strahlung und ein Wert von 20 für α -Strahlung aus Radionukliden, jeweils bei äußerer Exposition, angenommen werden. Da der Bewertungsfaktor dimensionslos ist, wird die Äquivalentdosis wie die Energiedosis in J/kg angegeben. Die Einheit ist das **Sievert** (Sv). Ein Sievert entspricht einem Joule pro Kilogramm.

Im Zusammenhang mit der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen wird der Begriff **Personendosis** verwendet. Unter der Personendosis versteht man die Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, z. B. an der Brustvorderseite. Deshalb muss die vom Personendosimeter angezeigte Personendosis nicht mit der Körperdosis des Trägers identisch sein. Wenn der Verdacht besteht, dass Dosisgrenzwerte in einzelnen Organen oder Geweben überschritten werden, muss die Teilkörperdosis aus der Personendosis unter Berücksichtigung der Bestrahlungsumstände ermittelt werden.

Zur Charakterisierung und Quantifizierung der Strahlenexposition im komplexen Strahlungsfeld z. B. in Flugzeugen dient als Ortsdosismessgröße die sog. Umgebungs-Äquivalentdosis H (10) gemäß ICRP Publikation 60. Die Umgebungs-Äquivalentdosis wird für den interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld angegeben und ist definiert als Äquivalentdosis im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe in der ICRU-Kugel. Die Umgebungs-Äquivalentdosis liefert einen konservativen Schätzwert für die Körperdosis (effektive Dosis).

Zur Bewertung der Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen wird als Maß der Gesamtexposition die **Kollektivdosis** verwendet. Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das **Personen-Sievert**.

1.2 Stochastische und deterministische Strahlenwirkung (Stochastic and deterministic radiation effects)

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische (nicht-stochastische) Wirkungen unterschieden. Stochastische Wirkungen sind solche, für die die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens eine Funktion der Dosis ohne Schwellenwert ist. Hierzu gehören genetische Effekte und die Induktion von Krebs und Leukämie. Im Strahlenschutz geht man bei den stochastischen Wirkungen von der Annahme einer Proportionalität zwischen Dosis und Wirkung aus. Bei den deterministischen Wirkungen ist die Schwere (und nicht die Wahrscheinlichkeit) des Effektes eine Funktion der Dosis, wobei ein Schwellenwert existieren kann, unterhalb dessen der betreffende Effekt nicht mehr zu beobachten ist. Zu den Effekten gehören Hautrötung, Linsentrübung, Fertilitätsstörungen und Schäden am Gefäßsystem und am Bindegewebe.

1.3 Effektive Dosis (Effective dose)

Als "Risiko" wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung in einem Personenkollektiv bezeichnet. Um das Strahlenrisiko bei externer oder interner Bestrahlung eines oder mehrerer Organe zu charakterisieren, hat die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) die sogenannte **effektive Dosis** eingeführt. Bei der effektiven Dosis wird die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe durch unterschiedliche Organ-Wichtungsfaktoren (Tabelle 1) berücksichtigt. Die Äquivalentdosen der Organe und Gewebe eines Körpers werden gewichtet und zur effektiven Dosis aufsummiert. Die Summe aller Wichtungsfaktoren ist 1. Da sie dimensionslos sind, wird die effektive Dosis ebenfalls in Sievert angegeben. Die große Bedeutung der effektiven Dosis liegt darin, dass das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung einzelner Organe, z. B. nach Inkorporation von radioaktiven Stoffen, bewertet werden kann. Außerdem lassen sich die stochastischen Strahlenwirkungen durch Expositionen aus unterschiedlichen Quellen durch die Anwendung dieser im Strahlenschutz international gebräuchlichen Begriffe vergleichen.

**Tabelle 1 Gewebe-Wichtungsfaktoren
(Tissue weighting factors)**

Gewebe oder Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor
Keimdrüse	0,20
Rotes Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Gewebe und Organe (Nebenniere, Gehirn, Dünndarm, Nieren, Muskeln, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymus, Gebärmutter)	0,05
Summe	1,00

Derartige Vergleiche werden in Berichten internationaler Kommissionen und internationaler Organisationen zusammengestellt, wie zum Beispiel vom Wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR).

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) passt in ihren Empfehlungen die Grenz- und Richtwerte dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Strahlenwirkungen an. Zuletzt wurden 1990 in der ICRP-Publikation 60 /1/ neue Definitionen von Dosisgrößen publiziert. Diese Emp-

fehlungen fließen in die Rechtsetzung der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland sowie in Vorschriften und Normen ein.

1.4 Strahlenschutzmaßnahmen (*Radiation protection measures*)

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung der Gesundheit von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Mindestmaß reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung "jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 28 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Abluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 45 Strahlenschutzverordnung Dosisgrenzwerte festgelegt: "Der Strahlenschutzverantwortliche hat die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlagen oder Einrichtungen so zu planen, dass die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus diesen Anlagen oder Einrichtungen mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition des Menschen jeweils die folgenden Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr nicht überschreitet": 0,3 Millisievert für die effektive Dosis und die Teilkörperdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter und rotes Knochenmark, 1,8 Millisievert für die Teilkörperdosis für Knochenoberfläche und Haut sowie 0,9 Millisievert für die Teilkörperdosis für alle übrigen Organe und Gewebe.

/1/ ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21(1-3). ICRP Publication 60, Pergamon Press Oxford

2. SI-EINHEITEN (SI UNITS)

2.1 Basiseinheiten (Basic units)

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unit s).

**Tabelle 1 Basiseinheiten
(Basic units)**

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgr�sse
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Amp�re	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

2.2 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten (Decimal power factors (including minus values) for units)

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

**Tabelle 2 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 3 SI-Einheiten in der Radiologie
(SI units applied in radiology)**

Physikalische Gr�sse	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq 1 Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ 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 = $2,58 \cdot 10^{-4}$ 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 = $2,58 \cdot 10^{-4}$ A/kg = 0,258 mA/kg

Anm.: Bei den mit * bezeichneten Werten ist der Umrechnungsfaktor genau angegeben, bei den anderen ist er abgerundet.

3. LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN (LIST OF ABBREVIATIONS USED)

AMG	Arzneimittelgesetz
AtG	Atomgesetz
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BAfM	Bundesanstalt für Milchforschung
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BFE	Bundesforschungsanstalt für Ernährung
BFF	Bundesforschungsanstalt für Fischerei
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
/d xp	pro Tag und Person
DAC	derived air concentration
DWD	Deutscher Wetterdienst
DWR	Druckwasserreaktor
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EÜ	Eigenüberwachung des BfS für das ERAM
FFS	Fischereiforschungsschiff
FM	Feuchtmasse
FÜS	Nukleares Frühwarn- und Überwachungssystem
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
FZ	Forschungszentrum
G α	Gesamt-Alpha-Aktivität
G β	Gesamt-Beta-Aktivität
HTR	Hochtemperaturreaktor
HWZ	Halbwertszeit
IAR	Institut für Atmosphärische Radioaktivität
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem
ISH	Institut für Strahlenhygiene
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr
KFA	Kernforschungsanlage
KFZ	Kernforschungszentrum
KKW	Kernkraftwerk
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
N	Zahl der Einzelmessungen
nn	nicht nachgewiesen/nachweisbar
NWG	Nachweisgrenze
ODL	Ortsdosisleistung
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
R β	Rest-Beta-Aktivität
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
RMP	Routinemessprogramm
RöV	Röntgenverordnung
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz
SWR	Siedewasserreaktor
TM	Trockenmasse
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart
-	keine Messungen bzw. keine Angaben

**4. 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 9. September 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 47)
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), zuletzt geändert durch VO vom 25. Juli 1996 (BGBl. I S. 1172)
10. Verordnung über den Schutz von Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321, 1926), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2113)
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 Deckungsvorsorgeverordnung - 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. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31. Juli 1998 (BGBl. I S. 1918)
23. 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)
24. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BANz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
25. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - AVV-StrahlLe) vom 28. Juni 2000 (BGBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
26. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBI. 1994, S. 286)
27. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil I: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
28. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung und des Betriebs der Anlage vom 4. August 1981 (GMBI. 1981, S. 363)
29. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBI. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
30. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBI. 1996, S. 698)
31. Richtlinie für den Strahlenschutz bei Verwendung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Bestrahlungseinrichtungen mit radioaktiven Quellen in der Medizin (Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin) vom 14. Oktober 1992 (GMBI. 1992, S. 991)

32. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBI. 1993, S. 502)
33. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBI. 1996, Nr. 9/10, S. 195)
34. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBI. 1995, S. 261)
35. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil I: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) vom 28. Juli 1994 (GMBI. 1994, S. 930)
36. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBI. 1982, S. 592)
37. Richtlinie zur Durchführung von Prüfungen zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik nach § 16 RöV, 1. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 (BArbBI 9/90, S. 66)
38. Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin und Zahnmedizin bei der Anwendung von Röntgenstrahlen auf Tiere, 8. und 9. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 und BArbBI 9/90, S. 67 und vom 1. Juli 1991 (BArbBI 9/91, S. 88)
39. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und fachliche Eignung bei der Erzeugung von Röntgenstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb nicht-medizinischer Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftiger Störstrahler sowie Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik) vom 13. Januar 1988, 4. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 1. Februar 1988 (BArbBI 3/88, S. 89)
40. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBI. 1981, S. 26)
41. 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
42. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
43. Ergänzung der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin - Anforderungen an die Fachkunde bei der Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe in der Diagnostik vom 4. Mai 1984 (GMBI. 1984, S. 236)
44. 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)
45. 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 bestimmungsgemäßigem Betrieb, KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/93), Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1993)
46. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, KTA-Regel 1504, (Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1995)
47. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren, KTA-Regel 1507, BAnz Nr. 172a vom 15. September 1998
48. 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

49. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emission aus Kernkraftwerken, GMBI 19 (1978), S. 313 und GMBI 9/10 (1996) S. 247
50. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
51. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
52. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
53. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBI. 1982, S. 61)
54. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
55. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBI. 1983, S. 176)
56. 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)
57. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBI. 1989, S. 71)
58. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
59. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBI 2/90, S. 137)
60. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juli 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

**5. NUKLIDLISTE DER IM TEXT ERWÄHNTEN RADIONUKLIDE
(LIST OF NUCLIDES REFERRED TO IN THE TEXT)**

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ϵ, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,3 \times 10^9$ a	β^-, γ
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ϵ, γ
		Co-58	70,9 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	245 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,7 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 min	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,16 min	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	65,9 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,01 h	R
44	Ruthenium	Ru-103	39 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-, γ
47	Silber	Ag-108m	2,4 min	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,8 d	ϵ, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	R
53	Jod	I-123	13,1 h	ϵ, R
		I-125	59,4 d	ϵ, R
		I-129	$1,6 \times 10^7$ 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

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
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	\square
84	Polonium	Po-210	138 d	\square
		Po-214	164 μ sec	\square
		Po-218	3,05 min	\square
		Po-219	3,96 sec	\square , γ
86	Radon	Rn-220	55,6 sec	\square
		Rn-222	3,8 d	\square
		Rn-226	3,82 d	\square , γ
88	Radium	Ra-224	3,66 d	\square , γ
		Ra-226	1600 a	\square , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
		Ra-230	1,28 a	\square , γ
90	Thorium	Th-228	1,91 a	\square , γ
		Th-230	$7,5 \times 10^4$ a	\square
		Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ a	\square
		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	\square
		U-234	$2,45 \times 10^5$ a	\square
		U-235	$7,0 \times 10^8$ a	\square , R
		U-238	$4,5 \times 10^9$ a	\square
93	Neptunium	Np-239	2,35 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	\square , R
		Pu-239	$2,4 \times 10^4$ a	\square , R
		Pu-240	6563 a	\square , R
		Pu-241	14,4 a	β^-
		Pu-242	373,3 a	\square , R
95	Americium	Am-241	432 a	\square , R
96	Curium	Cm-242	163 d	\square , R
		Cm-244	18,1 a	\square , R

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre

α = Helium-Kerne
 β^- = Elektronen
 β^+ = Positronen

ϵ = Elektroneneinfang
 γ = Gammastrahlung
R = Röntgenstrahlung