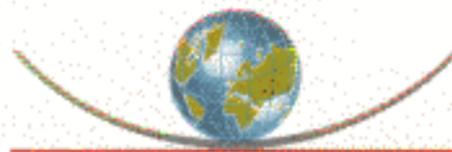




Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 1998



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

Bonn, Dezember 2000

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	7
SUMMARY	11
RESUME	14
Teil I UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
EINLEITUNG	20
1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	23
1.1 Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt	23
1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden	24
1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser	25
1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Luft	27
1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	28
1.6 Natürliche Strahlenexposition	29
2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
2.1 Radon in Gebäuden	32
2.2 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten	36
2.3 Terrestrische γ -Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden	39
2.4 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen	41
2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften	45
3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
3.1 Luft und Niederschlag	46
3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel	57
3.3 Gewässer	63
3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer	63
3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	77
3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)	90
3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser	90
3.4.2 Milch und Milchprodukte	92
3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer	95
3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung	102
3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe ...	110
3.5 Abwasser und Klärschlamm	111
3.6 Reststoffe und Abfälle	120
3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	123
3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl	128
3.9 Kernwaffenversuche	129
Teil II RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN	
1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN	
1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen	134
1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen	139
1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen	146
1.4 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	148
1.4.1 Luft	148
1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch	151
1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer	159
1.4.4 Fische und Wasserpflanzen	166
1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser	168
1.4.6 Einzellebensmittel	170
1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen	175
2. RADIOAKTIVE STOFFE AUS URANBERGBAUANLAGEN	
2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben	179
2.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe	180

2.3 Strahlenexposition durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben.....	184
Teil III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION	
1. PERSONENDOSISMESSUNGEN	
1.1 Vorbemerkungen.....	186
1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen.....	186
1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen.....	190
1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern	191
1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung.....	196
2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG.....	197
3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSSE	198
Teil IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN	199
1. RÖNTGENDIAGNOSTIK	210
2. STRAHLENTHERAPIE	216
3. NUKLEARMEDIZIN.....	217
4. HERZSCHRITTMACHER	218
5. MEDIZINISCHE FORSCHUNG	
5.1 Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung.....	219
5.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patienten in der medizinischen Forschung.....	221
5.3 Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung.....	222
Teil V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN	
1. EIN- UND AUSFUHR RADIOAKTIVER STOFFE	
1.1 Einleitung.....	226
1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren	226
1.3 Übersicht über Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe.....	228
1.4 Einfuhrstatistik.....	230
1.3 Ausfuhrstatistik.....	233
2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE	
2.1 Übersicht über Transporte radioaktiver Stoffe	238
2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen	238
2.3 Besonders erwähneswerte Transporte	240
3. UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN	
3.1 Allgemeine Angaben	242
3.2 Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen.....	249
3.3 Erhebung radioaktiver Reststoffe.....	251
ANHANG	
1. ERLÄUTERUNG ZU DEN VERWENDETEN BEGRIFFEN	256
2. SI-EINHEITEN.....	259
3. LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	260
4. GESETZE, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN, EMPFEHLUNGEN, ERLÄUTERUNGEN UND SONSTIGE REGELUNGEN ZUM STRAHLENSCHUTZ	261
5. NUKLIDLISTE	265
6. MESSSTELLENVERZEICHNIS	267

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
- radioaktive Abfälle
- Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse
- die Folgen des Reaktorunfalls von Tschernobyl.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1998 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis ist im Vergleich zu den Vorjahren insgesamt unverändert.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 1998

		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. 1,4
	durch Aufenthalt im Freien (5 Std./Tag)	ca. 0,2
	durch Aufenthalt in Gebäuden (19 Std./Tag)	ca. 1,2
1.4	durch Ingestion von natürlich radioaktiven Stoffen	ca. 0,3
	Summe der natürlichen Strahlenexposition	ca. 2,4
2.	Zivilisatorische Strahlenexposition	
2.1	durch kerntechnische Anlagen	< 0,01
2.2	durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	ca. 1,5 a)
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. 1,6

a) Der Schwankungsbereich dieses Wertes beträgt ca. 50 % (siehe Kapitel IV 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. Der Mittelwert beträgt 2,4 Millisievert, wofür insbesondere Radon in Gebäuden maßgebend ist. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

In den letzten Jahren durchgeführte Messungen haben die beträchtlichen regionalen Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition aufgezeigt, die durch erhebliche Unterschiede in der Konzentration natürlich radioaktiver Stoffe in Boden und Luft bedingt sind. Die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Gehalt an radioaktiven Stoffen und die Errichtung von Häusern auf Baugrund mit erhöhtem Uran- und Radiumgehalt 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.

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 1,5 Millisievert; hierbei handelt es sich um eine grobe Schätzung.

Erhebungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) über die Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik, die den weitaus größten Anteil 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. Der Wert der mittleren effektiven Dosis dürfte in den folgenden Jahren trotz breiter Anwendung alternativer Untersuchungsverfahren (Ultraschall, Endoskopie, Magnetresonanztomographie) einerseits und zunehmend greifender Maßnahmen der Qualitätssicherung und -kontrolle in der Röntgendiagnostik aber auch der Nuklearmedizin andererseits weiter ansteigen. Dies ergibt sich aus der Erhebung, die auf ein weiteres Ansteigen der Untersuchungsfrequenzen hinweist, vor allem bei den dosisintensiven Untersuchungsverfahren Computertomographie und Angiographie einschließlich interventioneller, also therapeutischer Radiologie. Entsprechende Erhebungen zur Aktualisierung der Daten zur Häufigkeit und Dosis werden beim Bundesamt für Strahlenschutz 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 Körperbereich (Herddosis) bei gleichzeitiger Begrenzung der Strahlenexposition der übrigen Körperbereiche optimiert wird.

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. In der

klinischen Diagnostik gewinnt die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Verfahren zunehmend an Bedeutung.

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 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 1997 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 1998 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 1998 bei 0,19 Millisievert (Datengrundlage zum 1.3.2000). Bei ca. 86 % 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 1,4 mSv. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher auch 1998 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 1998 wurden von Pakistan sechs und von Indien fünf, insgesamt elf unterirdische 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 1998 mit weniger als 0,01 Millisievert pro Person anzusetzen.

Radioaktive Abfälle

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

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 1998 60895 m³ (nicht wärmeentwickelnde Abfälle) bzw. 1428 m³ (wärmeentwickelnde Abfälle). 1998 wurden davon 6533 m³ konditionierte Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung im Endlager für radioaktive Abfälle (ERAM) eingelagert.

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. Für das Jahr 1998 wird auf die Übersicht in Tabelle 1 (Teil III 3) verwiesen.

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 1998 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 1998 lässt sich mit weniger als 2 Mikrosievert 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
- handling of radioactive substances
- occupational exposure
- nuclear weapons tests
- radioactive waste
- 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 1998 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose is generally unchanged.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 1998

		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. 1.4
	outdoors (5 h/d)	approx. 0.2
	in dwellings (19 h/d)	approx. 1.2
1.4	ingestion of natural radioactive substances	approx. 0.3
Total natural radiation exposure		approx. 2.4
2.	Exposure from man-made radiation sources	
2.1	nuclear installations	< 0.01
2.2	use of radioactive substances and ionising radiation in medicine	approx. 1.5 a)
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 technological 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. 1.6

a) The range of variation for this value is about 50 % (see chapter IV 1)

Natural radiation sources and technologically enhanced natural radioactivity

Exposure from natural radiation sources consists of an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. An 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 in drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The mean value is 2.4 millisievert, resulting in particular from exposure to radon in buildings. All individual contributions to the mean effective dose per year 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 use of building materials containing increased amounts of radioactive substances and the construction of houses on land containing increased amounts of uranium and radium 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; 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, 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.

Medical applications

The largest part of the mean effective population dose from man-made exposure sources is attributable to the use of ionising radiation and radioactive substances in medicine. The dose attributable to medical radiation exposure is roughly estimated to be about 1.5 millisievert per year. Surveys initiated by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) on exposures in diagnostic radiology, this representing by far the largest contribution, have shown a considerable range of dose value scattering for individual examinations of more than two orders of magnitude which is caused by the different conditions for each individual patient and the different technical standards applied. The value for the mean effective dose is expected to increase in future, regardless of the broad use of alternative examination techniques (i.e. ultrasonic, endoscopy and magnetic resonance tomography techniques) on the one hand and increasingly successful quality assurance and control measures in diagnostic radiology and nuclear medicine, on the other hand. This is the conclusion drawn by a survey indicating a further increase in the frequency of examinations, mainly of dose-intensive examination techniques, such as computed tomography and angiography and including interventional and, therefore, also therapeutic radiology practices. Such practices data gathering activities for the updating of the data on frequency and dose have been carried out continuously, including now also for the new Federal Länder, by the Institute of Radiation Hygiene, since 1991.

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 radiation exposure to the remaining parts of the body.

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, in particular within the framework of diagnosing inflammatory processes and tumours and in tumour therapy. In clinical diagnostics, an increasingly important role is played by a procedure in nuclear medicine, the Positron Emission Tomography (PET) procedure.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and from the Morsleben (ERAM) repository for low and intermediate-level radioactive waste contributes only insignificantly to the radiation

exposure of the population. The upper values for the exposure of individuals, calculated according to 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 in the Federal Republic of Germany. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported in 1997. The annual contribution from domestic nuclear installations and others 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 1998 (Table p. 11 - 2.1).

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 whole population from mechanical devices is limited by the stipulations of X-ray Ordinance and the Radiation Protection Ordinance and kept as low as reasonably achievable. The mean contribution to the 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 0.19 millisievert in 1998. The contribution to the effective population dose from occupational exposure was less than 0.01 millisievert.

Nuclear weapons testing

In 1998, a total of eleven subterranean nuclear weapons tests were carried out. Pakistan carried out six of these and India five. 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 1998 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radioactive waste

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

On 31 December 1998, the levels of radioactive wastes in a suitable state for long-term disposal were 60895 m³ for wastes with negligible heat generation and 1428 m³ for heat-generating wastes. From this total, 6533 m³ of conditioned wastes with negligible heat generation were emplaced in the ERAM repository for radioactive wastes in 1998.

Radiological accidents and other particular events

Due to the strict regulations of the Radiological Protection Act, radiological emergencies requiring persons to handle sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. For 1998, an overview 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 measurement data available to the Federal Republic of Germany were documented and evaluated from the aspect of radiation hygiene. Radiation exposure resulting from this accident decreased further in 1998; 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 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 in foodstuffs is estimated to have been less than 2 microsievert in 1998.

RESUME

Les chiffres de radioactivité dans l'environnement 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 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 déchets radioactifs
- 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 1998, et comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé dans son ensemble.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 1998

		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 décomposition radon	env. 1,4
	par séjour à l'extérieur (5 h/jour)	env. 0,2
	par séjour à l'intérieur des maisons (19 h/jour)	env. 1,2
1.4	due aux substances radioactives naturelles ingérées	env. 0,3
	Chiffre total de l'exposition naturelle	env. 2,4
2.	Exposition artificielle aux rayonnements	
2.1	due aux installations nucléaires	< 0,01
2.2	due aux applications médicales de rayonnements ionisants et de substances radioactives	env. 1,5 a)
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. 1,6

a) La variation de cette valeur est environ 50% (v. Chapitre IV 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 est 2,4 mSv, particulièrement en raison du radon à l'intérieur de maisons. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné ci-dessus.

Les mesurages effectués aux cours des dernières années ont mis en évidence les considérables différences régionales de l'exposition naturelle aux rayonnements, du fait des différentes concentrations de substances radioactives naturelles dans le sol et l'air. L'utilisation de matériaux de construction, ayant une teneur élevée en substances radioactives naturelles, et la construction de bâtiments sur du terrain avec une teneur élevée d'uranium et de radium 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 filiation 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.

Application médicale

La plus grande partie à la dose effective moyenne de l'exposition aux rayonnements artificielles 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 à la dose effective moyenne est environ 1,5 mSv; ici il s'agit d'une estimation approximative.

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. Dans les années suivantes, la valeur de la dose effective moyenne devrait continuer à augmenter, malgré l'application fréquente de méthodes d'examens alternatives (ultrason, endoscopie, tomographie à résonance magnétique) d'une part, et des mesures assurance-qualité et contrôle-qualité en diagnostique aux rayons X et de la médecine nucléaire d'autre part. Ceci résulte de l'enquête qui indique une augmentation des fréquences d'examens, surtout en ce qui concerne les examens à hautes doses de scanographie et angiographie, y compris la radiologie d'intervention, c.à.d. thérapeutique. A partir de 1991, des enquêtes pour actualiser les dates sur le débit de doses, comprenant désormais ceux des nouveaux pays de la République fédérale, sont faites continuellement à l'Institut de Radiohygiène.

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

En médecine nucléaire diagnostique, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. L'utilisation des anticorps monoclonaux marqués par radionuclides devient plus important, surtout dans le cadre de la diagnostique de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que

dans la thérapie des tumeurs. En diagnostic clinique c'est la tomographie à émission de positrons (PET), qui acquiert une plus grande importance dans les procédures 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. 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 1997. En 1998, 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. 15 - 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 aux rayonnements pour les personnes surveillés aux dosimètres individuels (environ 330.000) a été environ 0,19 mSv en 1998. La contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne de la population était donc inférieure à 0,01 mSv, également en 1998.

Essais d'explosions nucléaires

En 1998, six essais d'explosions nucléaires souterrains ont été effectués de Pakistan et cinq des Indes, au total onze essais. 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 1998, on peut estimer la contribution à la dose effective moyenne de la population de la R.F.A. des radionuclides émis à cette époque à moins de 0,01 mSv par personne.

Déchets radioactifs

Sur ordre du Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sécurité nucléaire (BMU), l'Office fédéral de la Radioprotection (BfS) fait une enquête annuelle des déchets solides et radioactifs en R.F.A. Cette enquête révèle l'état de déchets solides, de déchets primaires et de déchets de faible activité, ainsi que la production et la quantité de déchets à activité élevée.

Le 31 décembre 1998, l'état de déchets radioactives capables au stockage (avec développement à la chaleur négligeable) était 60.895 m³ (déchets non développant de la chaleur) ainsi que 1.428 m³ (déchets exothermiques). En 1998, 6.533 m³ de déchets conditionnés avec développement à la chaleur négligeable ont été stockés au dépôt final de déchets radioactifs (ERAM).

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 1998, 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 1998, 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 1998, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 2 microsievert.

Teil I

Umweltradioaktivität

Bearbeitet von den Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität

EINLEITUNG

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, weshalb 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 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 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. 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 vom 19. Dezember 1986 ist es, "zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und im Falle von Ereignissen mit radiologischen Auswirkungen die radioaktive Kontamination in der Umwelt und die Strahlenexposition des Menschen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten."

Die §§ 2 und 3 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes grenzen die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Dem Bund ist gemäß § 2 die großräumige Überwachung der Medien Luft und Wasser sowie die Ermittlung der 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 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 Routine-messprogramms tritt. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden Radioaktivitätsmessungen 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

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

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

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

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 Physik, Kiel	Milch, Milchprodukte, Futtermittel, Boden, Pflanzen und Düngemittel Einzellebensmittel, Gesamt- und Babynahrung
Bundesamt für Strahlenschutz Institut für Angewandten 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
Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg	Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölkerung <i>Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe</i>
Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg	γ -Ortsdosisleistung Spurenanalyse Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag
Institut für Angewandten Strahlenschutz, Außenstelle Neuherberg	Abluftüberwachung kerntechnischer Anlagen
Institut für Angewandten Strahlenschutz, Berlin	Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen

1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Angewandten Strahlenschutz, Berlin und Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt

Natürlich radioaktive Stoffe 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 kontinuierlich durch kosmische Strahlung erzeugt werden.

Die Radionuklide der ersten Gruppe wie die Ausgangsradiationuklide der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) haben 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.

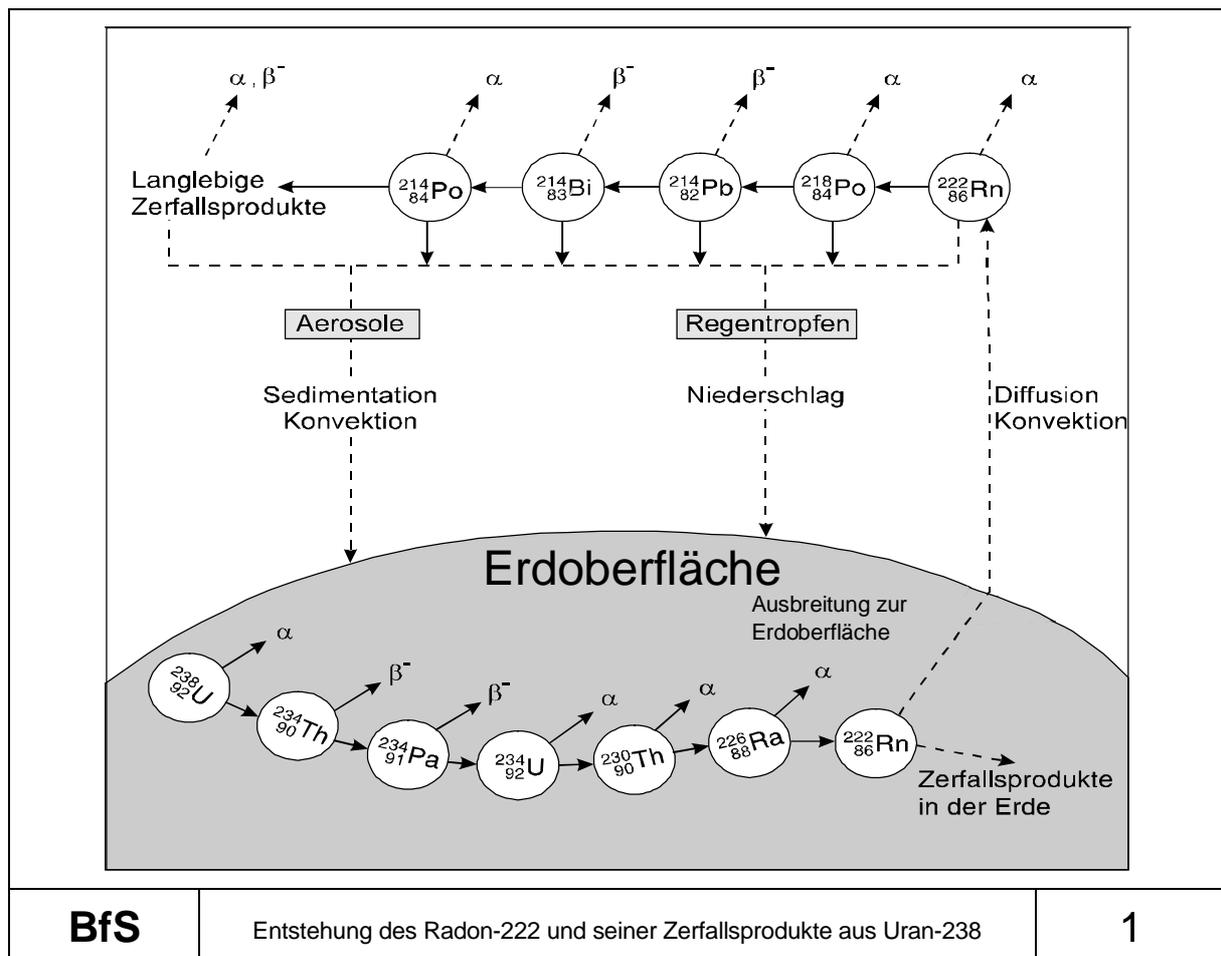
Zur dritten Gruppe gehören Radionuklide, die ständig durch die primäre kosmische Strahlung in der hohen Atmosphäre erzeugt werden, wie z. B. **Tritium** (HWZ 12,3 Jahre), **Beryllium-7** (HWZ 53,3 Tage), **Kohlenstoff-14** (HWZ 5 730 Jahre) und **Natrium-22** (HWZ 2,6 Jahre).

Überall dort, wo Uran und Thorium im Erdboden vorhanden sind, entstehen als radioaktives Zerfallsprodukt Isotope des Edelgases Radon, die besonders mobil sind.

Aus U-238 entsteht über das **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).

Aufgrund 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

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. In kieselensäurereichen Magmagessteinen ist die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher als in Sedimentgesteinen. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z.B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide bei der Bodenbildung gestört werden.

Die Tabelle 1 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität für einige Bodenarten.

In Tabelle 2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Bergbauregionen der neuen Bundesländer Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und den alten Bundesländern gegenübergestellt. Aufgrund des Urangeltes in den Gesteinen und Böden findet man in den Bergbauregionen zwar eine erhöhte mittlere Konzentration an Ra-226, dennoch liegen die Einzelmessungen im Streubereich der Messergebnisse aus den alten Bundesländern.

Tabelle 1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten
Messwerte in Bq/kg Trockensubstanz

Bodenart	Kalium-40	Thorium-232	Uran-238
Fahlerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

Tabelle 2 Spezifische Aktivität von Radium-226 in Böden
Messwerte in Bq/kg Trockensubstanz

Gebiet	Bereich
alte Bundesländer	10 - 200
Mecklenburg-Vorpommern	8 - 12
Brandenburg	9 - 15
Sachsen-Anhalt	17 - 64
Raum Aue (Sachsen)	27 - 80
Erzgebirgisches Becken	18 - 130
Thüringer Bergbauggebiet	21 - 170

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

Im Rahmen von Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben wurden für Oberflächenwässer (einschließlich Meerwässer), insbesondere aber für Grund- und Quellwässer, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen zum Gehalt natürlicher Radionuklide vom ehemaligen Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene und vom BfS durchgeführt. Insgesamt zeigt sich, dass die Gehalte der Radionuklide der U-238- und Th-232-Zerfallsreihe in den verschiedenen Wasservorkommen sich nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. in verschiedenen Konzentrationen vorliegen. Dies ist auf eine unterschiedliche Mobilität der einzelnen Zerfallsprodukte in aquatischen Systemen zurückzuführen. Ein Überblick über Medianwerte und Wertebereiche der natürlich radioaktiven Stoffe wird für Trinkwässer in Tabelle 3 und für Grundwässer und Sedimente in Tabelle 4 gegeben.

Die angegebenen Wertebereiche beziehen sich auf das Messprogramm, höhere und niedrigere Messwerte sind bei einer Ausdehnung des Messprogramms denkbar. Die Zahl der Messungen war allerdings so groß, dass die angegebenen Messwerte als charakteristisch gelten können.

Aus den Messungen zur Rn-222-Konzentration in Trinkwässern Deutschlands (vorwiegend in Gebieten mit erhöhter natürlicher Radioaktivität) ergab sich ein Medianwert von 5,6 Bq/l, wobei etwa 10 % der Werte oberhalb 50 Bq/l und 3 % oberhalb 300 Bq/l lagen.

Für Ra-226 liegt der Medianwert der spezifischen Aktivität bei 4 mBq/l im Trinkwasser und für Pb-210 und Po-210 bei 1 Bq/l und 0,5 Bq/l. Die höchste jährliche Zufuhr natürlicher Radionuklide über das Trinkwasser (440 l pro Jahr) erfolgt durch die Aufnahme von K-40 mit 30 Bq, während U-238 und Ra-226 mit jeweils 2 Bq zur jährlichen Aufnahme beitragen.

Tabelle 3 Mittlere Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser
Messwerte in mBq/l

Nuklid	Mittlere Konzentration Medianwert	Wertebereich
Uran-238	5	0,5 - 600
Radium-226	4	0,5 - 300
Radium-226 (Mineralwasser)	25	4 - 1300
Radon-222 *)	5900	200 - 1 500 000
Blei-210	1	0,2 - 200
Polonium-210	0,5	0,1 - 100
Kalium-40	70	3 - 1 200
Kalium-40 (Mineralwasser)	660	30 - 10 000

*) Rn-222 einschließlich kurzlebiger Zerfallsprodukte

Tabelle 4 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten
Messwerte in mBq/l

Gewässer	Radionuklid	Bereich
Grundwasser	Wasserstoff-3	< 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	Wasserstoff-3	20 - 100
	Kalium-40	40 - 2000
	Uran-238	< 2 - 40
	Radium-226	< 2 - 30
	Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte	400 b)
	Blei-210	(< 400 - 2000)
	Thorium-232	2 - 70
	Radium-228	0,04 - 0,4
Meerwasser der Nord- und Ostsee a)	Wasserstoff-3	< 1 - 10
	Beryllium-7	20 - 100 c)
	Kohlenstoff-14	1,1 - 3,4
	Silizium-32	5,5 - 6,7
	Kalium-40	0,0002 - 0,0033
	Rubidium-87	11800 - 12300
	Uran-238	106
	Thorium-234	40 - 44
	Uran-234	0,6 - 6,8
	Thorium-230	47
	Radium-226	0,0025
	Blei-210	0,8 - 8
	Polonium-210	0,4 - 2
	Thorium-232	0,6 - 1,9
	Radium-228	0,0004 - 0,029
	Thorium-228	0,8 - 8
Uran-235	0,004 - 0,3	
	1,9	

Tabelle 4 Fortsetzung

Sediment (mBq/g) 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.

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 Promille. Im Salz des Meeres sind auch natürliche Radionuklide enthalten, deren Konzentration zum Teil proportional zum Salzgehalt in den Küstengewässern abnimmt. Zusätzlich können einige Nuklide durch geochemische Prozesse aus der Wassersäule angereichert werden.

Unter den natürlichen Radionukliden sind vor allen Dingen K-40, **Rubidium-87** sowie die Zerfallsreihen aus U-238, U-235 und Th-232 zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche U-238-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide H-3 und Be-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.

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich neben den kosmogenen Radionukliden (C-14, H-3, Be-7, Na-22 u. a.) die für die Strahlenexposition wichtigen Nuklide der Uran und Thoriumzerfallsreihen, von denen die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Rn-222 den höchsten Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Zerfallsprodukte, 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, gibt die Tabelle 5. Die Inhalation von Pb-210 liefert von den langlebigen Zerfallsprodukten den wesentlichsten Beitrag zur Strahlenexposition. Die Lungenäquivalentdosis beträgt jedoch nur ca. 10 µSv im Jahr.

Tabelle 5 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in µBq/m³ in der bodennahen Luft

Uran-238	Uran-234	Thorium-230	Radium-226	Blei-210	Polonium-210	Thorium-232	Radium-228	Thorium-228
0,8-2,0	1,4-2,0	0,6-1,7	<0,2-6,3	28-2250	12-80	0,4-1,2	<0,3-1,5	1,0-1,2

Die Konzentrationen der beim Zerfall der Isotope des Ra-226 und des Ra-224 entstehenden Edelgasisotope Rn-222 und Rn-220 sowie von deren Zerfallsprodukten in der Luft sind abhängig vom Radonpotenzial im Gestein und Boden, von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden.

Bei lockerem Material wandert das Radon besonders leicht nach übertage. Da auch weniger lockeres Material häufig Spalten und Risse aufweist, ist in Gebieten, in denen tektonisch gestörte radiumhaltige

Gesteinsschichten relativ dicht unter die Erdoberfläche reichen, mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen. Aber auch das Wetter beeinflusst deutlich die Radonkonzentration im Freien. Messungen zeigen systematische jahreszeitliche und tägliche Veränderungen der Radonkonzentration. Im Winter, bei gefrorenem Boden, gelangt weniger Radon in die Atmosphäre, ebenso bei Regen, da dadurch die Bodenfeuchte erhöht und damit die Radonexhalation herabgesetzt wird. Während der wärmeren Jahreszeit ist die Exhalation des Radons aus dem Boden dagegen erhöht. Höhere Radonkonzentrationen treten auch bei austauscharmen Wetterlagen (Inversionswetterlagen) insbesondere in Tallagen auf.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Radonkonzentration in der bodennahen Luft in Deutschland. Für den größten Teil Deutschlands liegt die mittlere Konzentration des natürlichen Rn-222 in der Luft im Bereich von 5 - 23 Bq/m³. Bei Orten mit ungünstiger atmosphärischer Verdünnung und, beeinflusst durch Freisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften, können begrenzt auch höhere Konzentrationen auftreten (siehe Teil II, 2.2).

Tabelle 6 Radon in der bodennahen Luft

Radionuklid	Bemerkungen	Mittlere Konzentrationen (Bq/m ³)
Radon-222	alte Bundesländer regional lokal	8 - 23 bis 150 ¹⁾
Radon-222	neue Bundesländer südliche Regionen lokal	5 - 25 bis 470 ¹⁾
Rn-220	gesamtes Bundesgebiet geschätzter Mittelwert	0,15

¹⁾ Einzelwert

Auf die natürliche Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

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 Aufnahme von 32 Bq bzw. 55 Bq (32 µSv/a bzw. 11 µSv/a) zum Dosiswert bei (UNSCEAR 1993).

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Spannweite in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln.

Tabelle 7 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln
Messwerte in Bq/kg Frischsubstanz

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

*) Die Nahrungsmittelproben entstammen überwiegend Gebieten mit überdurchschnittlichen Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe im Boden.

Die mittlere tägliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe über die Nahrung des Menschen in fester und flüssiger Form, die in der gemischten Kost eines Krankenhauses über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt die Tabelle 8. Die Werte wurden aus der Untersuchung von 21 Mischproben (eine Mischprobe besteht aus 10 einzelnen Tagesrationen) ermittelt.

Tabelle 8 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung (gemischte Kost eines Krankenhauses) Messwerte in Bq/kg Frischsubstanz

Radionuklid	Mittelwert	Bereich
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 9 zeigt den mittleren Gehalt natürlich radioaktiver Stoffe nach Ingestion und Inhalation im Menschen.

Tabelle 9 Natürliche radioaktive Stoffe im Menschen

Radionuklide	Aktivität (Bq)	Bemerkungen
Wasserstoff-3	20	Gesamtkörper
Kohlenstoff-14	4000	Gesamtkörper
Kalium-40	4400	Gesamtkörper
Rubidium-87	300	Gesamtkörper
Uran-238	1,1	Gesamtkörper
	0,4	Skelett
Radium-226	1,7	Gesamtkörper
	1,5	Skelett
Blei-210	14	Skelett
Polonium-210	12	Skelett
Thorium-232	0,2	Skelett
Thorium-228	0,4	Skelett
Radium-228	0,4	Skelett

1.6 Natürliche Strahlenexposition

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

Äußere Strahlenexposition

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

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der γ -Ortsdosisleistung im Freien 57 Nanosievert pro Stunde (nSv/h) bestimmt. Höhere γ -Ortsdosisleistungen wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven (230-440 nSv/h) und über natürlichen Böden dieser Regionen, z.B. in den Südreionen 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 Ortsdosisleistung: 80 nSv/h; Wertebereich: 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 Wohnungen 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 steigender Höhe über dem Meer 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

Aufgrund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien in einem großen Wertebereich. Die durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser verursachte mittlere effektive Dosis liegt im Bereich von 0,3 mSv/a.

Aus der K-40-Aktivität im Körper errechnet sich eine mittlere effektive Dosis pro Jahr für Erwachsene von 0,165 mSv und für Kinder von 0,185 mSv. Aus der Aufnahme der Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen und der Aufnahme der im Vergleich damit geringen Mengen kosmogener Radionuklide mit der Nahrung ergibt sich ein Beitrag zur effektiven Dosis von ca. 0,15 mSv pro Jahr.

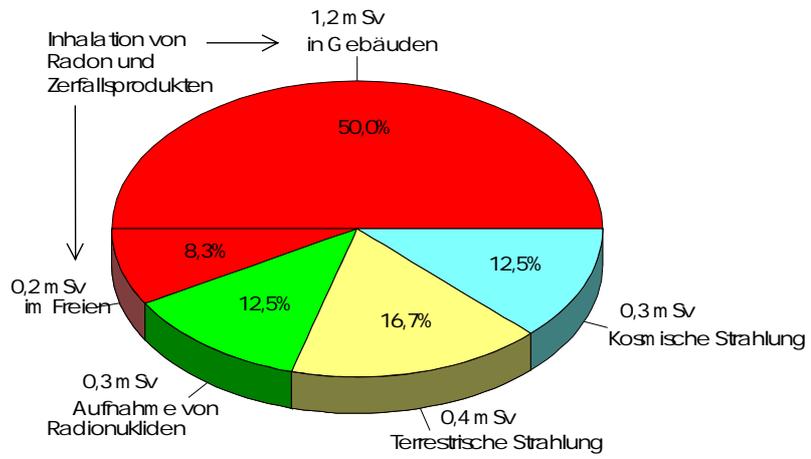
Wesentlich zur inneren Strahlenexposition trägt die Inhalation des Rn-222 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte bei. Das Radon selbst verursacht eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Den weitaus größten Beitrag (90 - 95 %) liefern seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die als Schwermetall-Atome und -Ionen an Aerosole angelagert oder in freier Form beim Einatmen im Atemtrakt und in der Lunge abgeschieden werden und dort unter Abgabe ihrer α -Energie die Strahlenexposition hervorrufen.

Rund die Hälfte der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch Radon-Zerfallsprodukte. Die mittlere Dosis beträgt etwa 1,4 mSv pro Jahr (effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,2 mSv; effektive Dosis durch Aufenthalt in Gebäuden 1,2 mSv).

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) sieht in ihrer Publikation Nr. 65 "Empfehlungen zum Schutz vor Rn-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz" eine neue Dosiskonvention vor. Danach beträgt die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte für die Bevölkerung etwa 60 % der oben angegebenen Werte. Für die Beschäftigten beträgt der Anteil der beruflichen Exposition etwa die Hälfte.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,7 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 2,1 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition aus natürlichen Quellen bei, so dass sich im Mittel eine effektive Jahresdosis von 2,4 mSv mit einem Wertebereich von ca. 1-6 mSv in der Bundesrepublik ergibt. Infolge hoher Radonkonzentrationen können in Einzelfällen auch deutlich darüber liegende Strahlenexpositionen auftreten. Die effektive Jahresdosis und der Anteil der einzelnen Komponenten der Strahlenexposition sind in der Abbildung 2 graphisch dargestellt. Die aus weltweiten Übersichten zusammengefassten Werte sind auch für deutsche Verhältnisse typisch.



BfS	Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung durch natürliche Strahlenquellen	2
------------	---	----------

2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

2.1 Radon in Gebäuden

Die Inhalation von **Radon-222** und seinen Zerfallsprodukten ist die dominierende Komponente der natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung. In Übereinstimmung mit der Publikation 65 der Internationalen Strahlenschutzkommission "Protection Against Rn-222 at Home and at Work" [1] und der Empfehlung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden [2] hat die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) "Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden" verabschiedet [3].

Für Wohnungen wird hier, bezogen auf Jahresmittelwerte der Radonkonzentration, festgestellt:

- 250 Bq/m³ gelten als oberes Ende des Normalbereiches der Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration werden bei Werten in diesem Bereich nicht als notwendig erachtet.
- Der Bereich zwischen 250 und 1 000 Bq/m³ gilt als Ermessensbereich für einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Radonexposition, die entweder vom Bewohner selbst getroffen oder nach Fachberatung durchgeführt werden können.
- Der Bereich über 1 000 Bq/m³ gilt als Sanierungsbereich. In diesem Bereich liegende Radonkonzentrationen sollen reduziert werden, auch wenn dazu aufwendigere bau- oder Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich sind. Die Sanierungen sollten in einem der Konzentration des Radons angemessenen Zeitrahmen durchgeführt werden.

Die Europäische Kommission empfiehlt, die maximale Radonkonzentration durch Maßnahmen an den Gebäuden auf Werte von 200 Bq/m³ für Neubauten zu begrenzen und langfristig für Altbauten auf Werte unter 400 Bq/m³ zu reduzieren.

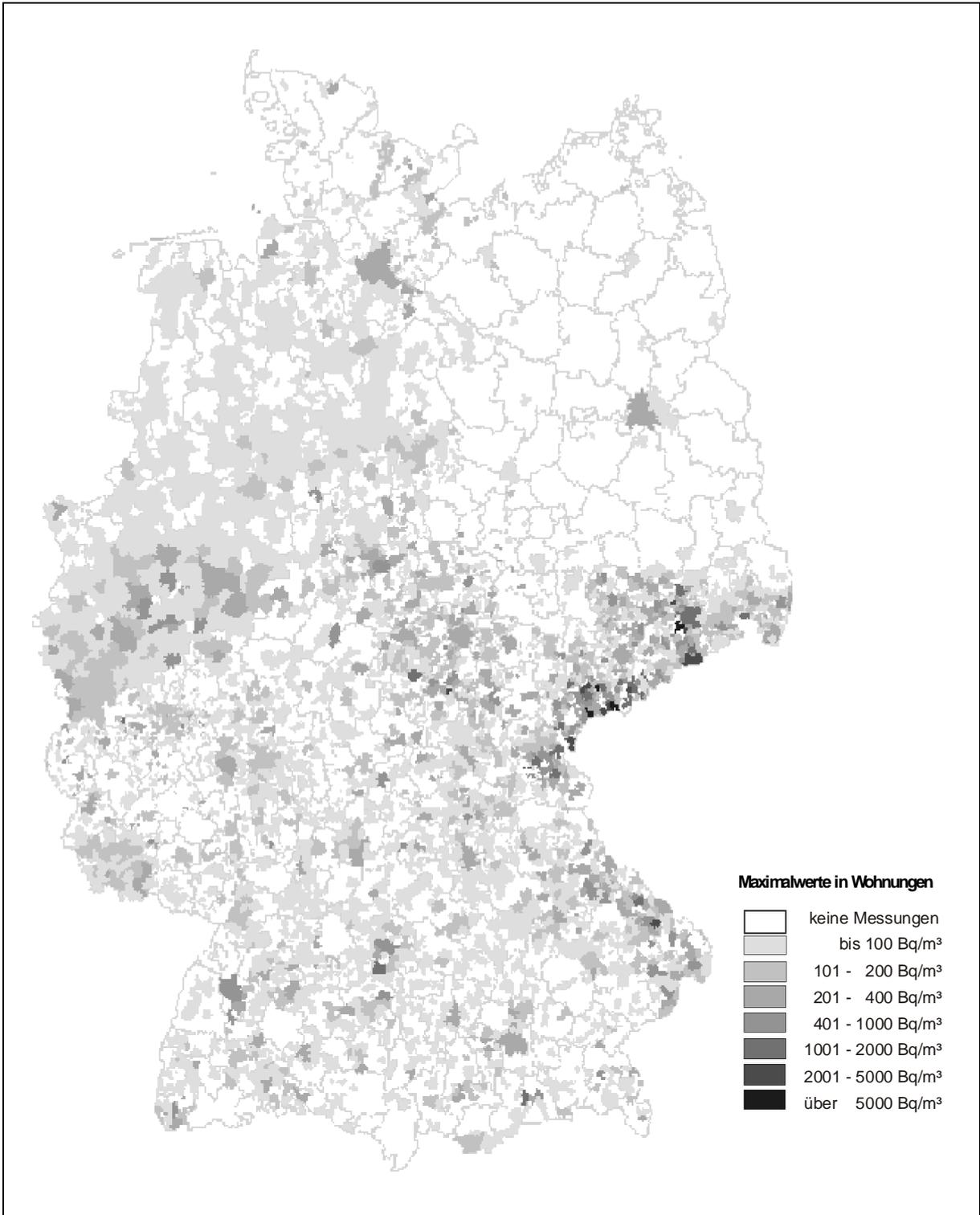
Es zeigte sich, dass die Konzentration des Radons in Gebäuden wesentlich durch das Radonpotenzial im Gebäudeuntergrund und die Bauweise bestimmt wird. Demzufolge kann die Radonkonzentration in Häusern sowohl weit- als auch kleinräumig große Unterschiede aufweisen. Abbildung 1 zeigt die regionale Verteilung der bei Messungen der Radonkonzentration über mehrere Monate bis zu einem Jahr ermittelten Maximalwerte.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes sind solche Gebiete von besonderem Interesse, in denen mit größerer Wahrscheinlichkeit als landesweit typisch erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern vorkommen. Die ICRP empfiehlt deshalb, diese Regionen zu identifizieren, um damit im Sinne der Strahlenschutzvorsorge Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor erhöhten Expositionen durch Radon/Radonzerfallsprodukte in Gebäuden auf Schwerpunkte zu konzentrieren.

In Übereinstimmung mit der ICRP-Empfehlung empfiehlt die SSK: "... in der Bundesrepublik Deutschland solche Gebiete unter Beachtung sowohl der geologischen Gegebenheiten als auch der Ergebnisse von Radon-Messprogrammen in bestehenden Gebäuden schrittweise im einzelnen festzulegen".

Ein erhöhtes Radonpotenzial im Baugrund ist vor allem geologisch bedingt und kann durch menschliche Tätigkeiten, z.B. Bergbau und bergbauliche Hinterlassenschaften, verstärkt werden.

Baumaterialien und andere Quellen des Radons (z.B. in Wasser gelöstes Radon) sind in Deutschland nur selten die Ursache für erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern.

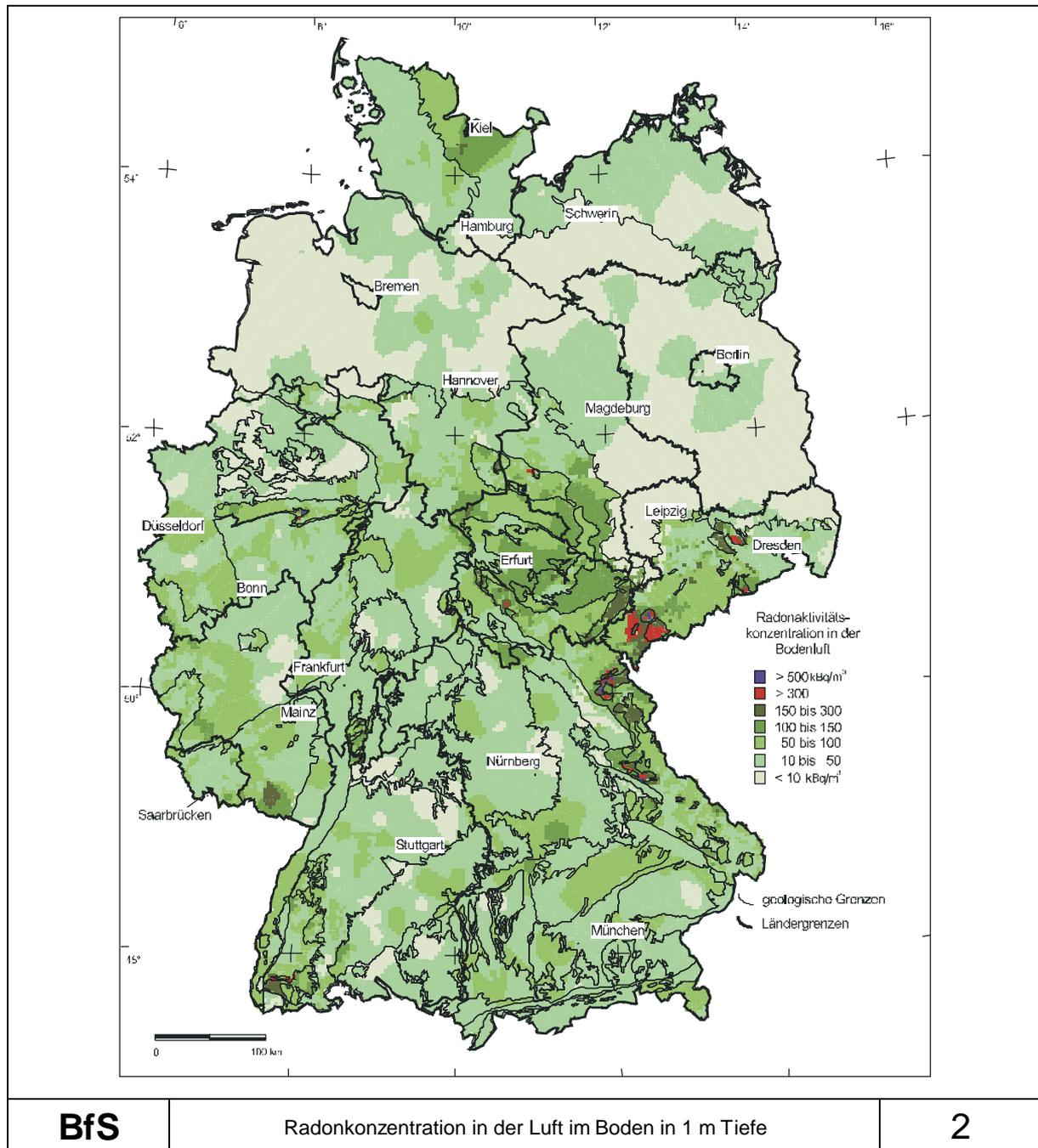


BfS	Messungen der Radonkonzentration in Wohnetagen über mehrere Monate bis zu einem Jahr	1
------------	--	----------

Untersuchungen und Ergebnisse

Untersuchungen zur Identifikation von Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial im Untergrund waren wie in den Vorjahren auch 1998 ein Schwerpunkt der Arbeiten.

Im Rahmen eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens wurde die regionale Bewertung des Einflusses der geologischen Situation auf die Konzentration des Radons in Gebäuden fortgesetzt. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gibt Abbildung 2 eine Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe [4].



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

- Es gibt in Deutschland große Gebiete, in denen bei der heute üblichen Bauweise keine Überschreitungen des normalen Bereiches der Radonkonzentration in Wohnräumen zu erwarten sind.
- Erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern, die bis einige Tausend Bq/m³ betragen können, treten vor allem in Gebieten auf, wo kieselensäurereiche Magmatite im Baugrund anstehen.
- Bergbauliche Hinterlassenschaften, insbesondere gebäudenah verlaufende bergmännische Auffahrungen, können zu extrem hohen Radonkonzentrationen in Häusern, bis über 100 000 Bq/m³ führen. Eine diesbezügliche Bewertung der deutschen Bergbaugebiete ist deshalb von besonderem Interesse.

Im Rahmen des Umwelt-Forschungsplanes wurde 1998 mit systematischen Untersuchungen des Zusammenhanges zwischen der Radonkonzentration im Boden und in Gebäuden begonnen. Von den Messungen werden Informationen über den von baulichen Gegebenheiten abhängigen Transfer des Radons aus dem Untergrund in die Gebäude erwartet.

Dem Forschungsprojekt vorangegangene Untersuchungen im Fichtelgebirge haben gezeigt, dass in jüngeren Gebäuden der Medianwert der Radonkonzentration deutlich unter dem in älteren Gebäuden liegt und die Variationsbreite der Messwerte in neuen Häusern vergleichsweise schmal ist. Dies ist allein eine Folge der sich verändernden Bauweise, insbesondere der zunehmenden Dichtheit des Baukörpers im erdberührten Bereich.

Die Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung aller im BfS vorliegenden Ergebnisse von Radonmessungen in 3990 Kellern und 33825 Wohnräumen in Abhängigkeit vom Baualter der Gebäude.

Tabelle 1 Prozentuale Anteile der Messwerte in verschiedenen Bereichen der Radonkonzentration

Baujahr	Radonkonzentration in Bq/m ³											
	Bis 50		51 – 100		101 – 200		201 – 400		401 – 1000		Über 1000	
	K	W	K	W	K	W	K	W	K	W	K	W
vor 1900	32,9	41,8	22,1	30,5	20,2	16,2	11,7	7,0	8,9	2,8	4,2	1,7
1901 – 1948	39,0	65,7	22,2	20,6	19,4	8,1	12,4	3,4	5,8	1,6	1,2	0,6
1949 – 1975	52,1	71,3	29,1	23,3	12,1	4,2	4,3	0,9	1,9	0,3	0,5	0,0
nach 1975	35,4	70,5	38,3	22,9	14,9	4,8	7,0	1,3	3,4	0,4	0,9	0,1

K: Räume im Kellergeschoss

W: Räume oberhalb des Kellergeschosses

Literatur

- [1] The International Commission on Radiological Protection: "Protection Against Radon-222 at Home and at Work", ICRP-Publication 65, First edition 1994
- [2] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. 90/143/Euratom. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L80/26 vom 27.03.90
- [3] Strahlenschutzkommission: "Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden"
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 124. Sitzung am 21./22. April 1994, Bundesanzeiger Nr. 155 S. 8766
- [4] Kemski, J.; Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: St.Sch. 4062 "Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotenzials" Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben StSch-4106

2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 20 Jahren in Deutschland Untersuchungen über die Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien, Industrieprodukten und industriellen Reststoffen durchgeführt.

In Deutschland werden die Grundsätze vertreten, dass in erster Linie die anfallende Menge industrieller Abfälle minimiert werden soll und in zweiter Linie ihre stoffliche Verwertbarkeit oder der Einsatz zur Energiegewinnung zu prüfen ist [1].

Durch die Zusammenarbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik mit dem Bundesamt für Strahlenschutz bei der Erteilung von Zulassungen im Sinne des § 21 der Musterbauordnung [2] werden für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung die Belange des Strahlenschutzes berücksichtigt. Ziel ist es dabei, eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung gegenüber der durch Verwendung konventioneller Baustoffe zu vermeiden.

In den Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaften darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es auch die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt [3].

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

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

Tabelle 1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten (Bq/kg Trockenmasse)

	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert	(Bereich)	Mittelwert	(Bereich)	Mittelwert	(Bereich)
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
Granodiorit	56	(40 - 73)	44	(37 - 104)	850	(380 - 990)
Syenit	30		31		670	
Dolerit	20	(10 - 29)	30	(8 - 44)	290	(22 - 380)
Gneis	75	(50 - 157)	43	(22 - 50)	900	(830 - 1500)
Diabas	16	(10 - 25)	8	(4 - 12)	170	(100 - 210)
Basalt	26	(6 - 36)	29	(9 - 37)	270	(190 - 380)
Granulit	10	(4 - 16)	6	(2 - 11)	360	(9 - 730)
Grauwacke	41	(26 - 51)	35	(13 - 46)	760	(700 - 780)
Phonolit	56		104		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyr	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)

	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Hornblendeschiefer	13		14		380	
Frucht-/Phycodenschiefer	38	(34 - 45)	59	(56 - 73)	780	(760 - 930)
Oolit	19		31		580	
Augit	65		51		970	
Kalkstein/Marmor	24	(4 - 41)	5	(2 - 20)	90	(< 40 - 240)
Travertin	4		19		20	
Sandstein, Quarzit	20	(13 - 70)	25	(15 - 70)	500	(< 40 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(< 20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(< 20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(< 20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämmkreide	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1100	(1000- 1200)	300	(230 - 340)	330	
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	

	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
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 (Ost- deutschland)	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)
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)	120000		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)

Literatur

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz) vom 27. September 1994, BGBl. I S. 2705
- [2] Böckenförde, D.: "Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland", 4. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1994
- [3] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz), Bundesgesetzblatt Jahrgang 1992, Teil I Nr. 39 vom 14.08.92

2.3 Terrestrische γ -Ortsdosisleistung in Gebäuden

Die Quellen der terrestrischen Strahlenexposition in Gebäuden sind vor allem das in den Umbaumaterialien der Räume enthaltene **Kalium-40** und die γ -strahlenden Radionuklide aus den Zerfallsreihen des **Uran-238** und des **Thorium-232**.

Die von diesen Materialien ausgehende Strahlenexposition in Häusern ist auf Grund der Raumgeometrien ($> 2\pi$) höher als sie bei gleichen Radionuklidkonzentrationen im Boden beim Aufenthalt im Freien wäre. Dieser Unterschied beträgt in Deutschland im Durchschnitt ca. 30 %. In Fertig- und Holzhäusern ist die γ -Ortsdosisleistung (ODL) gewöhnlich niedriger als in der Umgebung dieser Gebäude.

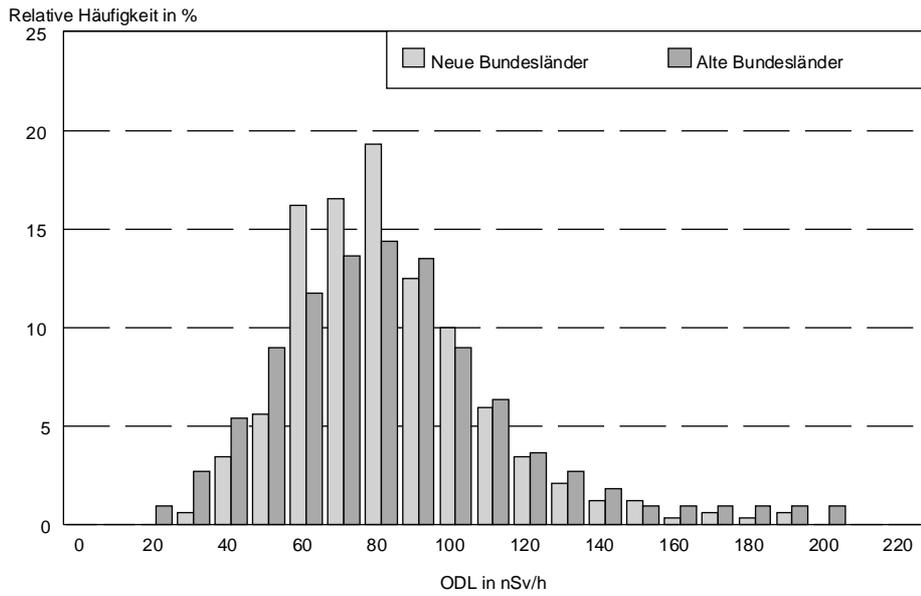
Aufgrund der in Deutschland meist dicken, aus mineralischen Baustoffen bestehenden Außenmauern der Häuser ist der Anteil der von der Hausumgebung in die Gebäude eindringenden terrestrischen Strahlung meist vernachlässigbar gering.

Der Mittelwert der terrestrischen ODL in Gebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h [1]. Abbildungen 1 und 2 zeigen die Verteilung der ODL in Wohnräumen und in Häusern in Abhängigkeit vom Baumaterial der Außenwände [2,3].

Überdurchschnittliche terrestrische Strahlenexpositionen in Häusern treten besonders in Gebieten auf, in denen zu Bauzwecken geeignete Materialien billig verfügbar waren, die im Vergleich zu den in Deutschland üblichen konventionellen Baustoffen höhere Konzentrationen natürlicher Radionuklide aufwiesen. Dies sind insbesondere die Regionen des Bergbaus und der Bergbaufolgeindustrien. In Häusern aus Kupferschlackesteinen des Mansfelder Gebietes wurden bis ca. 700 nSv/h gemessen [4].

Literatur

- [1] Will, W.; Lehmann, R.: Messungen der Exposition durch Gammastrahlung in Häusern der neuen Bundesländer. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1993, S. 160 - 161, Salzgitter 1994
- [2] Lehmann, R.: Strahlenbelastung durch natürliche Radionuklide in Baumaterialien, fossilen Brennstoffen und Düngemitteln. In: Siehl, A.: Umweltradioaktivität, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin 1996
- [3] Czempiel, E.-M., Schmier, H.: Die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland, ISH 3, Juli 1981
- [4] Lehmann, R.; Czarwinski, R.: Die Strahlenexposition durch die Anwendung von Kupferschiefer zu Bauzwecken. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1991, S. 153 - 156, Salzgitter 1992

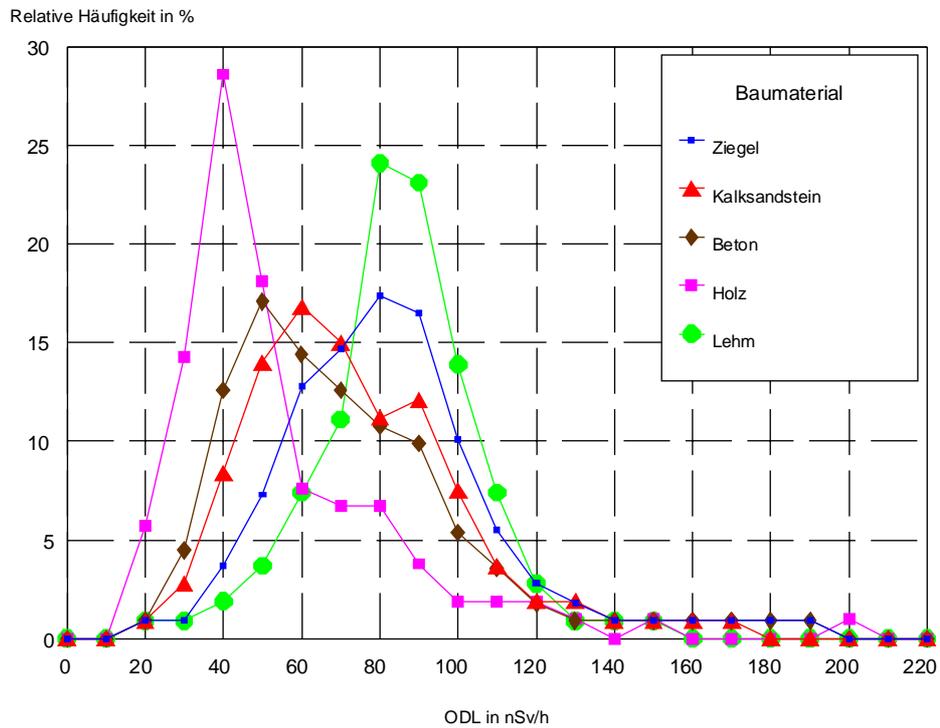


Untersuchungen 70er Jahre
 Untersuchungen 1991-1993

BfS

Häufigkeitsverteilung der terrestrischen γ -Ortsdosisleistung
 in Wohnräumen der Bundesrepublik Deutschland

1



BfS

Häufigkeit der terrestrischen γ -Ortsdosisleistung in Häusern Deutschlands
 in Abhängigkeit vom Umbauungsmaterial

2

2.4 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen

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 jedoch, 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,
- in Teilanlagen der Wasserwirtschaft,
- 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.

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

Stilllegung und Sanierungen des Uranerzbergbaus und Aufbereitung

Die berufliche Strahlenexposition bei der Urangewinnung in Sachsen und Thüringen bzw. ab 1991 der Sanierung ist im Teil III, 1.4 dargestellt. Der Uranerzbergbau ist zum 1.1.1991 eingestellt worden, und die Betriebe sind mit Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten befasst. 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 <100 Bq/kg bis 2 000 Bq/kg, Rückstände der Uranerzaufbereitung-Tailings - im Bereich von 5 000 Bq/kg bis 15 000 Bq/kg). Die mittlere effektive Dosis für die Beschäftigten lag 1998 bei 1,2 mSv pro Jahr.

Untertägige Bereiche und Anlagen außerhalb der Uranindustrie, Rohstoffgewinnung

In vielen Arbeitsbereichen des Nichturanerzbergbaus, der Bergsicherung, der Schauhöhlen und -bergwerke können überdurchschnittlich hohe Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten auftreten (siehe Teil III, 1,4). Die mittlere effektive Jahresdosis aller durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern beruflich exponierten überwachten Personen außerhalb der Sanierungsbetriebe des ehemaligen Uranerzbergbaus betrug 1998 1,4 mSv pro Jahr.

Aus einer Literaturrecherche des TÜV Bayern-Sachsen 1994 geht hervor, dass in der Vergangenheit beim untertägigen Graphitabbau bei natürlicher Bewetterung erhöhte Radonkonzentrationen insbesondere in den Sommermonaten nachgewiesen wurden, die dann durch eine Sonderbewetterung stark reduziert werden konnten.

Bei der Schwerspat-Gewinnung wurden aufgrund erhöhter Radonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Ortslage der Grube effektive Dosen für die Beschäftigten von 2 bis 27 mSv pro Jahr abgeleitet. Beim Abbau von Schiefer und Gips kommt es im Wesentlichen durch die Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten zu Jahresdosen von 6,3 und 2 mSv für die dort Beschäftigten.

Für die Beschäftigten beim Granitabbau im Fichtelgebirge, für die effektive Dosen von 1,3 bis 3 mSv pro Jahr ermittelt worden sind, rührt die Strahlenexposition von der externen γ -Strahlung aufgrund der erhöhten Konzentration von Radionukliden der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe sowie des K-40 im Gestein her.

Wasserwirtschaft

Wasser enthält in Abhängigkeit von den geologischen Formationen des Wassereinzugsgebietes Radionuklide aus der Uran-Radium- und Thoriumreihe in unterschiedlichen Konzentrationen. Bei der Wasseraufbereitung des Rohwassers in Wasserwerken kann es durch die Freisetzung von Radon aus dem Wasser z.T. zu erheblichen Strahlenexpositionen der Beschäftigten in diesen Betrieben kommen. Aufbereitungsart und Radongehalt im Wasser beeinflussen gleichermaßen die Radonaktivitätskonzentration in der Luft der Betriebsräume. Durch Lüftungstechnische Maßnahmen kann man jedoch die Strahlenexposition merklich reduzieren.

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

Erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon können aber auch in Radonbädern und sonstigen übertägigen Arbeitsplätzen, in Büros, Schulen, Geschäften und Werkstätten auftreten. Deshalb werden in Deutschland derzeit noch Untersuchungen zur Ermittlung der Anzahl von Arbeitsplätzen mit erhöhten Radonkonzentrationen in den verschiedenen Bereichen durchgeführt.

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. 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) 8,6 μSv pro Stunde. Bei maximaler Nutzung der Aufenthaltszeiten in Reiseflughöhe von 875 Stunden im Jahr beträgt die Dosis 7,5 mSv. Bei Anwendung der Qualitätsfaktoren von ICRP-Publikation 60 erhöhen sich die Werte der Umgebungs-Äquivalentdosis, je nach Annahme der Zusammensetzung des Strahlenfeldes, bis auf 8,2 mSv. Eine solche Jahresdosis wird wegen der konservativen Annahmen in der Praxis nicht erreicht, und bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind bei sonst gleichen konservativen 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. Da die Summe der Thoriumisotope Th-230 und Th-232 den Grenzwert von 500 Bq/g unterschreitet, ist die Verwendung der Elektroden für das WIG-Schweißen genehmigungsfrei.

Beim Schweißvorgang und beim Elektrodenanschliff kann es durch die Inhalation von Gasen und Stäuben, die Th-232 und seine Zerfallsprodukte enthalten, zu einer erhöhten Strahlenexposition kommen. 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, die im Merkblatt "Umgang mit thoriumhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)" der Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektronik und der Berufsgenossenschaft Chemische Industrie enthalten sind, anzuwenden. 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

Durch die Verwendung von natürlichem Thorium ergeben sich bei der Herstellung, der Verteilung und beim Umgang mit Glühstrümpfen und Glühkörpern für Gaslampen externe und interne Strahlenexpositionen. Für die externe Strahlenexposition von Lager- und Transportarbeitern wurde eine effektive Dosis bis zu 10 mSv pro Jahr errechnet. Bei den Beschäftigten des Reparatur- und Wartungsdienstes von Gasleuchten ist eine inhalative Aufnahme des Thoriums 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. 3034 Bq/kg), für Radium-226 160-520 Bq/kg (Triplesuperphosphat max. 1150 Bq/kg) und für K-40 30-6160 Bq/kg. Bei der Handhabung, der Lagerung und dem Umgang mit mineralischen Phosphatdüngemitteln, z.B. beim Ausbringen in der Landwirtschaft, kann es deshalb zu einer erhöhten beruflichen Strahlenexposition kommen. Messungen des TÜV Bayern 1993 ergaben für Lagerarbeiter interne und externe Strahlenexpositionen von 2,25 und 0,05 mSv pro Jahr und für das Ausbringen der Düngemittel in der Landwirtschaft für die interne und externe Exposition maximal 1,04 und 0,02 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 anfallende "taube" Gestein (Haldenmaterial) weist eine mittlere spezifische Aktivität von etwa 700 Bq Ra-226 pro kg (Bereich < 100 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, Gebäudeunterfüllung und 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.

Der Bergbau von Erzen (Silber, Kupfer, Kobalt u.a.) mit Uranparagenese hat im sächsischen Erzgebirge seit dem frühen Mittelalter Abraum mit sehr unterschiedlicher Radioaktivität hervorgebracht, der in Siedlungsnähe abgelagert, z.T. überbaut oder als Baumaterial benutzt wurde. Dies hat in Einzelfällen teilweise zu hohen Radonkonzentrationen in Gebäuden geführt. Diese 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 im Mittel 700 Bq Ra-226 pro kg. Je nach Schlackenanteil wurden im Freien wie in Häusern, bei denen Schlackesteine zum Bau verwendet wurden, 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 pro Jahr, maximal bis zu 3,2 mSv pro Jahr. Die Radonkonzentration in diesen Räumen ist aufgrund der geringen Exhalationsrate der Schlacke nicht

erhöht, so dass sich dadurch 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. Bei den bestehenden Häusern, bei denen Kupferschlacken verwendet wurden, wird aber kein Handlungsbedarf gesehen.

Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung

Kohlekraftwerke und Industrie verbrauchen den größten Teil der geförderten Kohle. 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 Trockenkohle (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 Trockensubstanz (Bereich 4,7-145 Bq/kg) ermittelt. Ca. 22 % der in Deutschland abgesetzten Kohle wird im Wesentlichen aus Südafrika, USA und Australien mit einem bis zu 10fach höherem Uran- und Thoriumgehalt importiert. In der ostdeutschen Braunkohle wurden 1-13 Bq Ra-226 pro kg Trockensubstanz 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 ausgeworfen werden. Die Exposition durch Inhalation, Ingestion und externe Bestrahlung liegt im μSv -Bereich.

Besonders hohe spezifische Aktivitätswerte wiesen die Rückstände des Freitaler Steinkohlebergbaus auf. In Schlacken und Aschen wurden 400 bis 4000 Bq/kg Ra-226 gemessen. Durch die Verwendung für Baugründungen, Verfüllungen und als Bauzuschlagstoffe treten erhöhte Strahlenexpositionen beim Aufenthalt auf Flächen und in Gebäuden auf. Sie werden im Zusammenhang zu dem zu Bauzwecken verwendeten Haldenmaterial (siehe oben) untersucht und gegebenenfalls reduziert.

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.

Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

Eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung aus natürlichen Strahlenquellen, die im Wesentlichen durch natürliche Radionuklide, wie Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen, und durch Hinterlassenschaften des Bergbaus hervorgerufen wird, kann nur durch nachträgliche Sanierungsmaßnahmen reduziert werden. Die SSK hat in ihren Empfehlungen 1994 „Strahlengrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“ den Bereich über 1000 Bq/m³ als Sanierungsbereich ausgewiesen (siehe Teil I, 2.1).

Vorbeugend kann eine Erhöhung der Strahlenexposition bei Neubauten in Gebieten mit erhöhtem Radonvorkommen durch geeignete Standortwahl und radongeschützte Bauweise vermieden werden.

Für die Bevölkerung konnte nachgewiesen werden, dass durch natürliche Radioaktivität im Trinkwasser keine nennenswerten Expositionen (nur einige μSv) zustande kommen. Erst bei sehr selten auftretenden Radonkonzentrationen im Trinkwasser im Bereich von 500 Bq/l könnte sich über den Ingestionspfad eine effektive Jahresdosis von ca. 0,25 mSv ergeben.

Bei Besuchen von Höhlen- und Schaubergwerken sowie bei Kuraufenthalten in Radon-Heilbädern und Heilstollen wird wegen der wesentlich kürzeren Expositionszeiten die Bevölkerung gegenüber den Beschäftigten von einer Strahlenschutzkontrolle ausgenommen.

Bei Flügen in großen Höhen erhalten häufig fliegende Passagiere eine Dosis von weniger als 300 μSv pro Jahr.

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.

2.5 Bergbauliche Hinterlassenschaften

Die in der 2. Phase des Bundesprojektes "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten" verifizierten und bewerteten Daten und Informationen zu den bergbaulichen Hinterlassenschaften wurden in der für die Ergebnisdokumentation entwickelten Datenbank A.LAS.KA. (Altlastenkataster) zusammengeführt.

Der Bericht über die Ergebnisse der 2. Phase, die Datenbank und thematische Übersichtskarten wurden den für den Vollzug des Strahlenschutzes zuständigen Behörden in den Bundesländern Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt übergeben. Die Vollzugsbehörden können sich damit schnell über Lage und Art der bergbaulichen Hinterlassenschaften sowie über die Ergebnisse der Verifikation und damit über die radiologische Situation und über die Bedeutung der bergbaulichen Hinterlassenschaften informieren. Gleichzeitig waren die in dieser Projektphase gewonnenen Erkenntnisse eine wichtige Voraussetzung für den weiteren Projektlauf, da auf der Grundlage einer radiologischen Erstbewertung diejenigen Hinterlassenschaften ausgewählt wurden, für die auf Grund ihrer möglichen radiologischen Bedeutung vertiefende Untersuchungen erforderlich waren. Diese wurden in der 1993 begonnenen Phase 3 („Messprogramme“) durchgeführt.

1998 wurden diese Messprogramme in den letzten der insgesamt 34 Verdachtsflächen durchgeführt und abgeschlossen. Dabei wurde, wie bereits in früheren Messprogrammen, der Untersuchungsumfang den Besonderheiten der Untersuchungsgebiete angepasst. Ziel der Messprogramme war es, die Hinterlassenschaften zu identifizieren, für die zur Vorbereitung von Entscheidungen über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen standortspezifische Prüfungen vorgenommen werden sollten (relevante Objekte). Dabei wurden auch bereits die Punkte und Flächen identifiziert, wo standortspezifische Prüfungen vordringlich sind, da dort deutlich erhöhte Werte der γ -Ortsdosisleistung oder der Radionuklidkonzentrationen in einzelnen Umweltmedien festgestellt wurden. Die zuständigen Landesbehörden wurden über diese Ergebnisse informiert.

Als Instrumentarium zur Sammlung und Bewertung aller im Verlaufe des Projektes erhobenen Daten wurde auf der Grundlage eines geographischen Informationssystems das Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltradioaktivität (FbU) geschaffen.

Im Ergebnis der Messprogramme werden neben den relevanten Objekten von den normalen natürlichen Verhältnissen im Hinblick auf die Umweltradioaktivität abweichende Situationen in den Untersuchungsgebieten ausgewiesen. Die Kriterien für die radiologische Bewertung orientieren sich an den Empfehlungen der SSK. Es konnte festgestellt werden, dass für die überwiegende Anzahl der untersuchten Objekte weder Sanierungsmaßnahmen noch Nutzungseinschränkungen erforderlich sind. Diese Objekte wurden in die Gruppe der "radiologisch nicht relevanten Objekte" eingeordnet. Für eine Reihe von Objekten besteht kein Sanierungsbedarf, da im gegenwärtigen Zustand und bei gegenwärtiger Nutzung Strahlenexpositionen von mehr als 1 mSv pro Jahr zusätzlich zur regionalen natürlichen Exposition ausgeschlossen werden können. Diese Objekte sollten aber bei bestimmten Nutzungsänderungen einer erneuten strahlenschutzfachlichen Bewertung unterzogen werden. Bei einem - gemessen an der Gesamtzahl - geringen Anteil der Objekte können auch im gegenwärtigen Zustand zusätzliche Strahlenexpositionen von mehr als 1 mSv pro Jahr nicht ausgeschlossen werden. Für diese Objekte ist auf der Grundlage standortspezifischer Untersuchungen zu prüfen, ob Maßnahmen zur Verminderung der Strahlenexposition (Sanierung, Nutzungsbeschränkung) einzuleiten sind.

Im weitaus überwiegenden Teil der Verdachtsflächen sind keine von den normalen natürlichen Verhältnissen abweichenden Situationen erkennbar.

3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

3.1 Luft und Niederschlag

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

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

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.

Die Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind im Jahr 1998 gegenüber denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen 1998 – wie im vorangegangenen Jahr - in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

Im Zeitraum vom 1. bis 8. Juni 1998 wurde an einer großen Anzahl von Spurenmessstationen Italiens, Frankreichs, Spaniens, der Schweiz, der Tschechischen Republik, der Niederlande und Süddeutschlands eine deutliche Erhöhung der **Cäsium-137** Aktivitätskonzentration in der Luft beobachtet. Als Beispiel ist in Abbildung 1 der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 in der Luft am Probenahmeort Schauinsland (1200 m ü. NN) dargestellt. Die höchsten Wochenmittelwerte lagen im Bereich einiger mBq/m^3 und wurden in Südfrankreich und Norditalien beobachtet. Dies bestätigt auch das in Abbildung 2 dargestellte Ergebnis einer Ausbreitungsrechnung des DWD, das die zeitintegrierte Aktivitätskonzentration über 228 Stunden in der bodennahen Luft von Cs-137 unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse zeigt. Im nördlichen Teil Deutschlands wurde keine Erhöhung gegenüber dem Grundpegel von etwa $1 \mu\text{Bq/m}^3$ gemessen. Zum Vergleich: nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurden in Süddeutschland Tagesmittelwerte der Cs-137-Aktivitätskonzentration der Luft von bis zu 10Bq/m^3 Luft beobachtet. Die Quelle der Cs-137-Emission war das spanische Stahlwerk Acerinox in Algeciras. In dem Zeitraum Ende Mai und Anfang Juni wurde dort beim Recycling von Stahlschrott ein medizinisch-radiotherapeutischer Cs-137-Strahler in einem Hochofen eingeschmolzen und dabei das leichtflüchtige Cäsium freigesetzt. Die über Deutschland gemessene Cs-137-Aktivitätskonzentration war so gering, dass sich weder durch die Inhalation der Luft noch durch die Ablagerung des Cs-137 auf dem Boden eine signifikante Erhöhung der Strahlenexposition für die Bevölkerung ergab.

Von der PTB wurden in Quartalsproben Aktivitätskonzentrationen in Luft für die Alphastrahler **Plutonium-238** sowie **Plutonium-239/240** bestimmt. Diese extrem niedrigen Aktivitätskonzentrationen im Nanobecquerelbereich gehen hauptsächlich auf oberirdische Kernwaffenversuche (bis 1980) zurück. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Für Pu-239/240 erkennt man seit Jahren einen langfristigen abnehmenden Trend.

Die Messung der radioaktiven Edelgase ergab keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von **Xenon-133** lagen wie schon in den vergangenen Jahren zwischen 1 und 100mBq/m^3 , der Medianwert am Probenahmeort Freiburg betrug $2,4 \text{mBq/m}^3$ Luft (vgl. Abb. 4).

Der Grundpegel von **Krypton-85** ist im Jahr 1998 weiter angestiegen (vgl. Abb. 5); er lag für die mitteleuropäischen Stationen bei $1,27 \text{Bq/m}^3$. Der Anstieg entspricht dem globalen Trend. Dies zeigt, dass die Freisetzungsrates von Kr-85 größer ist als seine Zerfallsrate. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen können, sind auf europäische Wiederaufbereitungsanlagen (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Der höchste Wochenmittelwert im Jahr 1998 an einer deutschen Station wurde in der 26. Kalenderwoche in Perl ($49^\circ 29' \text{N}$, $6^\circ 23' \text{E}$) mit $11,3 \text{Bq/m}^3$ gemessen.

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 Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Strahlenbelastung sind vernachlässigbar.

Radioaktivitätsmessnetz des DWD

Die Ergebnisse der Einzelnuclidmessungen der Luft aus dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes werden täglich an den Rechnerverbund IMIS weitergeleitet, so dass im Sinne des Strahlenschutzvorsorgegesetzes eine kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität der Atmosphäre gewährleistet ist. Die Nachweisgrenzen liegen bei 10 mBq/m^3 .

Aus nuklidspezifischen Messungen (γ -Spektrometrie) von wöchentlich beaufschlagten Staubfiltern wurden für künstliche Radionuklide keine signifikant höheren Messwerte als die errechneten nuklidspezifischen Nachweisgrenzen zwischen 2 und $5 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ ermittelt. Die Monatswerte für die Radionuklide **Beryllium-7** und Cs-137 in der bodennahen Luft für die ausgewählten Messstellen Aachen, Berlin, München, Offenbach und Schleswig werden in Tabelle 1 aufgezeigt. Für künstliche Radionuklide werden im Wesentlichen Nachweisgrenzen festgestellt, während sich das kosmogene Be-7 mit Werten zwischen $2,5$ und $3,5 \text{ mBq/m}^3$ deutlich hervorhebt.

Als über 10 Messstationen errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen **Gesamt- β -Aktivität** der Luft resultiert für 1998 ein Wert von $<0,97 \text{ mBq/m}^3$ (Vorjahreswert 1997: $<1,06 \text{ mBq/m}^3$).

Für eine Auswahl von 8 Messstellen wurden radiochemische Untersuchungen anhand der Monatsproben zur Bestimmung von Radionukliden des Urans, Plutoniums und Strontiums durchgeführt. Es wurden dabei keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen registriert.

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 werden in Tabelle 2 zusammengefasst. Es wurden Messwerte für Cs-137 zwischen $0,5$ und 5 mBq/l ermittelt. In dieser Größenordnung liegt auch die Nachweisgrenze des Messverfahrens. Exemplarisch zeigt Abbildung 6 für die Messstationen Offenbach und Berlin Messergebnisse für Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Messwerte von ca. 1 mBq/l bzw. Nachweisgrenzen in dieser Größenordnung ermittelt, während für kosmogenes Be-7 deutlich höhere Messwerte zwischen 1 und $3,5 \text{ Bq/l}$ bestimmt wurden.

Zur Fortsetzung einer langjährigen Messreihe wurde die Aktivitätskonzentration der **Gesamt- β -Aktivität** im Niederschlag ermittelt. Danach wurde ein über 45 Mess- und Sammelstationen arithmetisch gemittelter Jahreswert von 72 mBq/l (Vorjahreswert 1997: 84 mBq/l) errechnet. Unter Berücksichtigung der Monatsniederschlagshöhen resultiert daraus ein Mittelwert für die Deposition von $59,1 \text{ Bq/m}^2$ (Vorjahreswert 1997: $49,0 \text{ Bq/m}^2$). 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 1998 in Bq/m^2 . Die stationsspezifischen Depositionen im Jahr 1998 als Jahresmittel der Monatssummen und als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigen die Abbildungen 8 und 9.

Im Labor wurden radiochemische Analysen der Niederschlagsproben von 8 Messstationen zur Bestimmung von **Strontium-90** und einzelner Alphastrahler (**Uran, Plutonium**) sowie für **Tritium** im Niederschlag durchgeführt. Hier war für 1998 kein Messwert über der Nachweisgrenze feststellbar.

Die im Rahmen der kontinuierlichen Überwachung im ODL-Messnetz 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. Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 35 nSv/h (Jahresdosis $0,3 \text{ mSv}$); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 m . Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 65 und 90 nSv/h , entsprechend einer Jahresdosis von $0,6$ bzw. $0,8 \text{ mSv}$, während in den Mittelgebirgen Werte bis zu 200 nSv/h (Jahresdosis $1,8 \text{ mSv}$) beobachtet werden (vgl. Abbildung 10, Karte der mittleren γ -Ortsdosis 1998). Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführenden Beiträge (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten mit In-situ Messfahr-

zeugen 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
(in Mikrobecquerel pro Kubikmeter, $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

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

Zeitraum	$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1992	3090	0,34	11,7	1,33	273
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
Januar	3076	0,28	7,9	0,66	299
Februar	4045	0,43	8,3	0,50	355
März	3413	0,35	6,6	0,53	200
April	3192	0,42	7,9	0,44	235
Mai	4443	0,60	14,0	1,70	340
Juni	3600	0,44	9,9	0,64	230
Juli	3125	0,41	8,6	0,31	222
August	3576	0,40	11,2	0,46	232
September	2954	0,26	7,3	0,34	334
Oktober	2533	0,22	5,5	0,38	255
November	2304	0,19	7,4	0,83	453
Dezember	2562	0,20	5,8	0,76	419

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

Zeitraum	$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1992	3858	0,4	0,6	7	580
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
Januar	3110	< 0,3	< 0,13	4,1	670
Februar	4045	0,5	< 0,10	3,1	500
März	3640	0,4	< 0,11	1,6	270
April	3670	0,5	< 0,09	1,5	250
Mai	4730	0,6	< 0,10	3,6	410
Juni	4200	0,7	< 0,11	2,9	320
Juli	4230	0,6	< 0,11	0,6	300
August	4940	0,7	< 0,11	1,0	450
September	3050	0,3	< 0,11	0,9	380
Oktober	2770	< 0,3	< 0,11	1,2	300
November	2660	< 0,2	< 0,10	2,0	440
Dezember	2900	< 0,3	< 0,11	3,0	530

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

Zeit- raum	$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
1992	2540	<10	2757	<2,7	2598	<1,5	2770	<10
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
Januar	2620	<2,4	2970	<2,7	2840	<2,0	3150	<2,1
Februar	3260	<3,2	3970	<3,4	3830	<2,1	4420	<2,0
März	3220	<3,5	3270	<2,5	3580	<1,8	3460	<1,9
April	2900	<3,4	3010	<2,5	3070	<2,2	3150	<1,5
Mai	3720	<4,2	4620	<3,6	3760	3,0	4980	<1,8
Juni	2820	<3,3	3990	<4,5	3470	<2,1	3110	<3,3
Juli	2260	<3,1	3700	<2,9	3270	<2,0	2750	<1,9
August	1870	<3,6	5000	<3,6	2960	<2,2	3350	<2,0
Sept.	2630	<5,2	3460	<2,8	3210	<2,3	2840	<2,7
Oktober	2280	<3,1	2400	<4,4	2440	<1,6	2260	<1,7
November	2230	<3,2	2540	<2,0	2320	<1,9	2280	<1,8
Dezember	1950	<2,4	2390	<2,2	2040	<1,7	1930	<1,3

- d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz - Institut für Atmosphärische Radioaktivität - ,
 Freiburg
 Probenentnahmestellen: Freiburg, Schauinsland (Werte in mBq pro m^3)

Zeitraum	mBq/m^3			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1991	1206	7	1211	5
1992	1132	5	1118	6
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
Januar	1313	10,7	1382	3
Februar	1493	4,1	1507	3
März	1398	5,2	1345	9,6
April	1632	7,0	1575	6
Mai	1533	1,7	1495	1,9
Juni	2046	5,3	2205	4,1
Juli	1754	5,9	1477	4,2
August	1567	2,8	1706	5,5
September	1611	8,4	1654	5
Oktober	1756	4,2	1770	3,8
November	1745	3,3	1750	4
Dezember	1624	3,0	1563	2,0

Tabelle 2 Deposition von Einzelnukliden mit dem Niederschlag (in Bq pro m²)

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

Zeitraum	Bq/m ²				
	I/m ²	Be-7	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1992	820,6	1790	< 1,1	10,7	170
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
Januar	34,5	45	< 0,03	0,17	4,3
Februar	15,6	23	< 0,03	0,09	5,8
März	54,7	160	< 0,03	0,28	15
April	45,0	110	< 0,04	0,19	9,6
Mai	66,9	200	< 0,04	0,94	20
Juni	97,9	210	< 0,04	0,21	11
Juli	101,0	500	< 0,04	0,26	42
August	56,3	150	< 0,04	0,18	15
September	113,2	250	< 0,03	0,12	21
Oktober	111,4	160	< 0,03	0,23	21
November	103,5	130	< 0,03	0,09	6,7
Dezember	46,3	84	< 0,04	0,09	2

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

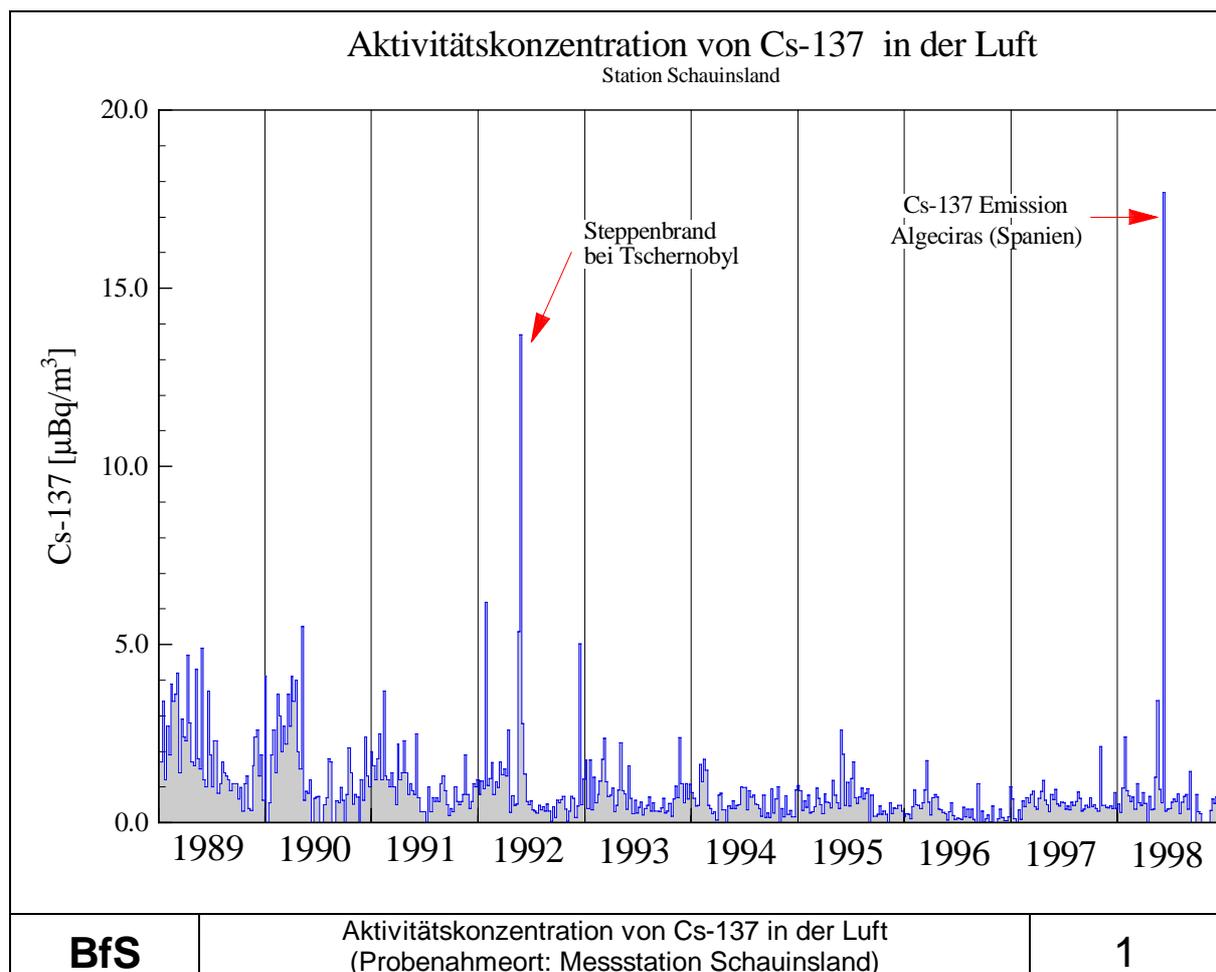
Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	I/m ²	Bq/m ²		I/m ²	Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1992	526,0	734	<0,95	591,9	899	<0,82
1993	597,0	831	<1,52	619,2	971	<0,76
1994	533,3	849	<0,61	703,6	991	<0,47
1995	607,3	1117	<0,84	925,8	1258	<0,83
1996	551,0	559	<0,42	462,9	629	<0,67
1997	436,2	580	<0,53	526,2	628	<1,25
1998	636,5	813	<0,61	623,5	766	<1,50
Januar	30,3	32	<0,04	54,4	52	<0,13
Februar	9,7	7	<0,05	11,7	19	<0,11
März	27,5	34	<0,04	59,3	65	<0,10
April	70,7	90	<0,05	30,5	61	<0,09
Mai	53,9	58	<0,06	37,4	79	<0,22
Juni	65,8	91	<0,08	76,6	90	<0,09
Juli	61	124	<0,06	61,8	117	<0,12
August	24,4	31	<0,04	67,1	58	<0,17
September	105,3	115	<0,05	35,7	34	<0,12
Oktober	126,1	148	<0,05	109,7	85	<0,09
November	42,5	71	<0,04	39,7	46	<0,10
Dezember	19,3	13	<0,04	39,6	59	<0,17

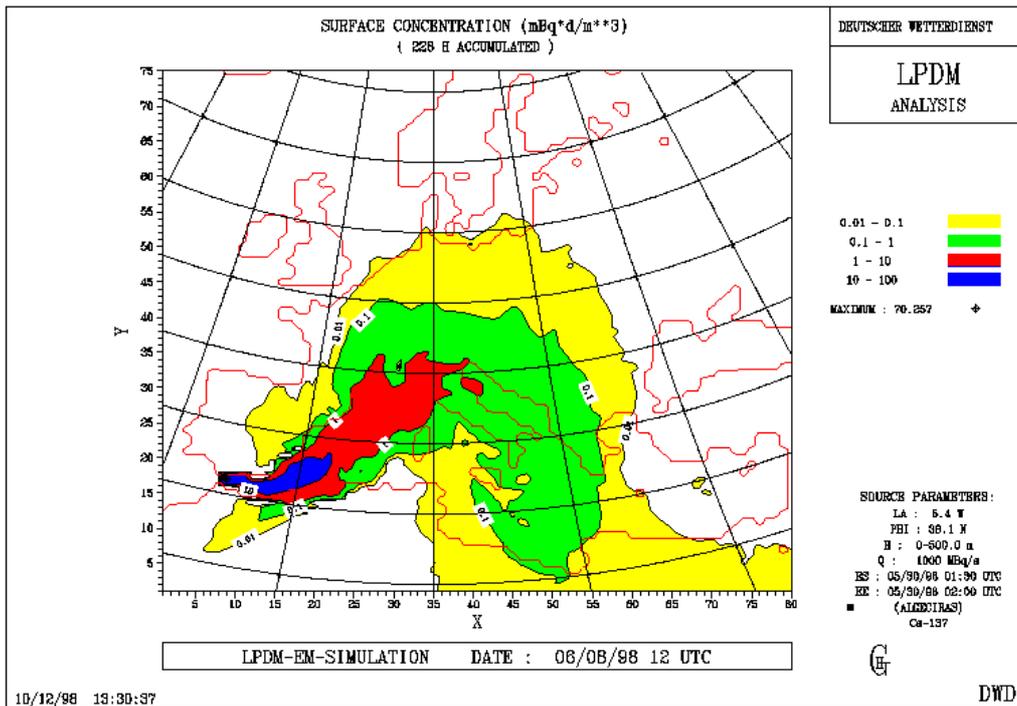
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Bq/m ²		l/m ²	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
Januar	47,1	37	<0,09	117,6	56	<0,11
Februar	3,7	14	<0,08	44	29	<0,11
März	71,1	125	<0,06	71,2	25	<0,10
April	100,7	200	<0,05	106,9	109	<0,06
Mai	33,6	69	<0,07	19,8	6	<0,11
Juni	103,3	99	<0,06	102,6	67	<0,08
Juli	48,8	71	<0,10	158,1	89	<0,10
August	58,2	83	<0,05	64,8	21	<0,12
September	153,6	210	<0,10	51,9	23	<0,11
Oktober	146,9	176	<0,10	174,1	252	<0,08
November	77,4	113	<0,09	75	64	<0,12
Dezember	48,3	54	<0,10	63,1	81	<0,05

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

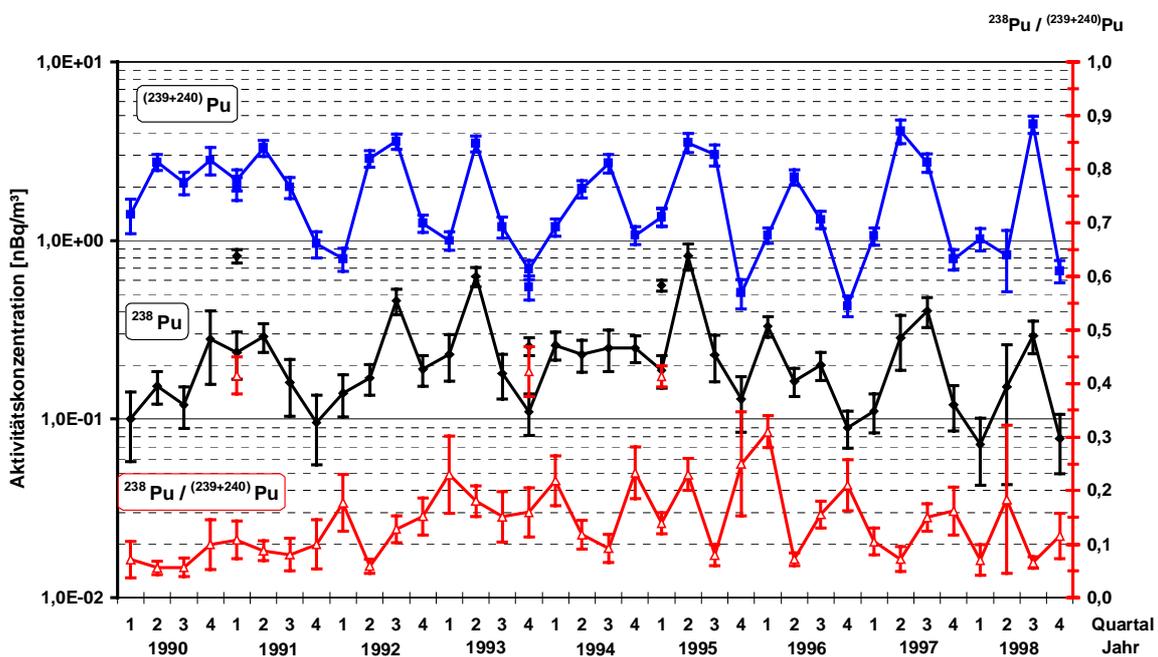




DWD

Ergebnis der Ausbreitungsrechnung des DWD für die Cs-137-Emission in Algerias
Dargestellt ist die akkumulierte Cs-137-Aktivitätskonzentration in der Luft

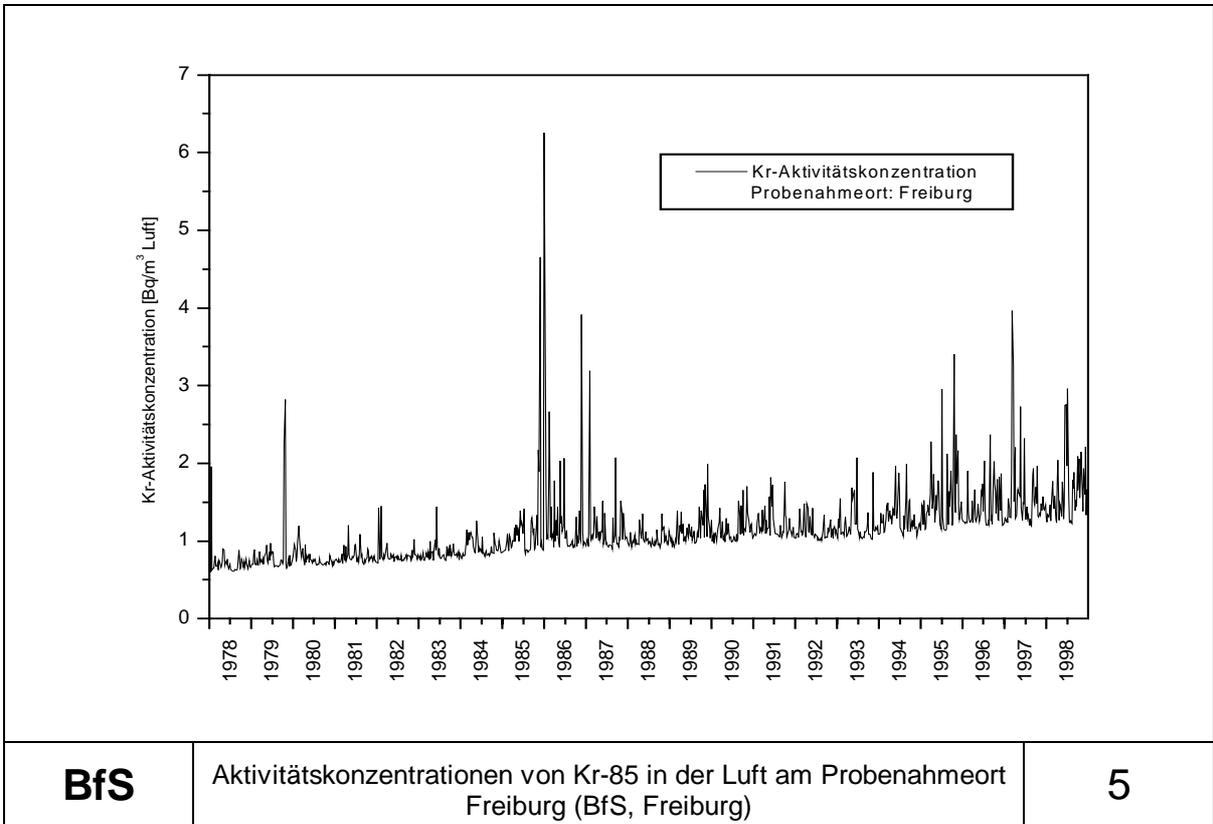
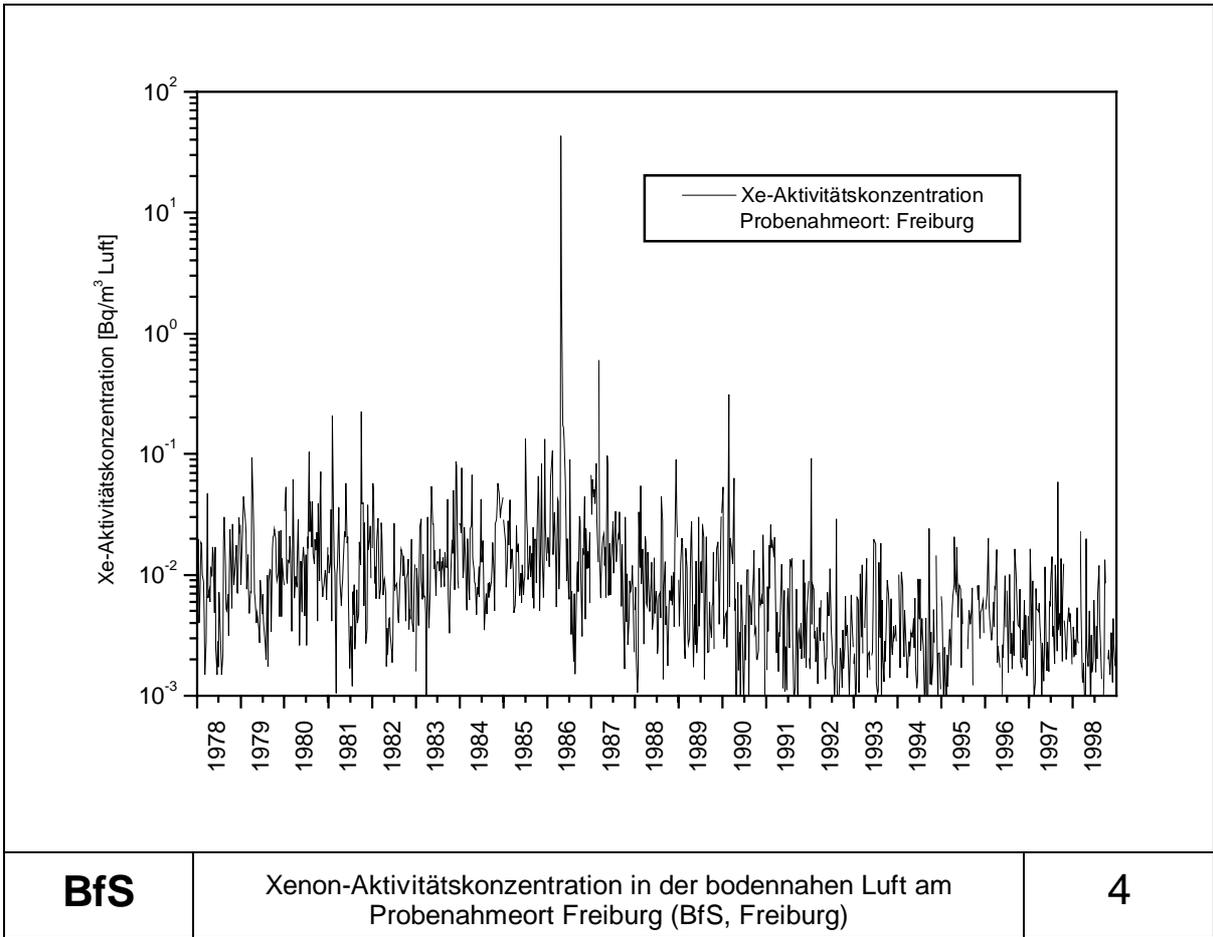
2

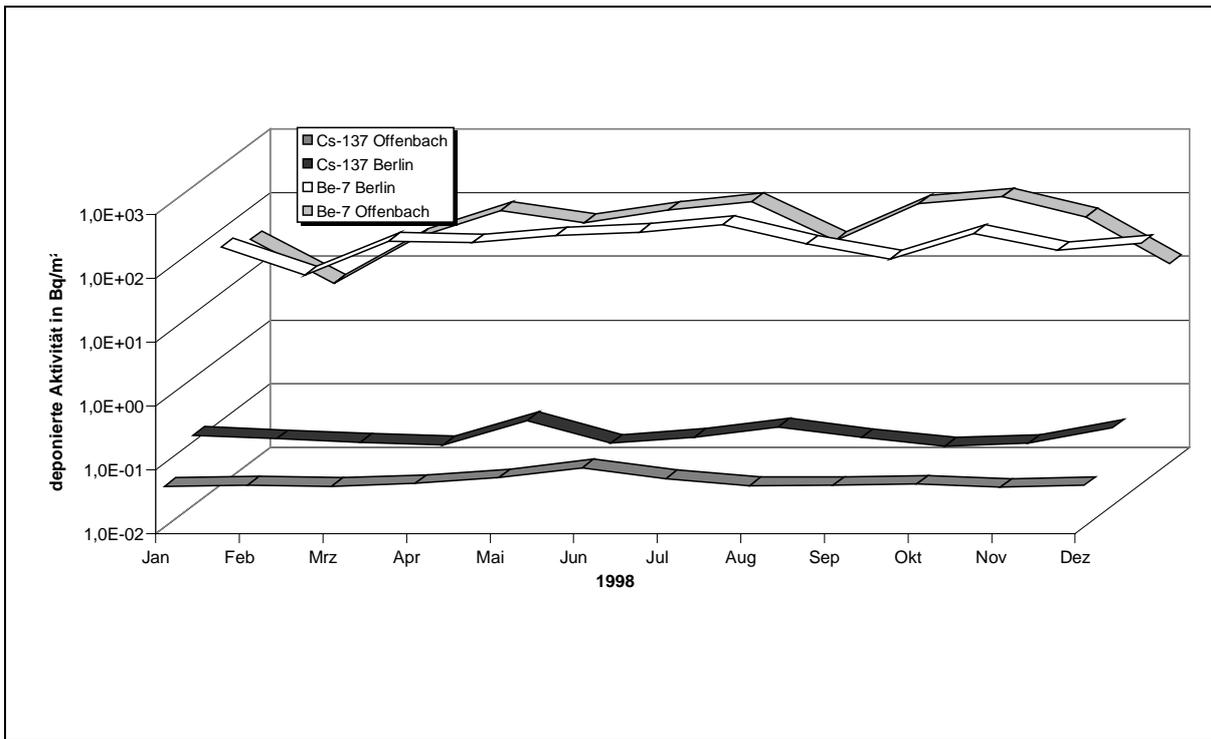


PTB

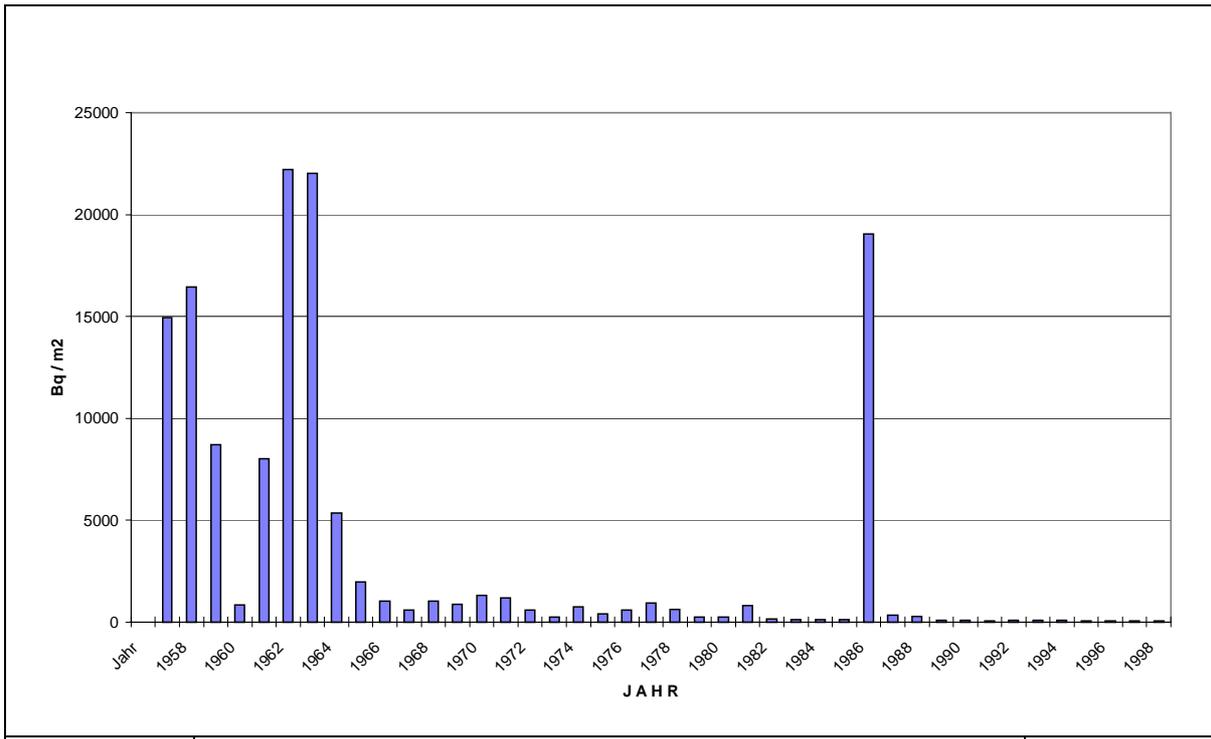
Aktivitätskonzentration der Plutoniumisotope in der bodennahen
Luft am Probeneahmeort Braunschweig (PTB, Braunschweig)

3

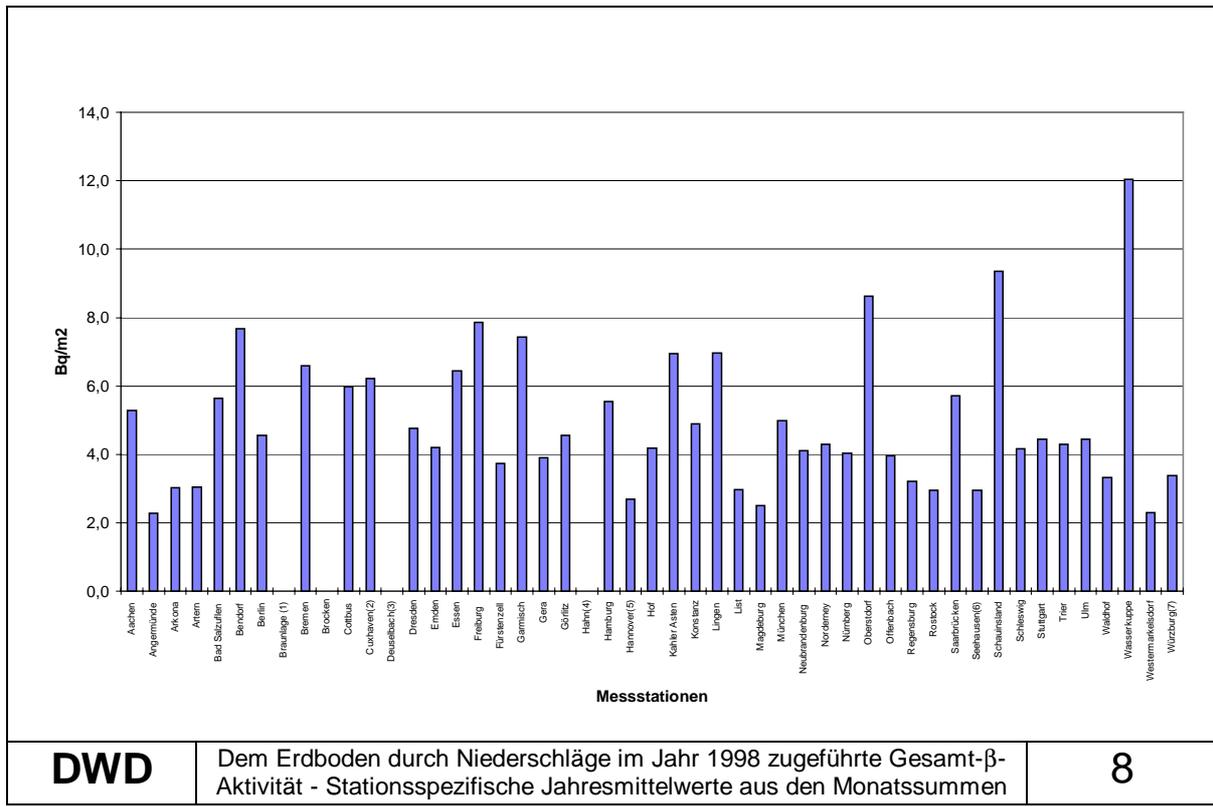




DWD	Deposition 1998 durch die Radionuklide Be-7 und Cs-137 (x) an den Messstellen Berlin und Offenbach (x: Messwerte < Nachweisgrenze)	6
------------	--	----------



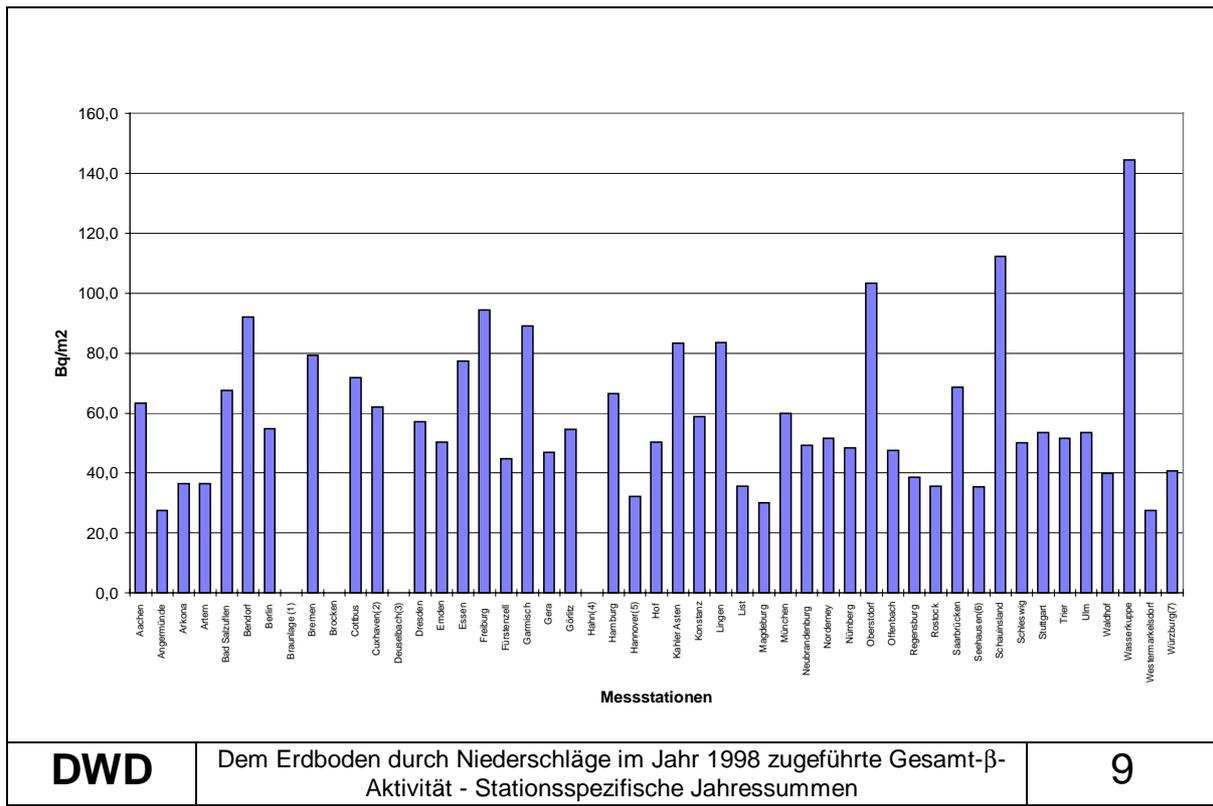
DWD	Langlebige Gesamt-β-Aktivität im Niederschlag - Jahresmittelwert der Jahressummen an den DWD-Messstationen	7
------------	--	----------



DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 1998 zugeführte Gesamt-β-Aktivität - Stationspezifische Jahresmittelwerte aus den Monatssummen

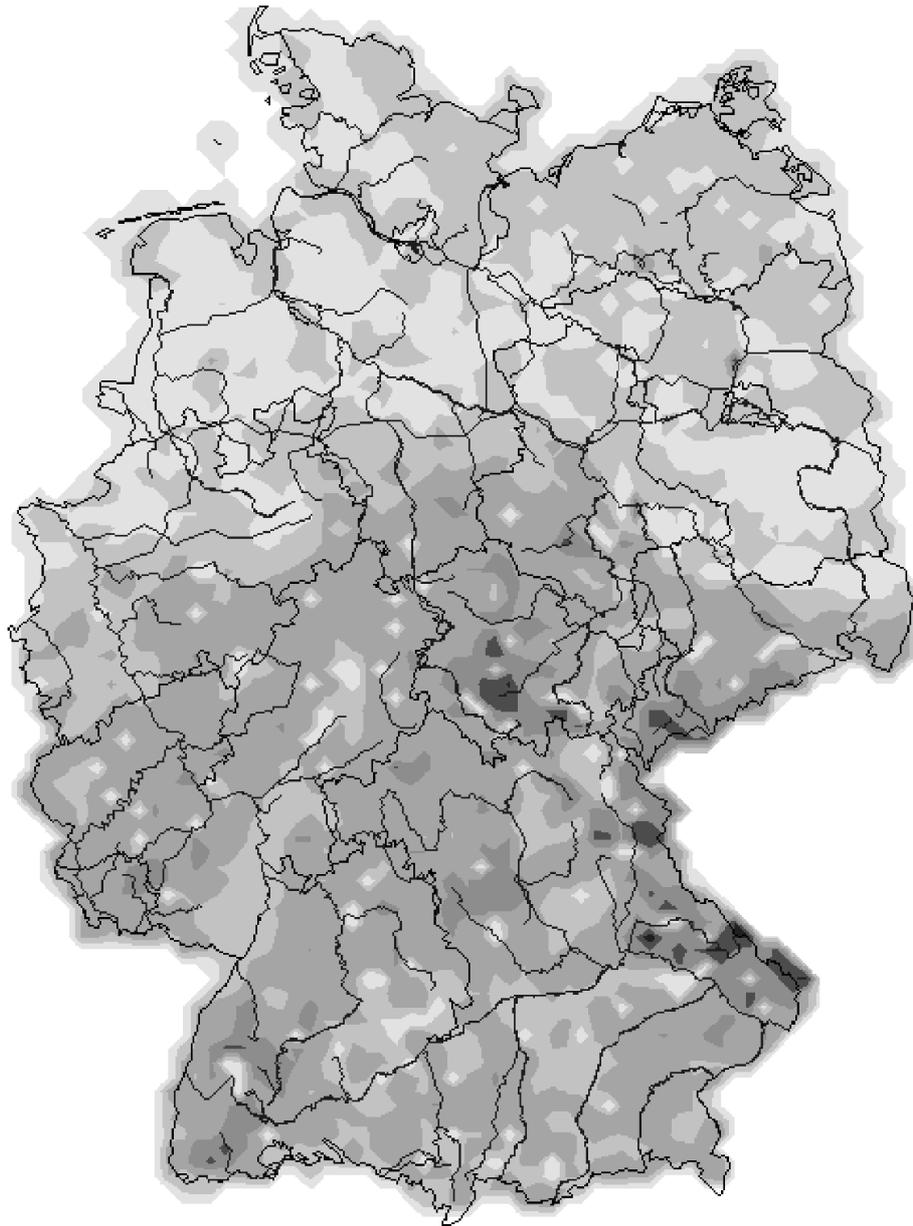
8



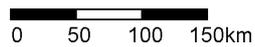
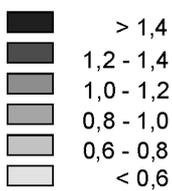
DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge im Jahr 1998 zugeführte Gesamt-β-Aktivität - Stationspezifische Jahressummen

9



mSv pro Jahr



Mittlere externe Strahlenexposition
in der Bundesrepublik Deutschland
im Freien 1998

Daten aus IMIS

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit, Bonn

BfS

Mittlere γ -Ortsdosis im Jahr 1998 auf dem Gebiet der
Bundesrepublik Deutschland

10

3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Milchwissenschaft, 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 1998 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffentests 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 1998 wurden verschiedene Pflanzenproben γ -spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlicher 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

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1996	0 - 10	14	< 41,8	185,0	a)	a)	a)
	1997	0 - 10	11	< 47,0	181,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	10	22,6	47,7	4	0,3	0,5
Bayern	1996	0 - 10	19	148,3	635,0	17	5,0	8,8
	1997	0 - 10	19	147,3	520,0	17	3,3	7,3
	1998	0 - 10	19	129,4	465,0	17	3,4	7,8
Berlin	1996	0 - 10	2	12,1	19,0	1	1,3	-
	1997	0 - 10	4	24,5	35,0	1	1,7	-
	1998	0 - 10	4	21,3	17,5	1	1,0	-
Brandenburg	1996	0 - 10	9	71,2	387,0	4	3,0	4,0
	1997	0 - 10	9	52,4	206,0	4	2,9	3,4
	1998	0 - 10	9	22,7	38,8	4	1,8	2,3
Bremen	1996	0 - 10	1	32,0	-	1	< 0,3	-
	1997	0 - 10	1	14,6	-	1	0,6	-
	1998	0 - 10	1	26,1	-	1	0,4	-
Hamburg	1996	0 - 10	2	22,8	31,5	1	1,1	-
	1997	0 - 10	2	20,0	26,8	1	2,5	-
	1998	0 - 10	2	19,8	25,6	1	0,8	-
Hessen	1996	0 - 10	6	31,4	45,9	a)	a)	a)
	1997	0 - 10	5	28,5	49,5	3	4,6	9,3

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
	1998	0 - 10	5	26,5	45,6	3	3,8	6,9
Mecklenburg-Vorpommern	1996	0 - 10	8	20,9	80,1	4	0,9	1,0
	1997	0 - 10	8	26,3	82,8	4	1,1	1,5
	1998	0 - 10	8	24,3	95,9	4	< 0,7	0,9
Niedersachsen	1996	0 - 10 (-30)	14	48,6	137,0	8	1,7	2,8
	1997	0 - 10 (-20)	12	< 30,1	58,9	5	1,7	3,9
	1998	0 - 10	11	28,7	43,6	8	4,5	12,2
Nordrhein-Westfalen	1996	0 - 10	19	20,3	31,5	5	1,6	3,7
	1997	0 - 10	19	18,4	37,7	5	1,0	1,8
	1998	0 - 10	20	20,5	37,1	4	1,8	3,2
Rheinland-Pfalz	1996	0 - 10	7	28,6	34,7	3	0,9	1,0
	1997	0 - 10	7	26,0	47,5	3	1,0	1,3
	1998	0 - 10	7	20,8	32,1	3	1,5	1,9
Saarland	1996	0 - 10	3	21,0	27,5	2	2,1	2,6
	1997	0 - 10	3	20,8	27,6	2	1,8	1,9
	1998	0 - 10	3	13,0	15,4	2	2,0	2,5
Sachsen	1996	0 - 10	6	26,8	85,3	5	2,1	4,0
	1997	0 - 10	6	19,8	51,4	5	1,7	2,6
	1998	0 - 10	6	24,4	77,6	5	2,0	3,5
Schleswig-Holstein	1996	0 - 10	7	21,9	33,9	5	2,2	3,1
	1997	0 - 10	7	23,7	28,7	5	2,0	2,4
	1998	0 - 10	7	20,5	27,7	5	2,0	2,7
Thüringen	1996	0 - 10	6	26,2	53,0	3	1,3	1,6
	1997	0 - 10	6	28,4	45,0	3	1,3	1,4
	1998	0 - 10	6	23,8	36,7	3	1,6	1,9

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2 Radioaktive Kontamination von Ackerböden

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1996	0 - 30	9	< 24,9	86,2	a)	a)	a)
	1997	0 - 30	7	41,5	148,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	10	29,0	101,0	a)	a)	a)
Bayern	1996	0 - (25/30)	25	38,2	210,0	3	4,4	7,4
	1997	0 - 30	25	33,8	171,0	3	2,6	5,4
	1998	0 - 30	25	37,3	296,0	3	4,1	9,8
Berlin	1996	0 - 30	1	10,0	-	1	1,3	-
	1997	0 - 30	1	10,4	-	1	1,6	-
	1998	0 - 30	2	9,2	9,5	1	1,8	-
Brandenburg	1996	0 - 10	10	14,6	41,0	3	0,8	0,9
	1997	0 - 30	9	16,5	43,7	3	0,8	1,0
	1998	0 - 30	9	15,3	34,0	3	0,9	1,2
Bremen	1996	0 - 30	2	14,6	16,4	1	0,9	-
	1997	0 - 30	2	12,9	16,8	1	2,4	-
	1998	0 - 30	2	7,2	8,4	1	0,1	-
Hamburg	1996	0 - 30	1	9,6	-	1	1,6	-

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
	1997	0 - 30	1	16,3	-	1	1,3	-
	1998	0 - 30	1	9,3	-	1	1,2	-
Hessen	1996	0 - 30	7	15,4	27,2	a)	a)	a)
	1997	0 - 30	7	12,5	26,1	2	1,3	2,2
	1998	0 - 30	7	12,1	23,3	2	1,1	1,8
Mecklenburg-Vorpommern	1996	0 - 30	7	12,0	21,7	2	0,7	0,8
	1997	0 - 30	7	12,2	21,1	2	0,7	0,8
	1998	0 - 30	7	12,5	21,1	2	1,0	1,2
Niedersachsen	1996	0 - (25/30)	24	15,4	48,0	5	0,8	1,5
	1997	0 - (25/30)	23	12,1	20,2	4	1,2	1,8
	1998	0 - (25/30)	20	10,5	19,8	4	0,9	1,8
Nordrhein-Westfalen	1996	0 - 30	21	12,5	27,1	5	< 1,3	4,5
	1997	0 - 30	20	10,8	21,9	5	1,1	1,6
	1998	0 - 30	21	11,4	21,5	6	1,4	2,3
Rheinland-Pfalz	1996	0 - (25/30)	7	9,6	22,3	3	0,7	0,7
	1997	0 - (25/30)	7	10,4	19,4	3	0,8	1,4
	1998	0 - (25/30)	7	8,4	18,7	3	1,2	1,4
Sachsen	1996	0 - 30	6	11,3	24,5	a)	a)	a)
	1997	0 - 30	6	9,7	17,9	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	6	11,1	27,3	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	1996	0 - 10	13	16,2	45,0	5	3,0	4,0
	1997	0 - 30	14	16,4	49,1	5	1,7	2,4
	1998	0 - 30	14	17,3	50,6	5	1,9	4,0
Schleswig-Holstein	1996	0 - 30	5	11,8	23,9	a)	a)	a)
	1997	0 - 30	5	9,6	13,2	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	5	9,5	13,3	a)	a)	a)
Thüringen	1996	0 - 30	6	12,1	19,3	2	1,5	1,6
	1997	0 - 30	6	10,9	16,6	2	1,4	1,5
	1998	0 - 30	a)	a)	a)	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 3 Radioaktive Kontamination von Waldböden

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1996	0 - 10	4	58,1	101,0	a)	a)	a)
	1997	0 - 10	4	57,2	109,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	4	65,3	123,0	2	3,3	5,7
Niedersachsen	1996	0 - 10	2	92,0	106,0	1	5,8	-
	1997	0 - 10	1	152,0	-	1	8,2	-
	1998	0 - 10	2	35,2	62,8	2	5,7	9,2
Nordrhein-Westfalen	1996	0 - 10	7	84,0	253,0	a)	a)	a)
	1997	0 - 10	7	75,8	220,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	6	72,5	137,0	a)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 4 Radioaktive Kontamination von Weide- und Wiesenbewuchs

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1996	20	< 0,6	< 0,9	a)	a)	a)
	1997	15	< 0,9	< 1,6	a)	a)	a)
	1998	19	< 1,2	7,4	9	0,3	1,0
Bayern	1996	80	< 13,2	311,0	30	4,5	13,3
	1997	81	< 11,9	451,0	30	3,3	7,2
	1998	80	< 6,1	89,8	30	3,4	12,6
Berlin	1996	2	1,3	1,4	1	2,2	-
	1997	2	1,1	1,4	1	3,6	-
	1998	3	0,8	1,2	1	1,8	-
Brandenburg	1996	22	< 2,3	9,2	8	3,3	9,8
	1997	22	< 3,2	29,5	8	2,7	8,5
	1998	22	< 2,2	6,3	11	2,3	5,6
Bremen	1996	2	< 6,9	12,4	1	0,2	-
	1997	2	< 1,6	2,5	1	1,2	-
	1998	2	2,9	2,9	1	1,6	-
Hamburg	1996	2	2,4	3,4	1	0,1	-
	1997	2	1,5	1,7	1	0,8	-
	1998	2	2,2	2,4	1	2,2	-
Hessen	1996	7	2,7	8,1	4	4,7	6,7
	1997	7	< 0,8	2,7	4	2,3	3,8
	1998	6	< 1,4	2,8	3	6,0	9,6
Mecklenburg-Vorpommern	1996	25	< 2,1	17,2	12	2,0	4,3
	1997	25	< 3,7	50,7	12	2,0	4,9
	1998	25	< 1,9	19,8	12	1,9	3,7
Niedersachsen	1996	44	< 4,3	48,5	21	1,2	3,5
	1997	40	< 3,2	32,4	22	0,9	2,3
	1998	49	< 5,7	44,7	26	1,4	4,2
Nordrhein-Westfalen	1996	21	< 1,5	7,6	9	1,9	3,1
	1997	21	< 1,6	9,6	8	1,8	3,5
	1998	18	< 0,8	1,8	9	2,2	6,5
Rheinland-Pfalz	1996	8	0,7	2,0	4	2,9	3,7
	1997	8	< 0,5	1,0	4	2,7	4,4
	1998	8	< 0,8	1,9	4	1,9	2,5
Saarland	1996	2	< 0,2	< 0,2	1	0,6	-
	1997	2	< 1,0	1,8	1	0,8	-
	1998	2	< 1,4	1,5	1	2,1	-
Sachsen-Anh.	1996	14	< 5,8	40,0	3	2,7	3,8
	1997	14	< 3,8	19,6	7	2,3	4,0
	1998	14	< 1,7	5,1	7	2,0	3,3
Sachsen	1996	20	< 1,0	4,0	10	1,6	2,5
	1997	20	< 1,1	5,6	10	1,5	2,2
	1998	20	< 4,7	71,3	10	1,3	2,5
Schleswig-Holstein	1996	20	< 1,3	5,5	10	3,2	4,0
	1997	21	< 1,2	4,7	10	2,6	4,4
	1998	20	< 1,0	7,8	10	2,0	3,2
Thüringen	1996	12	< 0,8	2,7	6	2,0	3,5
	1997	12	< 0,5	1,3	6	1,7	3,5
	1998	12	< 0,7	1,6	6	1,7	2,8

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 5 Radioaktive Kontamination einiger Futtermittel (Produkte aus dem Inland)

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse		
		Cs-137		
		N	Mittelwert	max. Wert
Mais u. Maissilagen	1996	236	< 0,4	4,0
	1997	227	< 0,5	5,4
	1998	246	< 0,8	75,0
Futterrüben	1996	33	< 0,5	1,8
	1997	32	< 0,6	4,1
	1998	40	< 1,0	2,6
Futtergetreide	1996	151	0,3	1,5
	1997	141	< 0,3	2,3
	1998	160	< 0,2	1,3
Futterkartoffeln	1996	75	< 0,6	3,6
	1997	67	< 0,7	9,8
	1998	78	< 0,5	2,5

Tabelle 6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	1996	10	< 0,11	< 0,16
	1997	10	< 0,13	0,25
	1998	6	< 0,16	< 0,25
Mais, Maisprodukte	1996	17	< 0,25	< 0,5
	1997	a)	a)	a)
	1998	21	< 0,27	< 0,41
Maniok, Tapioka	1996	2	< 0,22	< 0,3
	1997	22	< 0,15	0,8
	1998	a)	a)	a)
Ölkuchen, Ölschrote	1996	68	< 0,49	4,38
	1997	58	< 0,61	2,49
	1998	75	< 0,52	4,28
Erbsen	1996	6	< 0,27	< 0,3
	1997	6	< 0,61	2,2
	1998	a)	a)	a)
Leguminosen, Lupinen	1996	7	< 0,43	0,8
	1997	2	0,76	0,97
	1998	2	0,30	0,30
Tiernebenprodukte	1998	5	0,52	1,01

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	1996	115	< 13,7	275,0
	1997	115	< 14,5	456,0
	1998	114	< 18,1	649,0
Nadeln	1996	59	< 62,7	1220,0
	1997	59	< 55,1	933,0
	1998	59	< 63,7	1690,0
Gras	1996	115	< 13,9	184,0
	1997	114	< 18,7	220,0
	1998	116	< 23,2	460,0
Farne (Thüringen)	1996	18	645,9	5900,0
	1997	28	430,1	3750,0
	1998	2	61,5	116,0

3.3 Gewässer

3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer

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 1998. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern mitgeteilten Werte sind in Teil II, Abschnitt 1.5.3, zusammengefasst und bewertet.

Im Rahmen der Überwachung nach dem **StrVG** wurden im Berichtsjahr 1998 Messungen mit insgesamt 15645 Einzelwerten (1997: 16477) von 482 (1997: 525) Entnahmestellen ausgewertet. Für ausgewählte Probenentnahmestellen wurden Jahresmittelwerte von Radionuklidkonzentrationen in Wasser, Schwebstoff und Sediment berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - in Tabelle 2 (Fließgewässer) bzw. Tabelle 3 (Seen einschl. Talsperren) dem jeweiligen Mittelwert des Vorjahres (1997) gegenübergestellt. Daneben wurden die Anzahl der gemessenen Einzelwerte (N) sowie die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) 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.

Jahresmittelwerte bei gemischten Messwertreihen (Messwerte und Angaben der Nachweisgrenze) wurden stets derart ermittelt, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, wurde in der jeweiligen Auftragung "nn" angegeben. Sind Jahresmittelwerte mit "<" gekennzeichnet, so wurden die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen. Ergebnisse von Gesamt- α - ($G\alpha$) bzw. Gesamt-/Rest- β -Messungen ($G\beta/R\beta$) wurden vereinzelt aufgenommen, da solche Messungen nach den derzeit geltenden Überwachungsprogrammen nur noch eingeschränkt vorgesehen sind. Weitere Hinweise über die insgesamt erhaltenen Ergebnisse von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen können Tabelle 1 entnommen werden.

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Jahr 1998 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser wies **Tritium**(H-3)-Gehalte (Jahresmittelwerte) überwiegend unterhalb von 10 Bq/l (entspricht der Nachweisgrenze des RMP) auf. In Mosel und Ems wurden als Folge von Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen im Fernbereich der Emittenden Jahresmittelwerte von 20 Bq/l (Mosel km 222,2; Wincheringen) bzw. 35 Bq/l (Ems km 106,3; Geeste) erhalten. Die mittleren Gehalte der langlebigen Spaltprodukte **Strontium-90** - ein Falloutprodukt nach den oberirdischen Kernwaffenversuchen der 50er und 60er Jahre - und **Cäsium-137** - ebenfalls ein Falloutprodukt und insbesondere auf Einträge nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführen - schwankten überwiegend zwischen 0,001 und 0,01 Bq/l und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l. Die von kerntechnischen Anlagen in die Gewässer eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte waren im Fernbereich der Emittenden i.a. nicht mehr nachweisbar; lediglich in der Ems (Ems km 24,7; Terborg) konnte **Kobalt-60** unterhalb 0,01 Bq/l nachgewiesen werden. **Jod-131** aus meist nuklearmedizinischen Anwendungen oder kerntechnischen Anlagen konnte vereinzelt in Oberflächenwasser bis 0,1 Bq/l gemessen werden. Die Bestimmungen der Gesamt- α -Aktivität ($G\alpha$) bzw. von **Uran-234**, **-235** und **-238** ergaben durchweg Werte, die dem natürlichen Urangehalt der Binnengewässer entsprechen; z.B. für **Uran-238** schwankten die Werte regional zwischen unter 0,001 und 0,1 Bq/l. Bei den Untersuchungen auf **Plutonium-238** und **Plutonium-239/240** wurden Werte erhalten, die die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l um Größenordnungen unterschritten oder konnten nicht nachgewiesen werden.

Anhand von Messungen von **Schwebstoffen** können Belastungen der Binnengewässer mit radioaktiven Stoffen verschiedener Emittenden bzw. Quellen besonders empfindlich und kurzfristig erfasst

werden. So konnten in Schwebstoffproben aus Rhein und Mosel die beiden Aktivierungsprodukte Co-58 und Co-60 aus kerntechnischen Anlagen über große Fließstrecken verfolgt werden. Hierbei traten mittlere Gehalte auf von Co-58 bis zu 15 Bq/kg TM (Rhein km 172,97; Weil) bzw. 2,8 Bq/kg TM (Mosel km 241,96; Perl) und von Co-60 bis zu 5,9 Bq/kg TM (Rhein; Weil) bzw. 4,2 Bq/kg TM (Mosel; Perl). In Ems, Eider, Weser, Jadebusen und Main lagen die mittleren Gehalte beider Kobalt-Isotope deutlich unter 5 Bq/kg TM (entspricht der Nachweisgrenze des RMP). In der Mosel konnte im Fernbereich des KKW Cattenom außerdem **Silber-110m** mit ca. 2 Bq/kg TM nachgewiesen werden. I-131 wurde in Konzentrationen von meist unter 50 Bq/kg TM gemessen. Cs-137 erreichte in Schwebstoffproben überwiegend Nuklidgehalte unterhalb von 100 Bq/kg TM. In Seen lagen die mittleren Cs-137-Gehalte immer noch z.T. bei mehreren hundert Bq/kg TM: Steinhuder Meer 420 Bq/kg TM, Starnberger See 441 Bq/kg TM. Cs-134 war nur noch von untergeordneter Bedeutung: die berichteten Konzentrationen betragen ca. 1 % im Vergleich zu Cs-137.

Zur Darstellung der langfristigen Kontamination eines Gewässers sind Untersuchungen von **Sedimenten** besonders angezeigt. Partikular gebundene Radionuklide können über z.T. große Strecken verfrachtet werden, in sog. Stillwasserbereichen bevorzugt sedimentieren und so eine Kontamination der Gewässersohle bewirken. Co-58 und -60 traten in Sedimenten aus Rhein, Mosel, Elbe, Ems und Weser in Konzentrationen unterhalb von 3 Bq/kg TM auf. Cs-137 konnte in Sedimenten überwiegend in mittleren Gehalten von bis zu 100 (meist unter 50) Bq/kg TM bestimmt werden. In Seen lagen auch hier immer noch mittlere Konzentrationen an Cs-137 von z.T. mehreren hundert Bq/kg TM vor: Schollener See 312 Bq/kg TM, Schaalsee 212 Bq/kg TM.

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 1998 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. Bei den Radionukliden aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen ist außerdem zu berücksichtigen, dass diese meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet werden.

Strahlenexposition

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer anthropogen eingetragenen Radionuklide können insbesondere auf den für den aquatischen Bereich bedeutsamen Expositionspfaden "**Trinkwasser**" und "**Spülfeld**" eine Strahlenexposition von hier sich aufhaltenden bzw. tätigen Personen bewirken.

Die auf die oberirdischen Kernwaffenversuche sowie auf den Reaktorunfall in Tschernobyl im April 1986 in Oberflächenwasser 1998 zurückzuführende Kontamination beträgt im Falle von Tritium bis ca. 3 Bq/l und im Falle von Sr-90 und Cs-137 jeweils ca. 0,005 Bq/l. Falls derart kontaminiertes Flusswasser unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, errechnet sich die zusätzliche effektive Äquivalentdosis für Erwachsene auf dem "**Trinkwasserpfad**" zu ca. 0,2 μ Sv/a. Dieser Dosisbeitrag entspricht ca. 0,07 % des Dosisgrenzwertes von 300 μ Sv/a nach § 45 StrlSchV. Allein der auf die natürlichen Nuklide **Kalium-40** und **Radium-226** für typische Gehalte zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 2 μ Sv/a um eine Größenordnung höher.

Insbesondere das bei dem Reaktorunfall in Tschernobyl freigesetzte Radionuklid Cs-137 war auch 1998 noch in Sedimentproben aus deutschen Binnengewässern deutlich nachweisbar. So konnte in der Sohlenschicht von entsprechend genutzten bzw. unterhaltenen Abschnitten der Donau (Donau: km 2590,8; Ulm) immer noch ein mittlerer Gehalt von Cs-137 von 140 Bq/kg TM gemessen werden. Unter Zugrundelegung dieser an Sedimentproben gemessenen Nuklidgehalte kann die auf dem "**Spülfeldpfad**" für Standardbedingungen zu erwartende zusätzliche externe effektive Äquivalentdosis zu ca. 17 μ Sv/a abgeschätzt werden. Dieser Dosisbeitrag entspricht ca. 6 % des Dosisgrenzwertes von 300 μ Sv/a nach § 45 StrlSchV.

Tabelle 1 Übersicht der Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und der REI für 742 Entnahmestellen für das Jahr 1998

Medium	Aktivität/ Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert (Bq/l bzw. Bq/kg TM)	Gewässer	Ort/Stelle	Datum/ Zeitraum
Oberflächen- wasser	α-Aktivität	239	1,28 (Gα)	Ems	Terborg, km 24,7	Februar
	β-Aktivität	123	0,87 (Rβ)	Doppelbiergraben	Hanau-Wolfgang	3. Februar
	H-3	1893	3200	Ems	KKW Emsland, am Auslaufbauwerk	I. Quartal
	Sr-90	309	0,026	Ems	Greven	18. März
	I-131	246	0,30	Isar	Forschungsanlage München, Garching	II. Quartal
	Cs-137	1440	0,13	Arendsee	Arendsee	12. Mai
	Sonstige	4597	-	-	-	-
Schwebstoff	Co-58	79	48,3	Rhein	Weil, km 172,97	IV. Quartal
	Co-60	513	9,34	Rhein	Weil, km 172,97	I. Quartal
	I-131	134	165	Spree	Berlin-Schöneweide, km 27,2	November
	Cs-137	524	561	Sternberger See	Sternberg	I. Quartal
	Sonstige	1937	-	-	-	-
Sediment	α-Aktivität	60	3100 (Gα)	Doppelbiergraben	Hanau-Wolfgang	2. Sept.
	β-Aktivität	43	2100 (Rβ)	Doppelbiergraben	Hanau-Wolfgang	4. Mai
	Co-58	64	36	Rhein	KKW Philippsburg, am Auslaufbauwerk	III. Quartal
	Co-60	1143	160	Weser	KKW Würgassen, am Auslaufbauwerk	2. Halbjahr
	Sr-90	5	0,31	Elbe	KKW Brunsbüttel, am Auslaufbauwerk	6. März
	Cs-137	1332	463	Sternberger See	Sternberg	8. Juni
	Sonstige	4219	-	-	-	-

Tabelle 2 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus deutschen Fließgewässern nach StrVG

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
RHEIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	11	-	3,2	8,5	4,3	4,7
		Koblenz, km 590,3	11	-	3,7	14,5	6,6	6,1
		Wesel, km 814,0	12	-	3,7	7,8	5,5	5,8
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	-	0,0035	0,0037	0,0036	0,0075
		Koblenz, km 590,3	4	-	0,0015	0,0067	0,0041	0,0043
		Wesel, km 814,0	3	-	0,0043	0,011	0,0078	0,0042
	Cs-137	Weil, km 172,97	11	2	0,0006	0,0062	0,0027	0,0024
		Koblenz, km 590,3	12	2	0,0007	0,0039	0,0019	0,0027
		Wesel, km 814,0	12	1	0,0009	0,0046	0,0023	0,0025
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	4	-	0,99	48,3	15,3	4,73
		Koblenz, km 590,3	12	-	0,16	2,50	1,06	0,80
	Co-60	Weil, km 172,97	4	-	3,91	9,34	5,86	4,18
		Koblenz, km 590,3	12	1	0,79	2,58	1,49	1,55
	Cs-137	Wesel, km 814,0	4	4	<0,47	<1,01	nn	0,91
		Weil, km 172,97	4	-	16,3	34,6	21,3	17,2
		Koblenz, km 590,3	12	-	14,0	23,3	17,1	15,4
		Wesel, km 814,0	4	-	0,17	22,0	15,1	15,8

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	10	-	0,13	1,89	1,12	0,45
		Worms, km 444,5-444,6	6	-	0,15	1,26	0,49	0,13
		Koblenz, km 591,3	3	-	0,20	0,62	0,44	0,60
	Co-60	Weil, km 170,3	20	-	0,69	1,87	1,08	1,08
		Worms, km 444,5-444,6	29	11	0,11	0,88	0,39	0,52
		Koblenz, km 591,3	12	-	0,70	1,38	1,05	1,12
	Cs-137	Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	1	0,36	1,31	0,82	0,89
		Weil, km 170,3	20	-	7,81	20,4	11,7	15,0
		Worms, km 444,5-444,6	29	1	0,18	12,2	5,51	9,17
		Koblenz, km 591,3	12	-	17,3	27,4	22,0	24,3
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	12	-	10,9	36,8	21,4	18,7
NECKAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Obertürkheim, km 189,5	12	-	2,2	3,2	2,7	2,5
		Rockenau, km 61,4	12	-	6,4	23,6	13,2	15,4
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	-	0,0029	0,0054	0,0041	0,0028
		Rockenau, km 61,4	4	-	0,0022	0,0054	0,0041	0,0039
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	11	2	0,0010	0,0040	0,0021	0,0036
Rockenau, km 61,4		11	1	0,0011	0,0060	0,0026	0,0034	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Obertürkheim, 189,5	4	4	<0,071	<0,30	nn	nn
		Rockenau, km 61,4	4	3	<0,097	1,19	<0,44	nn
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	-	4,37	19,9	10,5	15,8
		Rockenau, km 61,4	4	-	6,79	29,4	15,8	11,4
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Lauffen, km 125,2-130,1	19	19	<0,054	<0,20	nn	nn
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	6	<0,13	<0,25	nn	nn
		Guttenbach, km 72,0-77,0	16	16	<0,072	<0,14	nn	nn
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	19	-	4,70	28,4	11,4	13,3
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	6	-	13,2	20,5	16,1	17,0
		Guttenbach, km 72,0-77,0	16	-	0,20	57,1	12,7	14,7
MAIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Viereth, km 389,4	12	-	1,7	2,4	2,0	2,1
		Eddersheim, km 15,3	10	-	2,1	14,7	5,1	5,4
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	-	0,0046	0,0062	0,0056	0,0035
		Eddersheim, km 15,3	3	-	0,0034	0,0071	0,0051	0,0038
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	-	0,0011	0,0063	0,0034	0,0034
Eddersheim, km 15,3		10	-	0,0013	0,0061	0,0027	0,0023	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	34,0	47,0	41,8	46,0
		Garstadt, km 323,7	4	-	20,9	37,7	27,9	37,0
Sediment (Bq/l)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	4,40	23,0	12,8	27,0
		Garstadt, km 316,2-324,8	9	-	0,74	46,0	21,4	22,1
MOSEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	-	12,6	31,3	20,1	21,7
		Lehmen, km 20,83	11	-	5,8	13,8	9,5	10,9
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	-	0,0037	0,0056	0,0045	0,0028
		Lehmen, km 20,83	4	-	0,0040	0,0056	0,0048	0,0058
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	-	0,0008	0,0057	0,0026	0,0078
		Lehmen, km 20,83	12	-	0,0007	0,0034	0,0019	0,0026
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	12	-	0,25	6,92	2,80	1,37
		Trier, km 196,0	5	-	0,26	1,26	0,70	1,17
		Lehmen, km 20,83	2	-	0,17	0,91	0,54	1,18
	Co-60	Perl, km 241,96	12	2	0,53	8,03	4,19	3,36
		Trier, km 196,0	12	4	0,55	1,18	0,85	1,36
		Lehmen, km 20,83	11	10	<0,16	0,82	<0,42	1,71
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	-	14,7	28,9	22,9	17,5
		Trier, km 196,0	12	-	16,9	29,5	22,2	20,4
		Lehmen, km 20,83	11	-	16,9	31,9	24,7	30,6

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte		
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 239,7-242,0	9	-	0,039	0,48	0,22	0,16	
		Trier, km 184,1-196,1	3	-	0,14	0,30	0,24	0,20	
	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	24	5	0,35	1,28	0,58	0,90	
		Trier, km 184,1-196,1	24	17	0,21	1,51	0,70	0,75	
		Koblenz, km 4,05	12	11	<0,10	0,61	<0,30	0,37	
		Perl, km 239,7-242,0	24	-	2,66	20,0	8,79	10,2	
Cs-137	Trier, km 184,1-196,1	24	-	10,6	29,0	18,7	18,9		
	Koblenz, km 4,05	12	-	12,7	18,9	15,8	17,3		
SAAR									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	11	-	1,7	2,7	2,1	2,3	
	Sr-90	Kanzem, km 5,0	3	-	0,0026	0,0050	0,0041	0,0048	
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	10	2	0,0015	0,0043	0,0023	0,0040	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	10	-	16,7	38,4	27,9	26,1	
DONAU									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ulm, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn	
		Geisling, km 2354,28	12	-	2,3	5,6	3,4	3,8	
		Vilshofen, km 2249,0	12	-	2,6	7,2	3,9	4,1	
		Jochenstein, km 2203,8	-	-	keine Werte			nn	
	Sr-90	Geisling, km 2354,28	4	-	0,0039	0,0064	0,0053	0,0036	
		Vilshofen, km 2249,0	4	-	0,0013	0,0090	0,0054	0,0039	
		Jochenstein, km 2203,8	-	-	keine Werte			0,0012	
	Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	3	<0,0076	0,012	<0,010	0,012	
		Geisling, km 2354,28	12	-	0,0021	0,0058	0,0036	0,0036	
		Vilshofen, km 2249,0	12	-	0,0017	0,013	0,0065	0,0052	
		Jochenstein, km 2203,8	-	-	keine Werte			<0,0060	
	Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,9	4	-	120	172	158	144
Regensburg, km 2381,3			4	-	51,5	128	97,8	80,8	
Vilshofen, km 2249,0			4	-	37,3	86,2	56,2	74,8	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	-	120	150	140	187	
		Regensburg, km 2400,1-2379,1	22	-	6,10	298	48,9	58,2	
		Straubing, km 2320,93	3	-	95,7	113	102	196	
		Jochenstein, km 2202,7	2	-	46,3	51,0	48,7	25,7	
ISAR									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	-	1,7	2,4	2,1	2,1	
		Plattling, km 9,1	4	3	<5,2	11,5	<6,8	nn	
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	2	0,0006	0,0008	0,0007	0,0008	
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0042	<0,0089	nn	nn	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	36,7	64,1	47,0	40,0	
		Plattling, km 9,1	4	-	94,0	117	108	118	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	46,8	59,4	55,4	42,7	
		Plattling, km 9,1	4	-	13,0	29,0	19,8	21,2	
EMS									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	-	1,6	156	35,1	21,8	
		Terborg, km 24,7	12	-	1,4	34,7	7,1	7,5	
	Co-60	Geeste, km 106,3	9	9	<0,0007	<0,0017	nn	nn	
		Terborg, km 24,7	12	2	0,0057	0,012	0,0085	0,013	
	Sr-90	Geeste, km 106,3	3	-	0,0036	0,012	0,0088	0,0071	
		Terborg, km 24,7	4	-	0,0051	0,020	0,010	0,012	
	Cs-137	Geeste, km 106,3	9	1	0,0018	0,0042	0,0029	0,0031	
		Terborg, km 24,7	12	-	0,0079	0,056	0,033	0,051	
	Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,10	<0,26	nn	nn
			Terborg, km 24,7	4	-	0,34	1,32	0,99	1,21
Cs-137		Geeste, km 106,3	4	-	29,9	42,6	35,8	31,8	
		Terborg, km 24,7	4	-	4,81	6,25	5,67	5,76	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Außenems, Knock, km 51	1	-	2,60	2,60	2,60	2,50	
		Außenems, Gandersum, km 32	1	1	<0,26	<0,26	nn	3,90	
	Cs-137	Außenems, Knock, km 51	1	-	11,0	11,0	11,0	11,0	
		Außenems, Gandersum, km 32	1	-	0,30	0,30	0,30	19,0	

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
WESER / JADEBUSEN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12	-	1,4	2,5	2,0	2,0
		Rinteln, km 163,2	12	-	2,2	18,1	4,2	4,7
		Langwedel, km 329,4	12	-	1,9	9,9	3,4	2,6
		Blexen, km 63,3	12	-	2,5	7,8	3,8	4,2
	Sr-90	Höxter, km 69,0	4	-	0,0018	0,0057	0,0041	0,0048
		Rinteln, km 163,2	4	-	0,0032	0,0056	0,0048	0,0045
		Langwedel, km 329,4	4	-	0,0030	0,0087	0,0054	0,0047
		Blexen, km 63,3	4	-	0,0048	0,017	0,0086	0,0053
	Cs-137	Höxter, km 69,0	12	-	0,0009	0,0065	0,0036	0,0035
		Rinteln, km 163,2	12	1	0,0011	0,0058	0,0034	0,0032
		Langwedel, km 329,4	12	-	0,0012	0,017	0,0049	0,0049
		Blexen, km 63,3	12	-	0,0065	0,015	0,011	0,010
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	2	0,23	0,27	0,25	nn
		Rinteln, km 163,2	4	1	0,22	2,50	1,10	<0,31
		Langwedel, km 329,4	4	4	<0,14	<0,24	nn	nn
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	1,44	3,03	2,38	1,91
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4	-	12,4	18,2	14,9	20,4
		Rinteln, km 163,2	4	-	13,0	18,0	15,6	17,9
		Langwedel, km 329,4	4	-	16,0	22,9	18,8	21,0
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	5,13	10,2	7,46	6,77
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Hann.Münden, km 0,0	2	2	<0,30	<0,58	nn	nn
		Intschede, km 329,3	2	2	<0,55	<0,63	nn	nn
		Habenhausen, km 361,0	2	2	<0,43	<0,43	nn	nn
		Untereseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	0,77	1,80	1,29	1,37
	Cs-137	Hann.Münden, km 0,0	2	-	9,50	14,0	11,8	7,20
		Intschede, km 329,3	2	-	31,0	32,0	31,5	20,0
		Habenhausen, km 361,0	2	-	27,0	29,0	28,0	33,0
		Untereseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	8,10	20,0	14,1	14,7
ELBE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	7	-	1,4	2,2	1,9	2,1
		Geesthacht, km 586,0	6	-	1,5	2,3	1,8	2,0
		Cuxhaven, km 724,5	12	-	2,9	4,3	3,7	3,7
	Sr-90	Dresden, km 58,0	3	-	0,0053	0,0099	0,0072	0,0071
		Geesthacht, km 586,0	2	-	0,0063	0,011	0,0088	0,0019
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,0021	0,0052	0,0030	0,0028
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	2	0,0015	0,0055	0,0039	0,0052
		Geesthacht, km 586,0	6	-	0,0007	0,0040	0,0024	0,0018
Cuxhaven, km 724,5		12	1	0,0026	0,0092	0,0052	0,0044	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	-	25,9	51,8	36,1	38,3
		Geesthacht, km 586,0	2	-	31,5	37,6	34,6	41,7
		Wedel, km 642,0	2	-	10,6	24,8	16,1	9,81
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,46	1,38	0,76	0,58
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	9	-	35,9	63,2	46,1	55,6
		Schnackenburg, km 475	4	-	11,0	64,0	32,0	26,8
ODER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	7	-	1,7	2,0	1,9	2,1
		Hohensaaten, km 667,5	7	-	1,3	2,1	1,7	2,0
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	3	-	0,0075	0,0097	0,0084	0,0078
		Hohensaaten, km 667,5	4	-	0,0021	0,0087	0,0067	0,0084
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	-	0,0015	0,020	0,0049	0,0031
		Hohensaaten, km 667,5	11	2	0,0011	0,0055	0,0029	0,0039
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	5	-	8,50	81,3	42,0	41,7
		Hohensaaten, km 667,5	8	-	22,5	194	83,6	87,3

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
SPREE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<3,6	<3,8	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	7	-	1,3	1,6	1,5	1,9
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	-	0,0051	0,0077	0,0059	0,0055
		Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	0,0016	0,0035	0,0024
Berlin-Schöneweide, km 27,2	11		3	0,0012	0,0068	0,0030	0,0024	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	3,50	6,20	4,75	6,0
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	10	-	22,1	57,0	38,7	43,8
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	7,30	21,7	12,8	15,5
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	6	-	16,7	20,8	18,5	20,7
HAVEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	6	-	1,6	1,9	1,7	1,8
		Zehdenick, km 15,1	3	-	0,0045	0,0074	0,0064	0,0057
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	1	0,0011	0,0091	0,0053	0,0059
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	-	64,4	123	99,7	106
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	9	-	1,15	66,8	37,6	52,1
SAALE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	4	-	1,6	1,9	1,7	2,0
		Merseburg, km 104,5	4	-	0,0041	0,0080	0,0054	0,0055
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	10	2	0,0008	0,023	0,0049	0,0035
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	-	13,6	21,1	18,9	16,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	10	-	11,0	21,0	15,1	18,3
PEENE								
Oberflächenw. (Bq/kg TM)	H-3	Anklam, km 96,1	7	-	1,3	1,6	1,4	1,5
		Anklam, km 96,1	4	-	0,0041	0,0064	0,0056	0,0063
	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	4	0,0015	0,0040	0,0027	0,0037
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	-	37,4	66,3	49,3	60,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	10	-	28,4	64,8	45,8	57,5

Tabelle 3 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus deutschen Seen und Talsperren nach StrVG

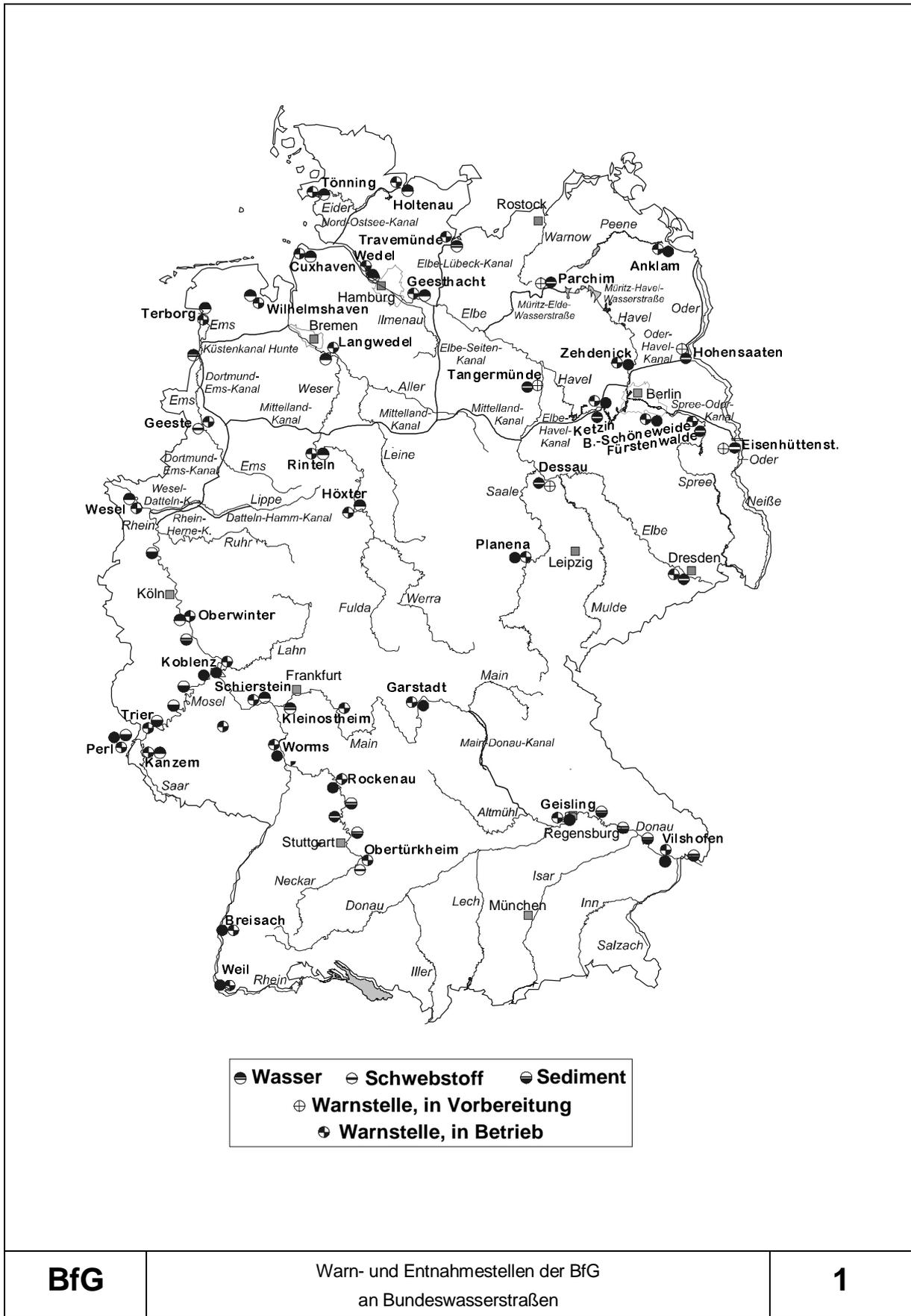
GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
BADEN-WÜRTTEMBERG								
BODENSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
	Cs-137		6	6	<0,0048	<0,011	nn	nn
BAYERN								
CHIEMSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	-	1,7	1,7	1,7	2,0
	Sr-90		4	-	0,0014	0,0084	0,0040	0,0041
		Cs-137		4	1	0,0003	0,0011	0,0008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	103	160	133	106
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	3	-	81,7	98,1	88,8	85,2
STARNBERGERSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	-	2,6	4,1	3,2	3,5
			4	-	0,0052	0,011	0,0084	0,0099
	Cs-137		4	-	0,0016	0,0069	0,0049	0,0044
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	-	295	561	441	646

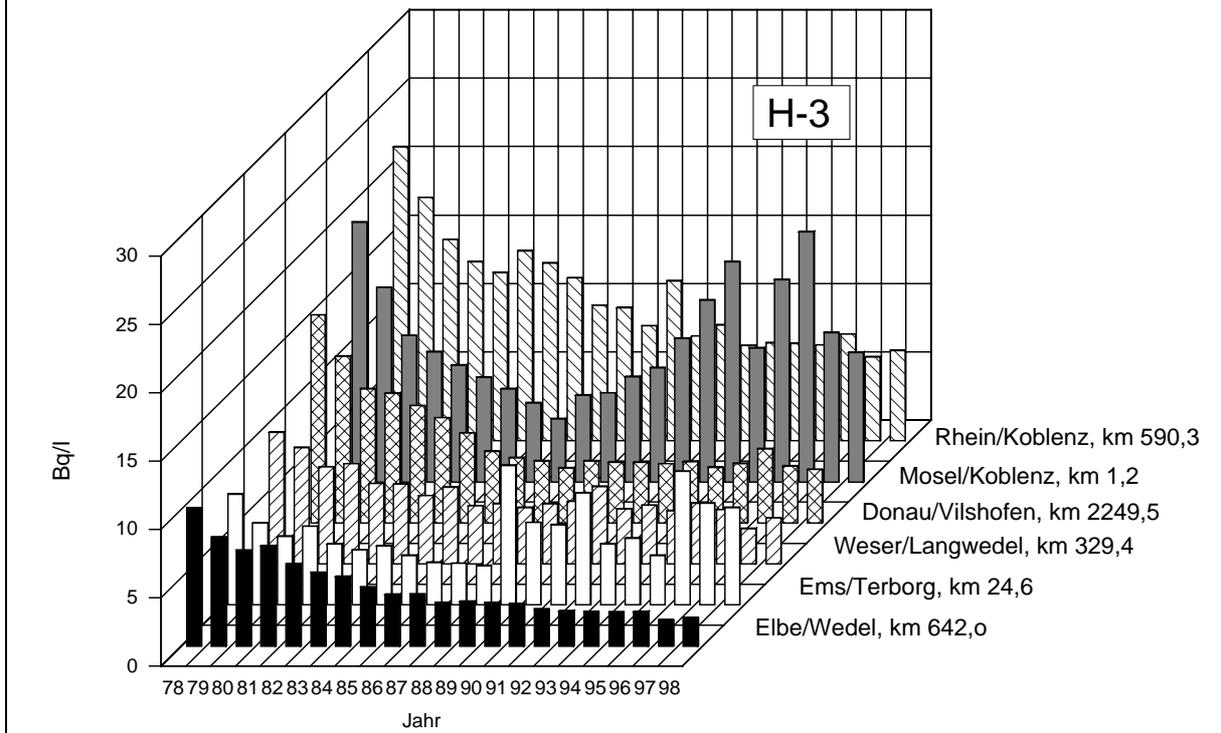
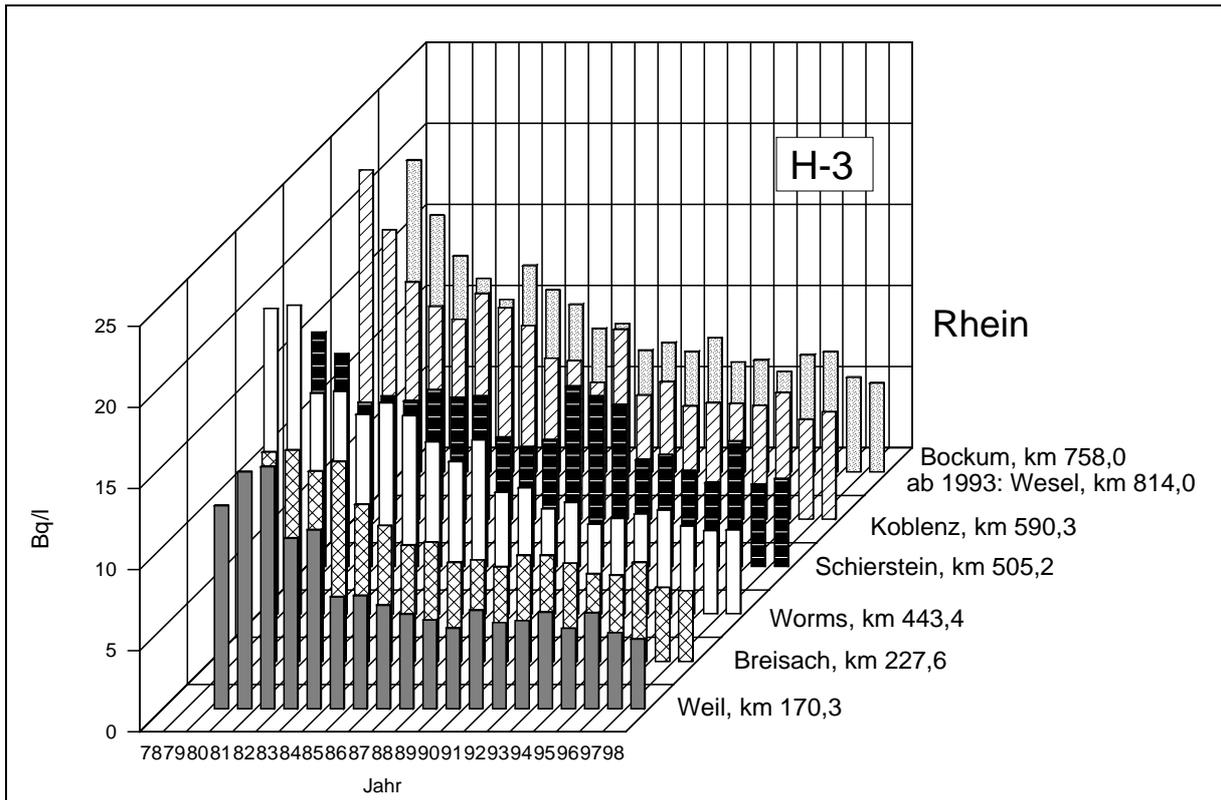
Fortsetzung Tabelle 3

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	-	45,0	463	161	69,8
BERLIN								
MÜGGELSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	-	4	4	<3,6	<3,8	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0033	0,0074	0,0056	0,0059
	Cs-137		4	1	0,0020	0,0046	0,0033	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	-	4	-	1,30	5,90	3,70	3,38
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	-	4	-	96,0	114	108	118
STÖSSENSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<3,6	<3,8	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0055	0,010	0,0069	0,0059
	Cs-137		4	-	0,0017	0,0058	0,0032	0,0035
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	2,20	4,60	3,60	3,60
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	22,0	115	71,2	76,8
BRANDENBURG								
STECHLINSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,3	<7,2	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,019	0,023	0,020	0,024
	Cs-137		4	-	0,010	0,020	0,013	0,010
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	-	16,0	21,0	18,6	20,3
NEUENDORFER SEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	2	2	<7,1	<8,4	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0050	0,010	0,0068	0,0058
	Cs-137		4	2	0,0020	0,0050	0,0035	<0,0037
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	-	0,80	2,50	1,52	2,23
HESSEN								
MARBACH-TALSPERRE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Mossautal	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	<0,0099
	Cs-137		4	4	<0,0065	<0,016	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Mossautal	3	1	17,3	29,3	23,3	32,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Mossautal	4	-	18,4	21,8	20,7	33,2
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
BORGWALLSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	2,7	<4,3	<3,9	<4,7
	Cs-137		4	-	0,0031	0,0095	0,0060	0,0059
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	-	8,60	11,6	9,71	10,6
SCHWERINER SEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	3	<4,6	6,3	<5,0	nn
	Sr-90		4	-	0,0085	0,013	0,010	0,015
	Cs-137		4	-	0,022	0,025	0,024	0,024
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	-	29,9	50,3	36,0	53,8
NIEDERSACHSEN								
SÖSETALSPERRE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	-	1,3	1,5	1,4	1,4
	Sr-90		4	-	0,0015	0,0041	0,0032	0,0038
	Cs-137		4	2	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	-	-	keine Werte	-	-	110

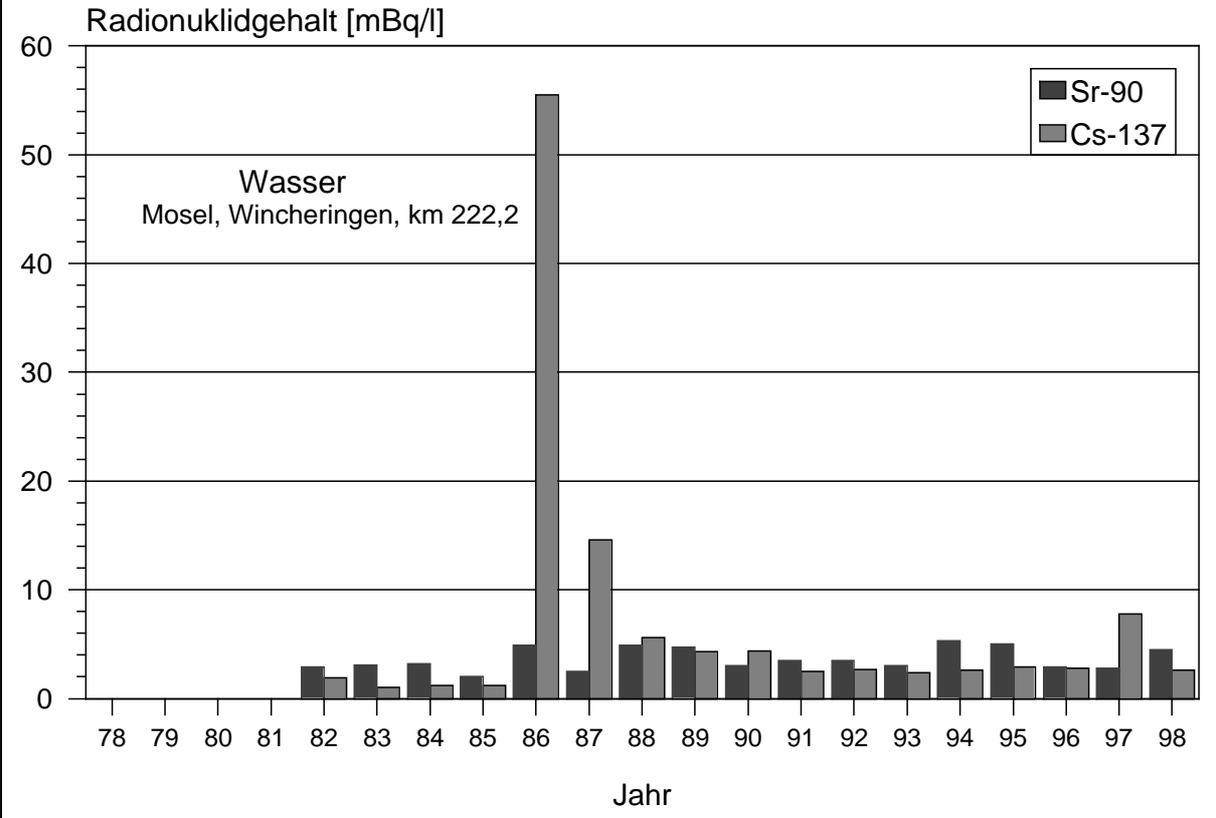
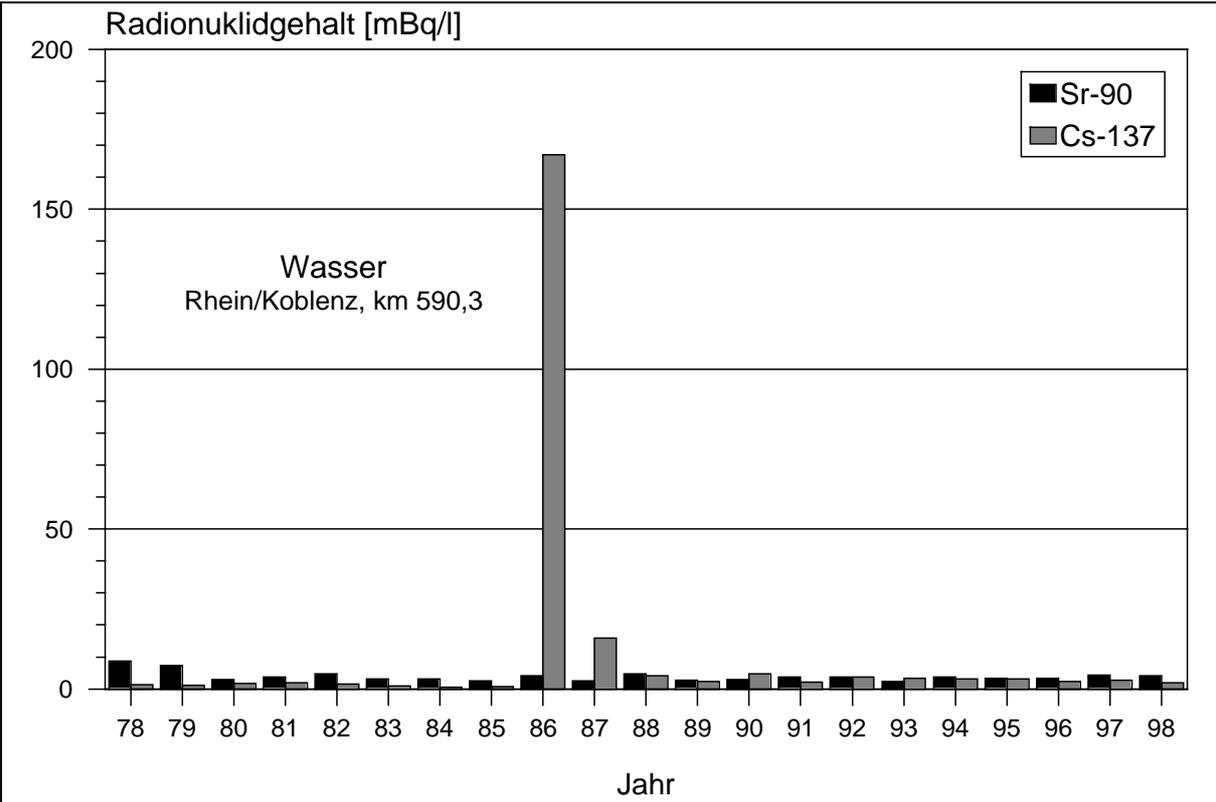
Fortsetzung Tabelle 3

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	74,0	110	94,5	89,5
STEINHUDER MEER								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	-	1,3	1,7	1,5	1,6
	Cs-137		4	-	0,0093	0,015	0,012	0,018
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	390	450	420	438
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	66,0	120	100	219
NORDRHEIN-WESTFALEN								
MÖHNE-STAUSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<6,0	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0051	<0,0096	nn	nn
RHEINLAND-PFALZ								
LAACHER SEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,044	0,046	0,045	0,048
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	4	-	69,8	176	140	136
SACHSEN								
TALSPERRE PÖHL								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Toßfell	4	4	<9,0	<9,0	nn	nn
	Cs-137		4	1	0,0028	0,0035	0,0031	0,0038
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Toßfell	4	-	9,97	14,1	12,0	17,9
SACHSEN-ANHALT								
ARENDSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,10	0,13	0,11	0,12
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	-	30,2	115	56,7	39,8
SCHOLLENER SEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,010	0,090	0,050	0,059
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	-	223	407	312	265
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
SCHAALSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0090	0,013	0,012	0,013
	Cs-137		4	-	0,015	0,020	0,018	0,022
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	-	188	238	212	262
WITTENSEE								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,0090	0,019	0,013	0,017
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	-	16,3	27,3	23,7	21,3

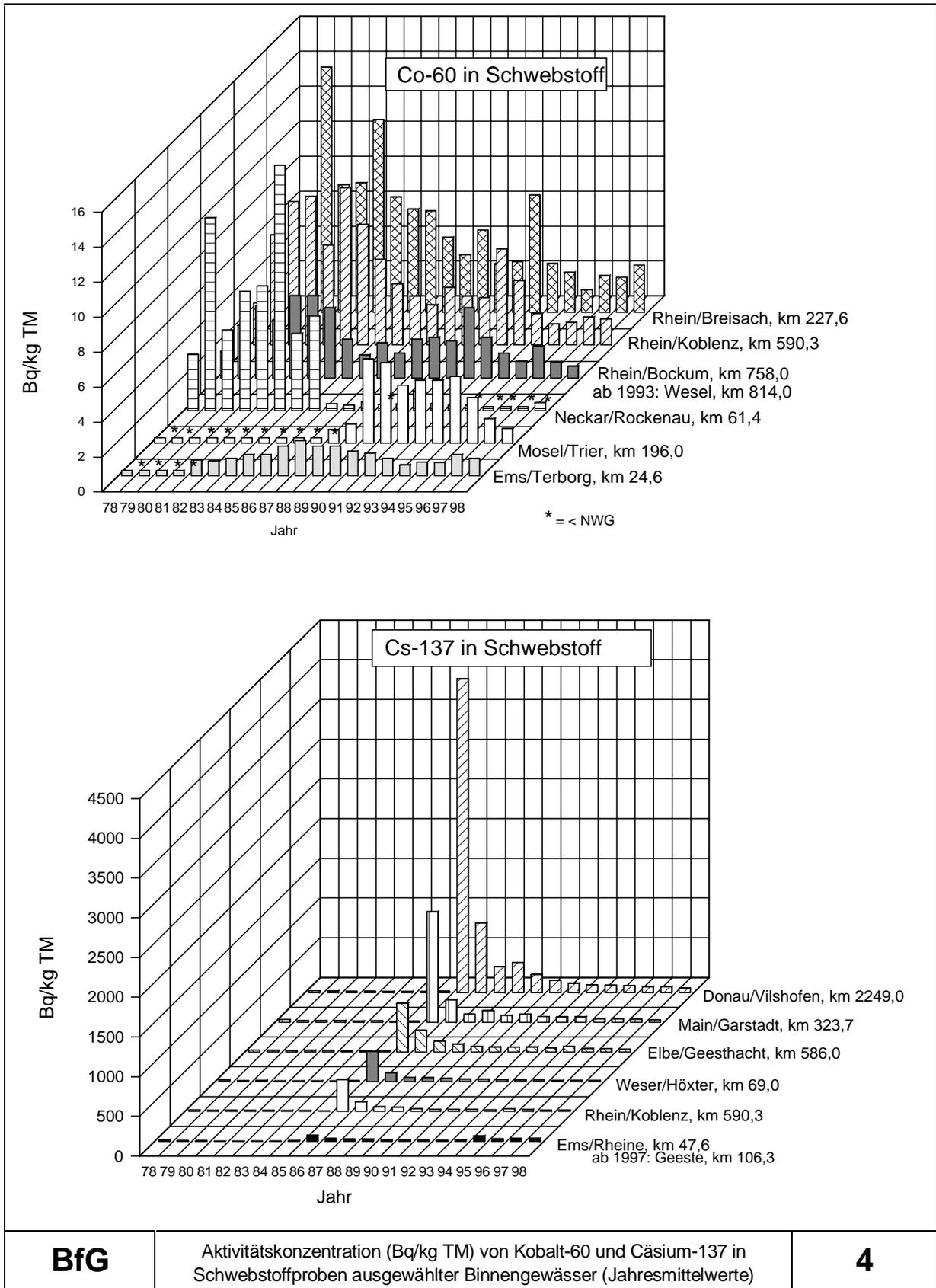




BfG	Tritiumgehalt (Bq/l) ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)	2
------------	---	----------



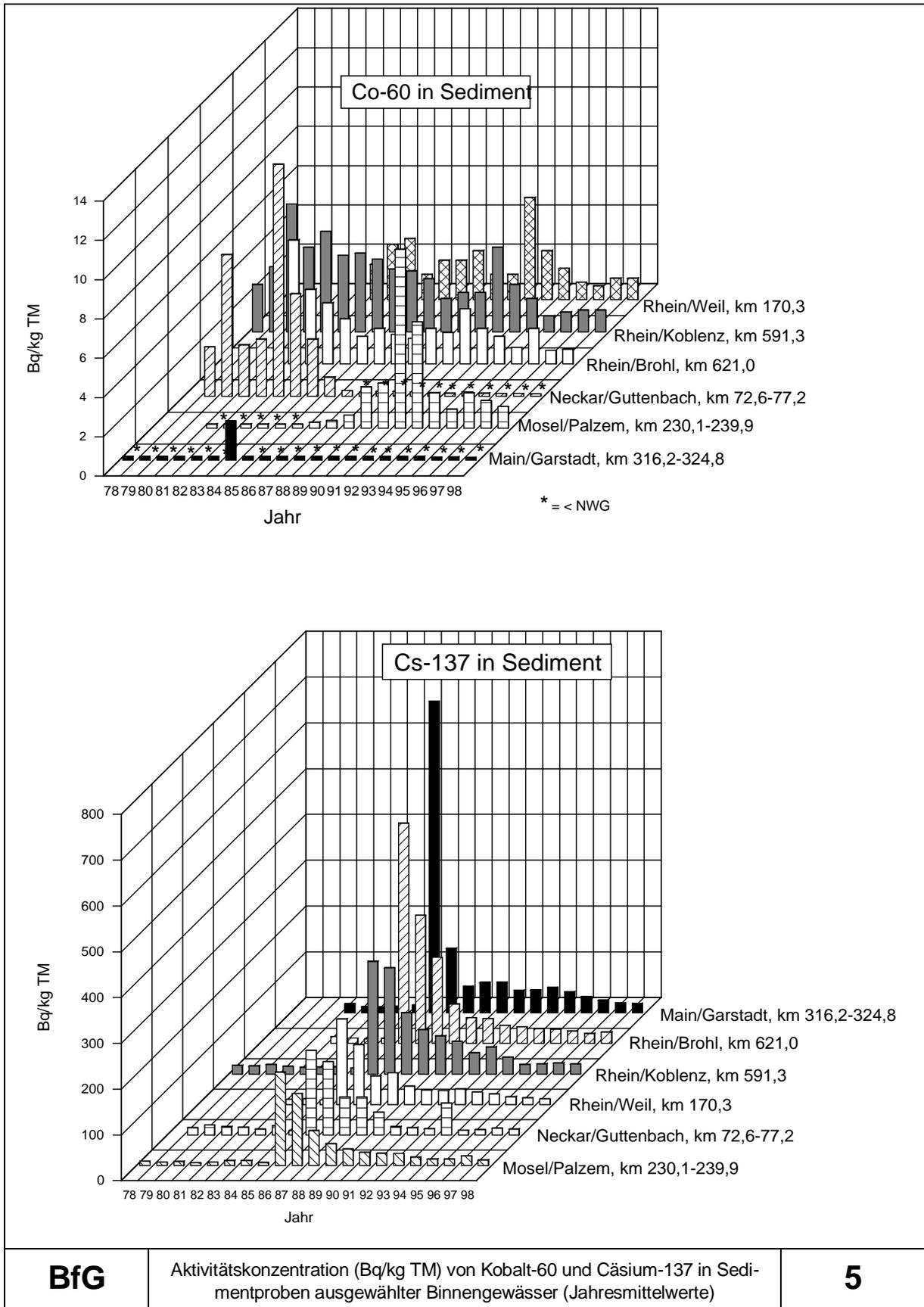
BfG	Aktivitätskonzentration von Strontium-90 und Cäsium-137 in Rhein und Mosel (Jahresmittelwerte)	3
------------	---	----------



BfG

Aktivitätskonzentration (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Schwebstoffproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

4



BfG	Aktivitätskonzentration (Bq/kg TM) von Kobalt-60 und Cäsium-137 in Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)	5
------------	---	----------

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment (Fortsetzung)

In den Abbildungen 5 - 10 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90, Pu-239+240, Pu-238, Am-241 und Cm-244 in der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1998 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Aktivitätskonzentration der betrachteten Nuklide in der Nordsee um den Faktor 2 - 5 über denen des einströmenden Atlantikwassers lagen. Dabei sind die Konzentrationen in der Nordsee während der 90er Jahre für fast alle Nuklide konstant und deutlich niedriger als in den Jahren zuvor. Ein signifikanter Anteil der Konzentrationen der meisten der hier gefundenen Nuklide, insbesondere von Cs-137 und der Transurane, stammt aus der Resuspension des Sedimentes und nicht von den derzeitigen Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen. Das Sediment insbesondere der Irischen See ist durch Einleitungen in den siebziger Jahren stark kontaminiert. Die Resuspension wird sowohl durch natürliche Ereignisse wie Stürme als auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei hervorgerufen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass in der Nordsee

1. trotz der Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 im Skaggeak durch abfließendes Ostseewasser auftreten. Die Ostsee stellt derzeit, und für die nächsten Jahre, die stärkste Quelle für Cs-137 in der Nordsee dar.
2. die Einleitungen an Sr-90 der WAA La Hague gegenüber den Erhöhungen der Jahre 1991/92 wieder stark zurückgegangen sind. Die zeitweise erhöhten Sr-90 Einleitungen der WAA Sellafield sind im Jahr 1998 in der Nordsee kaum noch nachzuweisen.
3. die Einleitungen an Tc-99 der WAA Sellafield trotz des wesentlich längeren Transportweges zu höheren Konzentrationen in der Nordsee führen als dies für Einleitungen der WAA La Hague Anfang der neunziger Jahre nachgewiesen wurde.

H-3 ist das einzige Radionuklid, das von beiden Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren im erheblichen Maße verstärkt eingeleitet wurde. Die H-3-Konzentrationen in der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee im Jahr 1998 sind in Abbildung 11 dargestellt. Die langjährige Entwicklung der mittleren H-3-Gehalte der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (Abb. 12) zeigt für die Ostsee einen stark rückläufigen Trend, der auf die abnehmende Konzentration im Süßwassereintrag zurückzuführen ist. Die Ursache für ansteigende H-3-Messwerte in der Deutschen Bucht in den Jahren 1993 bis 1998 sind die deutlich höheren Einleitungen der WAA La Hague.

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.

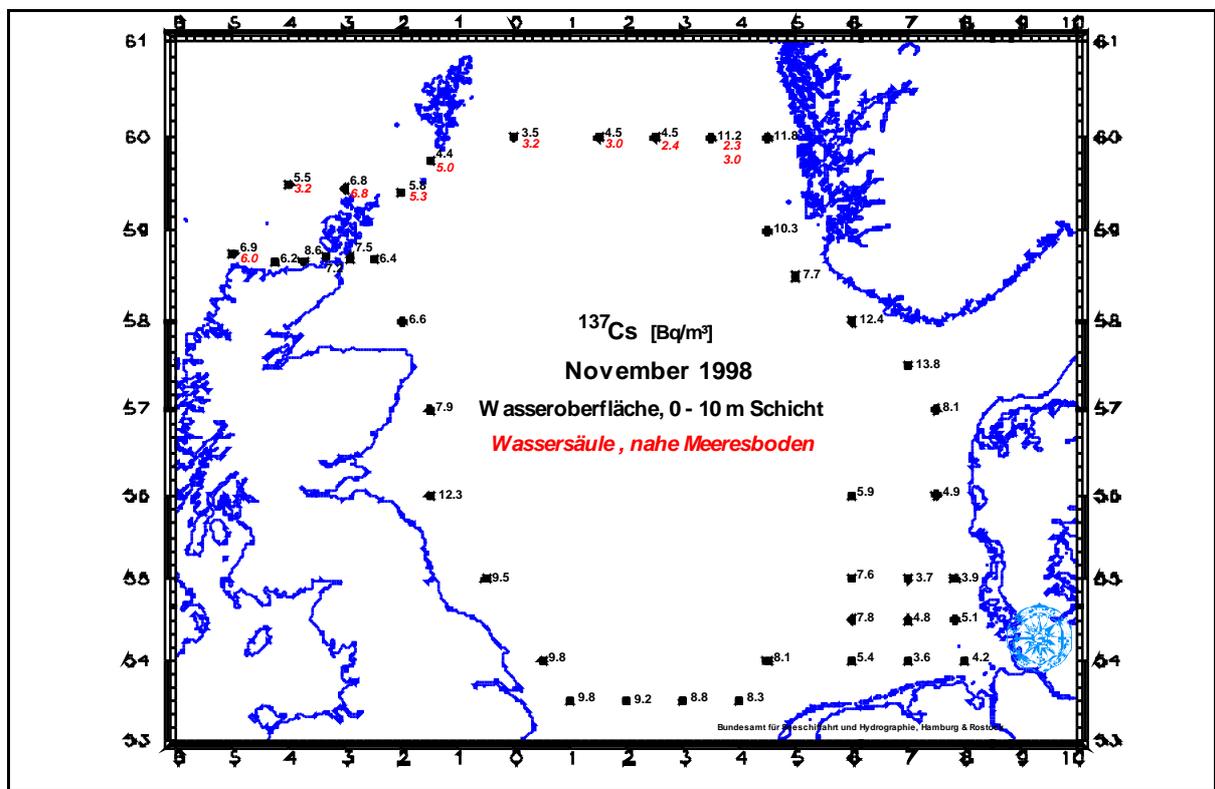
Abbildung 13 stellt den Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an der Position Schleimündung in der Ostsee seit 1961 dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen 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. Der Ausstrom von durch den Reaktorunfall von Tschernobyl höher kontaminierten Wassermassen aus der Ostsee in die Oberflächenschicht des Skagerrak ist auch in Abbildung 5 zu erkennen.

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.

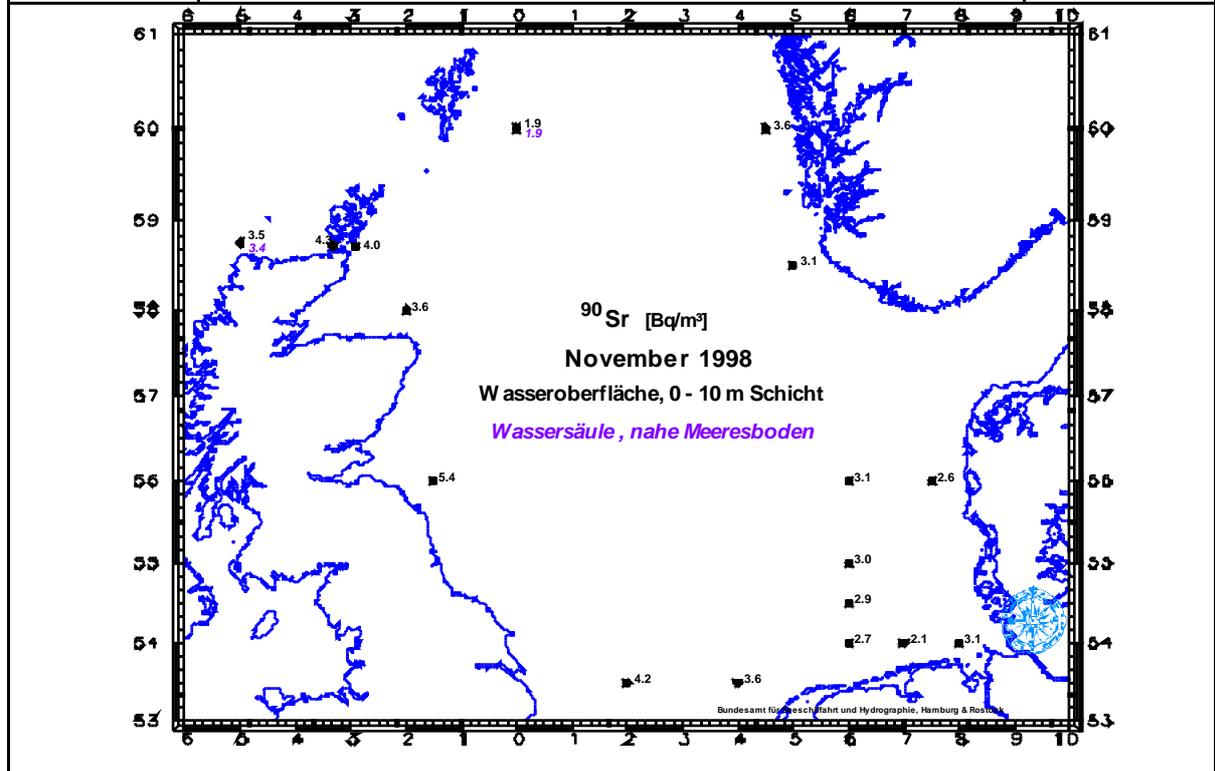
In den Abbildungen 14 und 15 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 in der westlichen und Teilen der zentralen Ostsee im September 1998 dargestellt.

Die Aktivitätskonzentration von Cs-137 lag im untersuchten Gebiet der Ostsee zwischen 46 und 80 Bq/m³ (Abb. 14). Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren

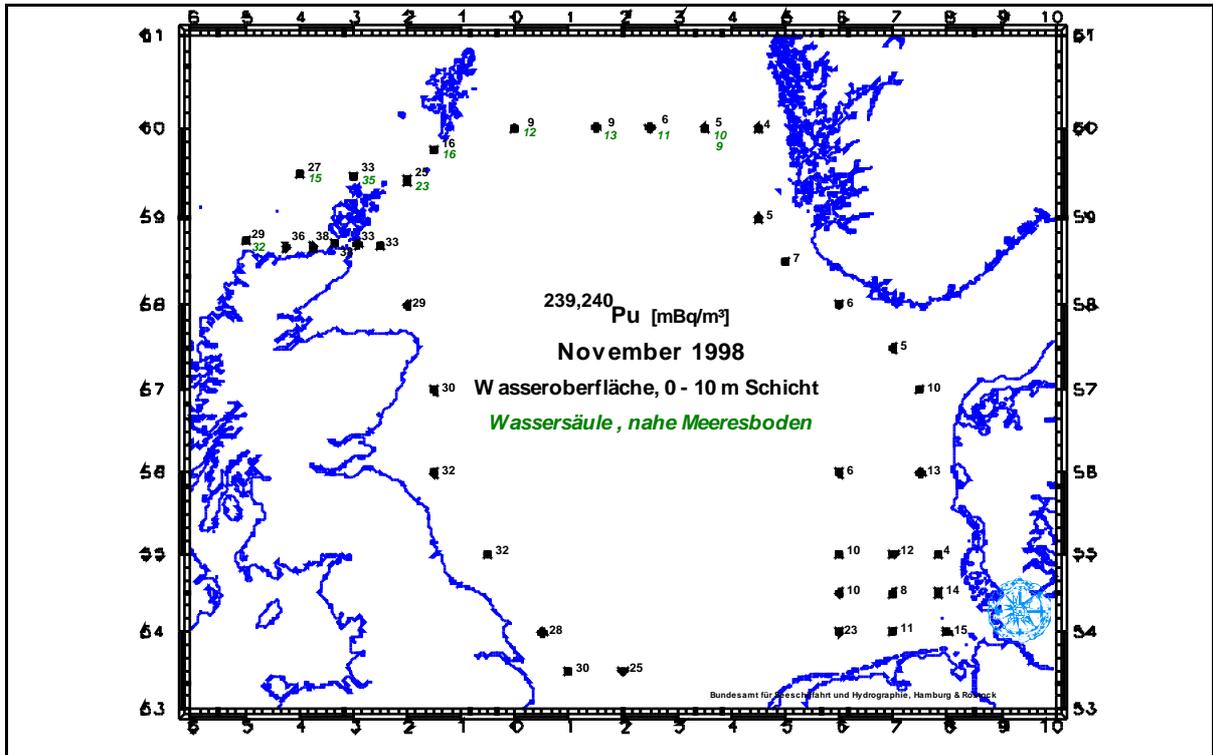
verringert hat, ist sie immer noch 10 mal höher als die der Deutschen Bucht in der Nordsee. Die Wassersäule der Ostsee zeigt mittlerweile bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination auf. Dies ist in Abbildung 14 auch für die tiefste Stelle der Ostsee, das Landsort Tief (450 m) dargestellt. Die Sr-90-Aktivitätskonzentration im Wasser der Ostsee ist durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kaum beeinflusst. Deutlich ist der Einstrom von Nordseewasser mit geringem Cs-137- und Sr-90-Gehalt im Bodenwasser der Dänischen Meerengen zu erkennen.



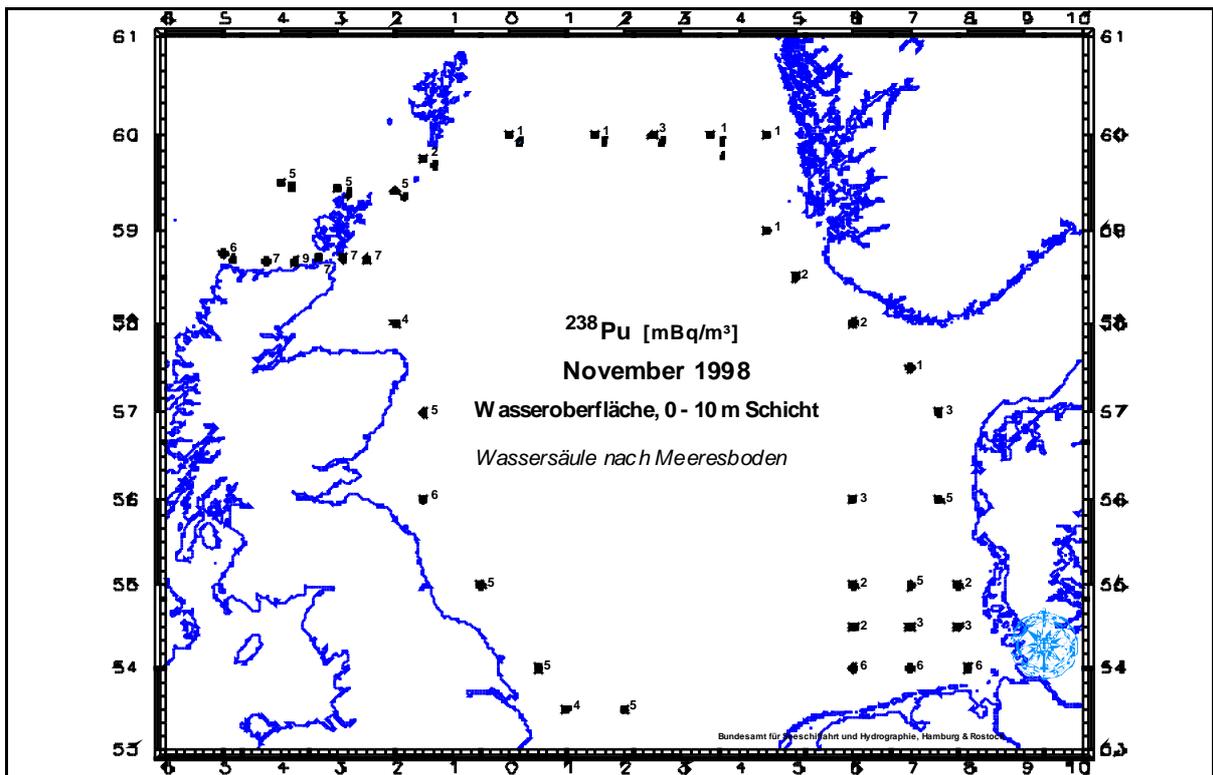
BSH	Die Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m ³) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	5
------------	--	----------



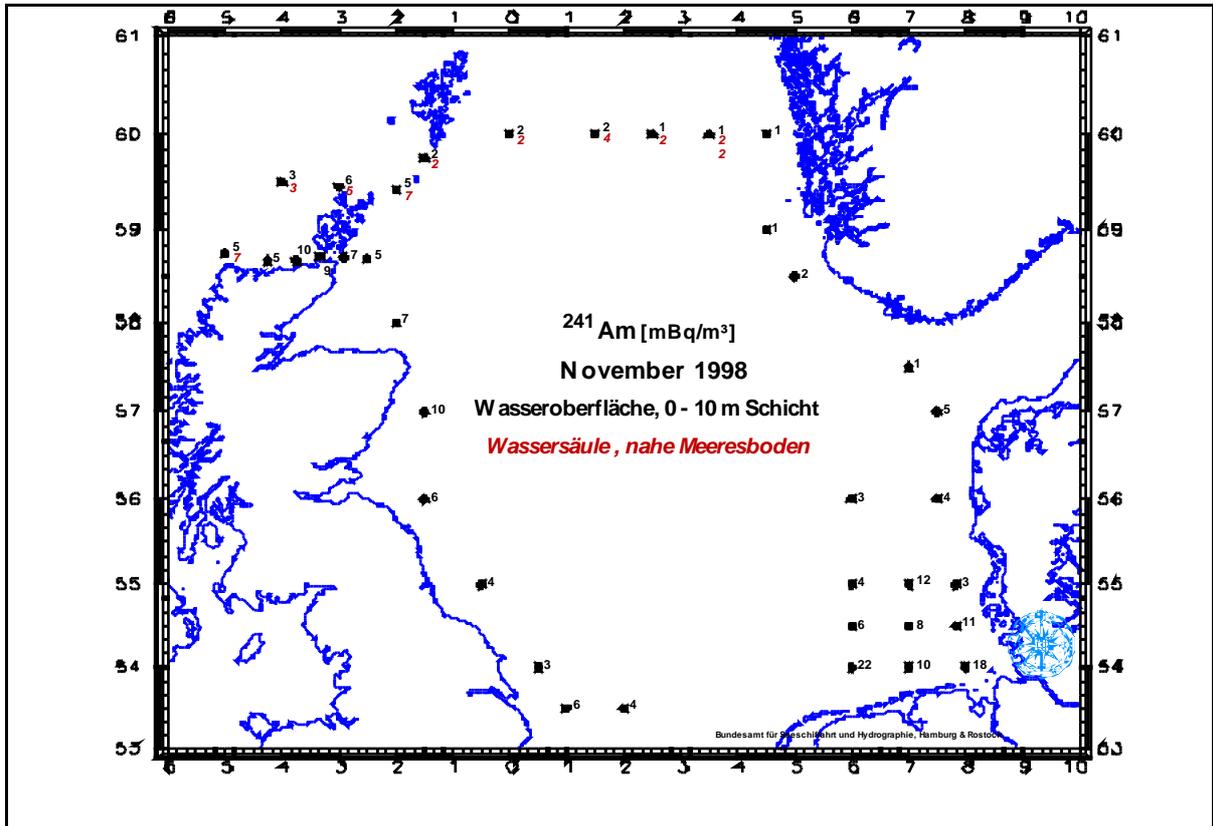
BSH	Die Verteilung von Strontium-90 (Bq/m ³) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	6
------------	--	----------



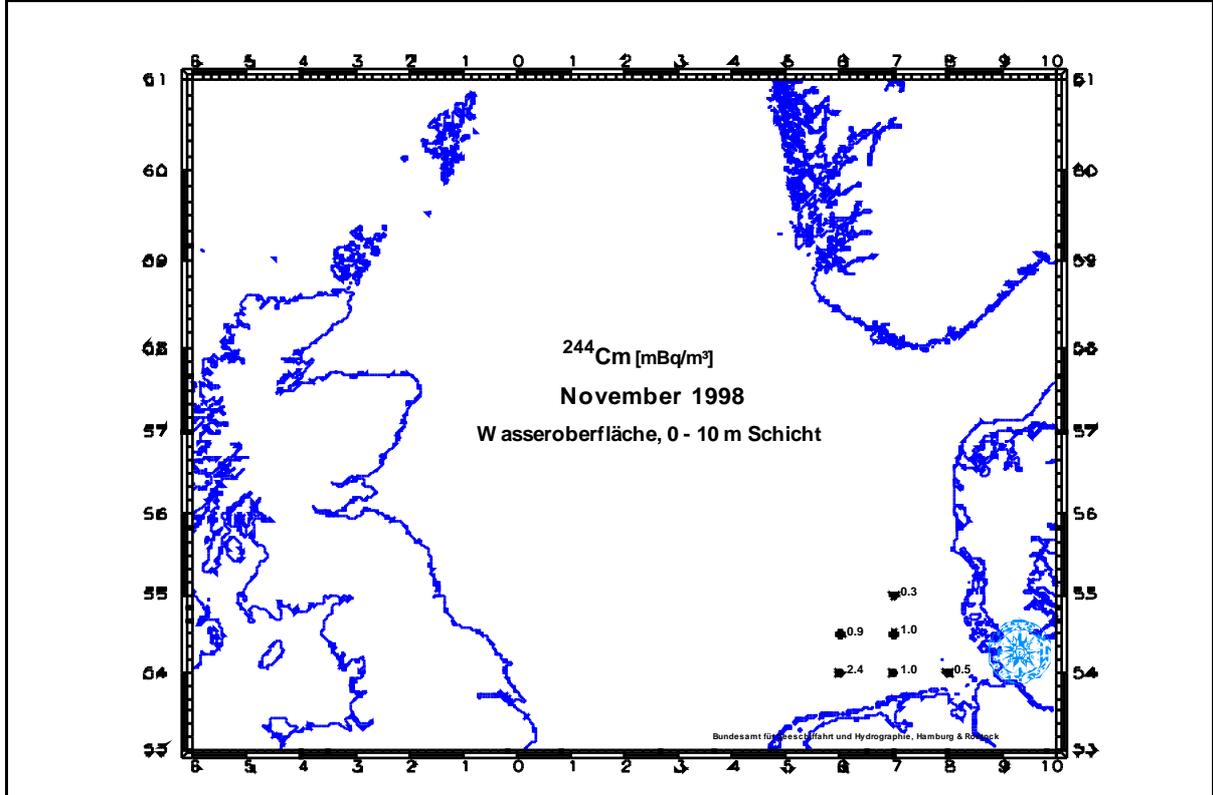
BSH	Die Verteilung von Plutonium-239+240 (mBq/m^3) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	7
------------	---	---



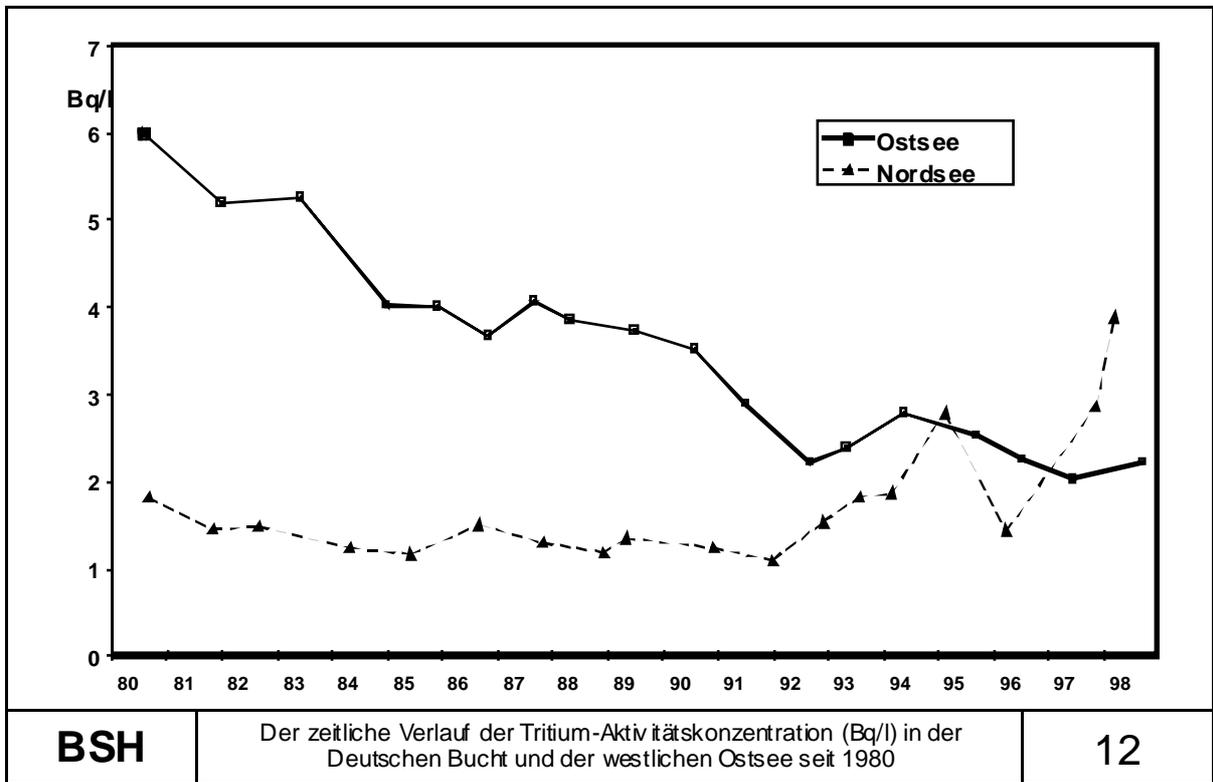
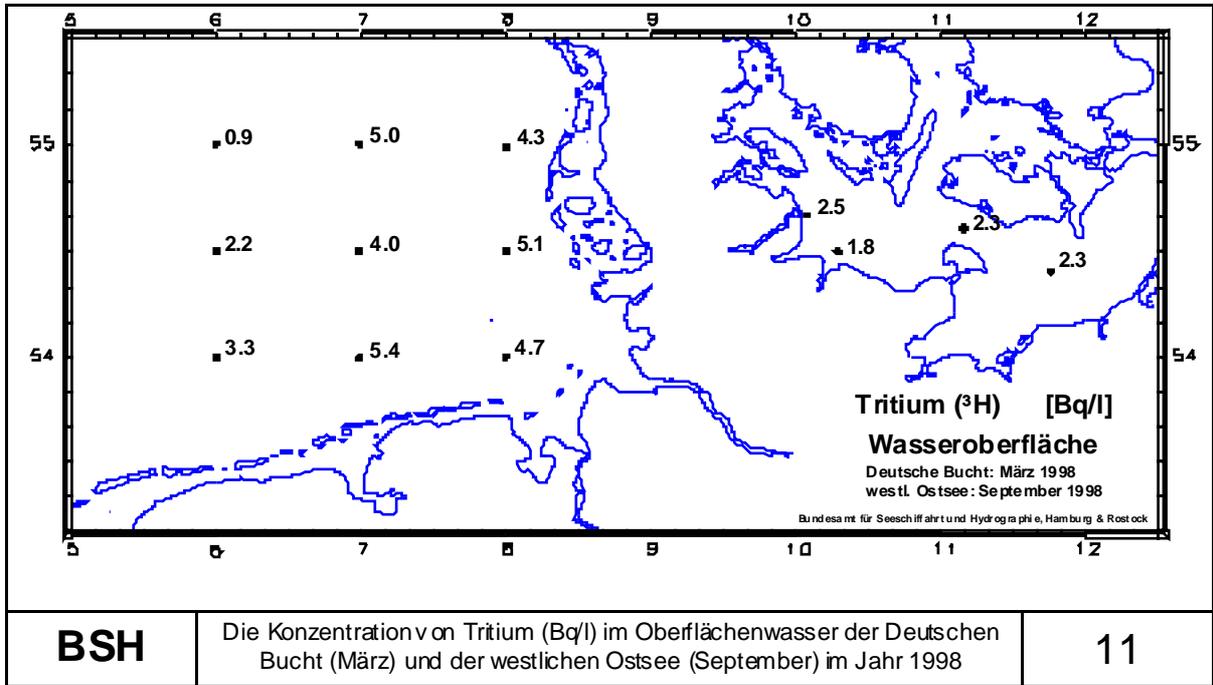
BSH	Die Verteilung von Plutonium-238 (mBq/m^3) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	8
------------	---	---

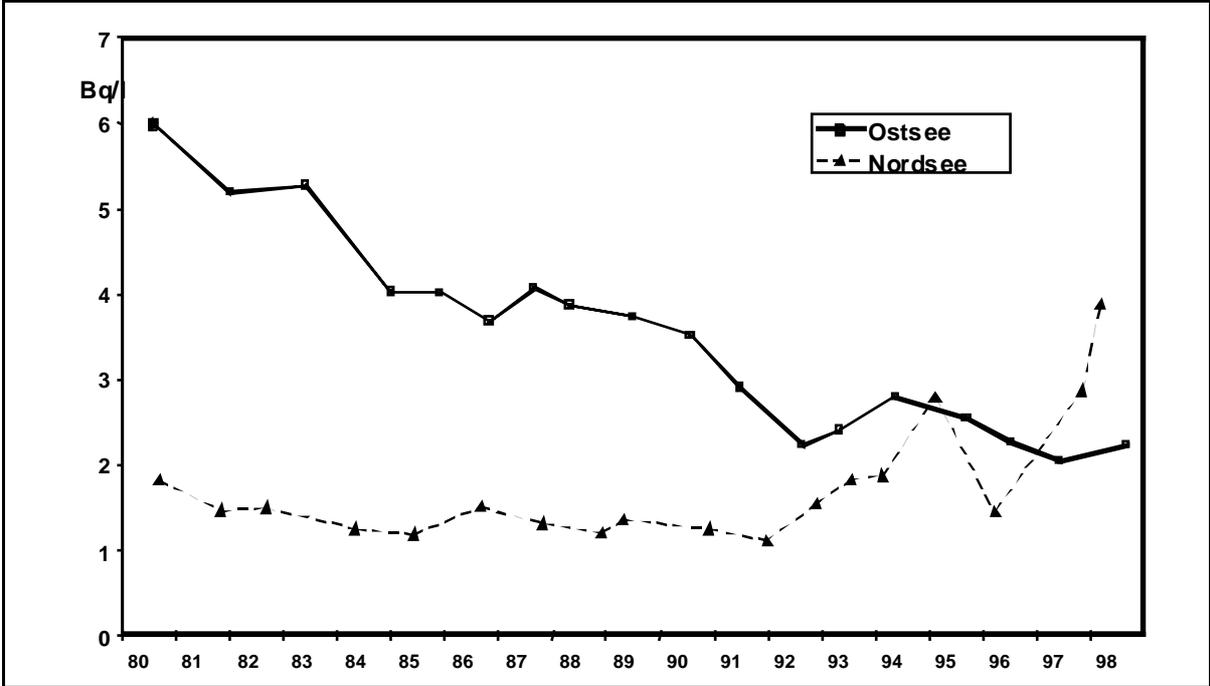


BSH	Die Verteilung von Americium-241 (mBq/m^3) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	9
------------	--	---



BSH	Die Verteilung von Curium-244 (mBq/m^3) in den Gewässern der nördlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und um die Orkneys im November 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	10
------------	---	----

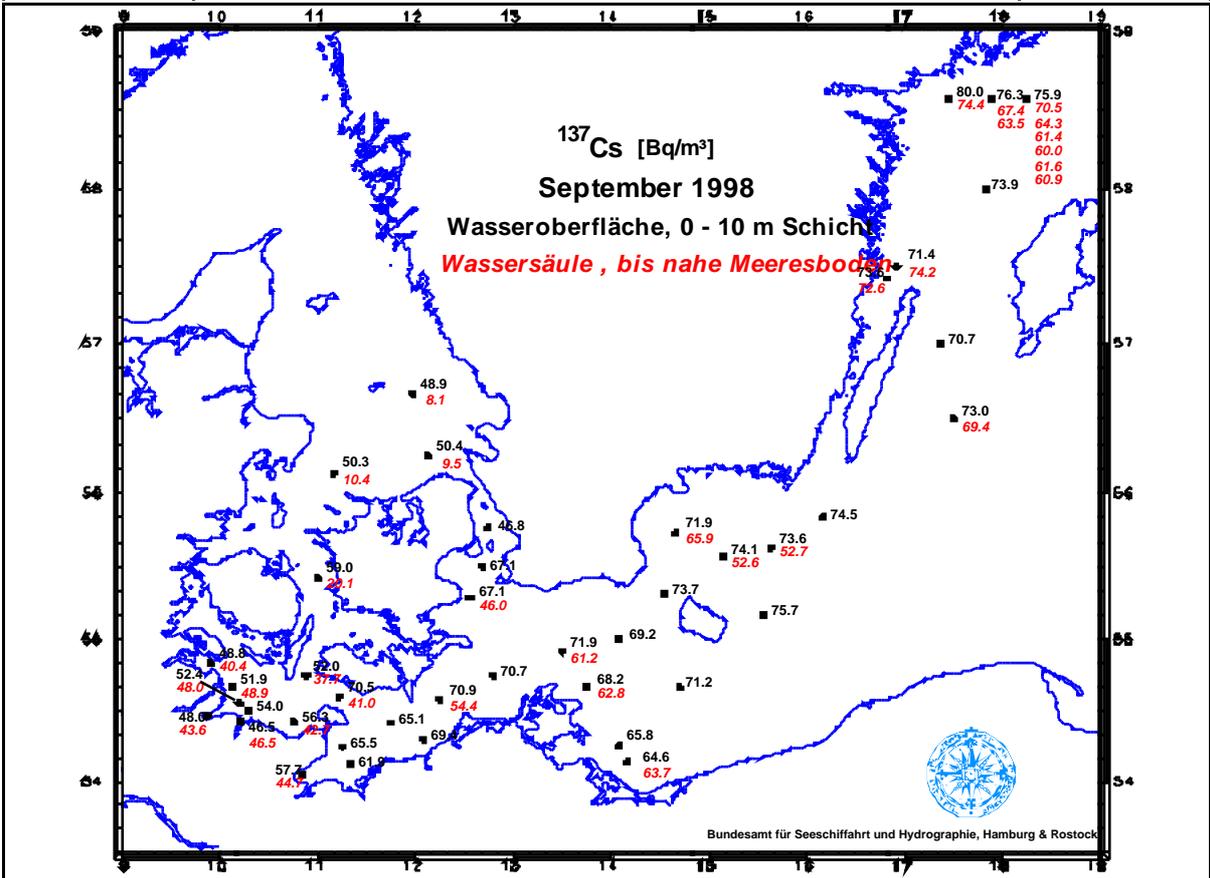




BSH

Der zeitliche Verlauf der Cäsium-137- und Strontium-90-Aktivitätskonzentration (Bq/l) in der Position Schleimündung seit 1961

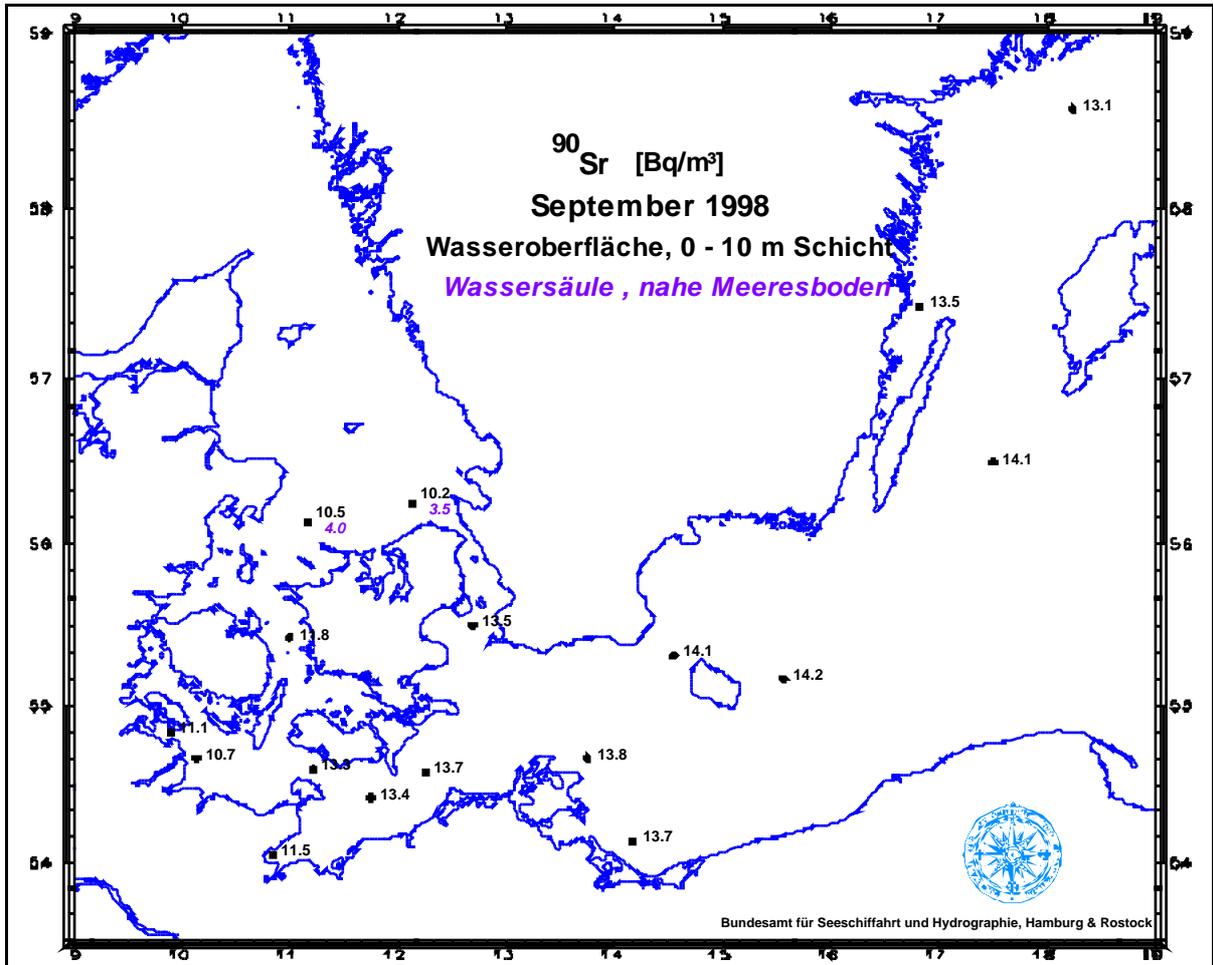
13



BSH

Der Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m³) im Wasser der westlichen und Teilen der zentralen Ostsee im September 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

14



BSH

Der Verteilung von Strontium-90 (Bq/m³) im Wasser der westlichen und Teilen der zentralen Ostsee im September 1998 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

15

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment (Fortsetzung)

Sedimente

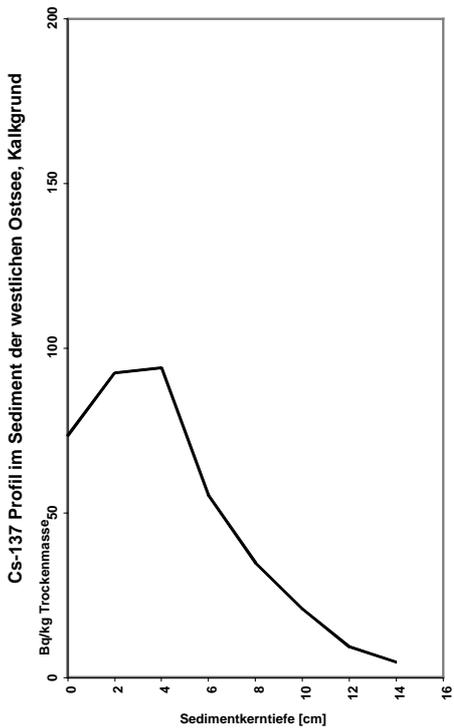
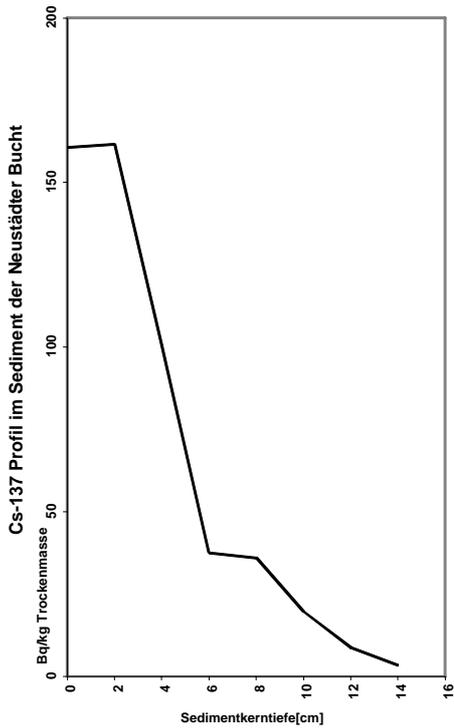
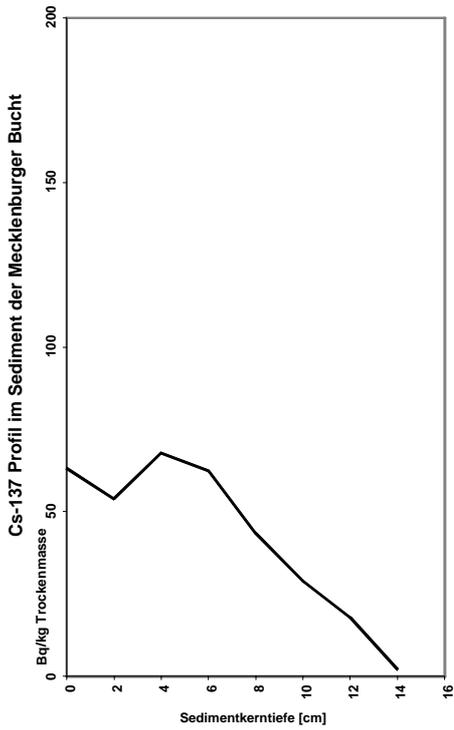
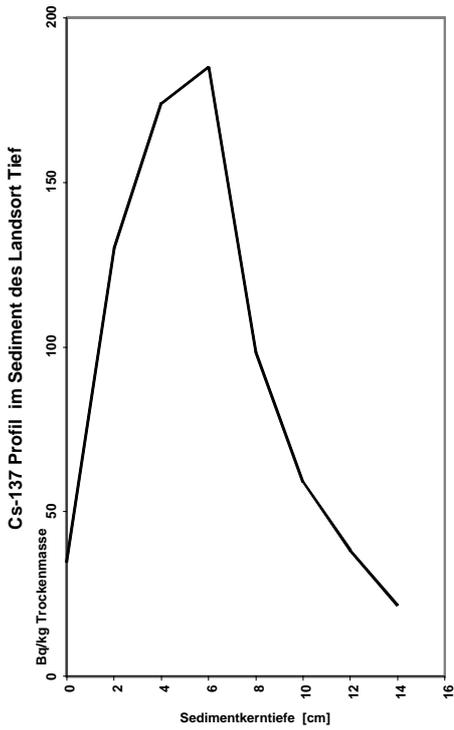
Das Sediment ist eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich die radioaktiven Nuklide durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen weitgehend irreversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule "ausgekämmt" und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird. Es ist jedoch zu bedenken, dass alle Vorgänge zwischen Wasser und Sediment Gleichgewichtsprozesse sind, die je nach chemischen und physikalischen Gegebenheiten auch eine Resuspendierung, d.h. Wiederfreisetzung der abgelagerten Radionuklide ermöglichen.

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 in der Ostsee kleiner ist, andererseits liegt dies auch darin begründet, dass die geringere Turbulenz im Wasser der Ostsee zu einem Sedimentieren der feinen Partikel führt. Auch die höhere Flächen-deposition des Tschernobyl-Eintrages auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider.

Die Deposition des Cs-137 aus dem Tschernobylunfall in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee ist regional sehr unterschiedlich erfolgt. 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 und dem Landsort Tief ist in Abbildung 16 dargestellt. Die örtlich stark variierende Deposition ist ausschließlich auf Unterschiede in den Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. Die Aktivitätskonzentrationen im Meerwasser sind wesentlich gleichförmiger (siehe auch Abb. 14)

Die resultierenden Inventare an Cs-137 sind für die westliche und Teile der zentralen Ostsee in Abbildung 17 dargestellt. Im Bereich der deutschen Wirtschaftszone wurden 1998 Inventare von 0,9 bis 4,7 kBq/m² ermittelt.

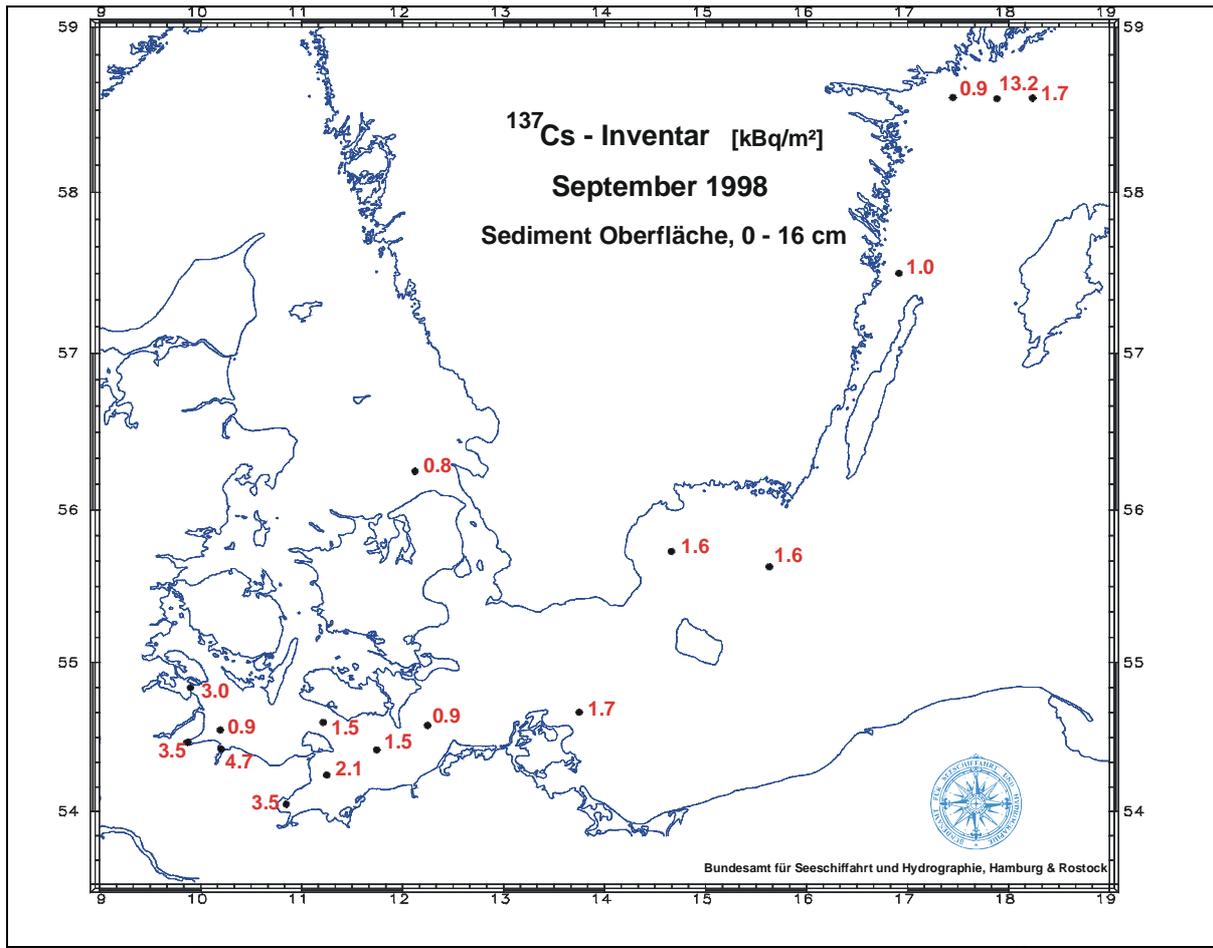
Cs-137- Profile in Sedimenten der Ostsee 1998



BSH

Cäsium-137-Profile (Bq/kg TM) in Sedimenten der westlichen Ostsee und des Landsort Tiefs

16



BSH	Das Inventar von Cäsium-137 (kBq/m ²) in Sedimentoberflächen bis 16 cm Sedimentkerntiefe in der westlichen und Teilen der zentralen Ostsee im September 1998	17
------------	--	-----------

3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)

3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 1998 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze, Minimal- und Maximalwerte sowie der Median der Aktivitätskonzentration. Eine ausführliche Auflistung der Daten erfolgt in einem ergänzenden Materialienband (BfS-Bericht: Materialienband 1998 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1998 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung").

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 68 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für **Cäsium-137** liegen mit Ausnahme eines Messwertes unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,3 mBq/l bis 6,5 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Messwert liegt bei 2,3 mBq/l (1997: 1,1 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt <3,9 mBq/l (1997: <3,9 mBq/l).

In 24 % der gemessenen Proben konnte **Strontium-90** mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,5 mBq/l bis 6,1 mBq/l (1997: 0,6 bis 12 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 3,5 mBq/l (1997: <2,7 mBq/l).

Tritium wurde in 8 Proben in Konzentrationen von 1,2 Bq/l bis 2,3 Bq/l (1997: 1,3 bis 2,6 Bq/l) nachgewiesen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die derzeitige Tritiumkonzentration im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegt (Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim).

Trinkwasser

Von den amtlichen Messstellen der Länder wurden Messwerte für 79 Trinkwasser- und 53 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 94 % der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,096 mBq/l bis 15 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,14 mBq/l und 17 mBq/l (1997: 0,098 und 34 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <4,8 mBq/l (1997: 4,8 mBq/l).

In 54 % der untersuchten Proben konnte **Strontium-90** nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,055 mBq/l und 10 mBq/l (1997: 0,2 und 13 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 4,7 mBq/l (1997: 4,9 mBq/l). Der Median zeigt den aus dem Fallout der Kernwaffenversuche in den 60er Jahren herrührenden Einfluss von Oberflächenwasser und oberflächennahem Grundwasser auf die Trinkwassergewinnung an; die höchsten Werte stammen von Trinkwassergewinnungsanlagen, die Oberflächenwasser (z. B. aus Talsperren) aufbereiten.

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 0,001 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 1998

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		Gesamt	<NWG			
Grundwasser(Bq/l)						
alle Bundesländer	Cs-137	117	116	0,0023	0,0023	<0,0039
	K-40	117	50	0,0087	2,1	0,13
	Sr-90	58	44	0,0005	0,0061	0,0035
	H-3	8	0	1,2	2,3	1,5
Trinkwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Cs-137	268	253	0,00014	0,017	<0,0048
	K-40	268	148	0,003	0,7	0,12
	Sr-90	76	35	0,000055	0,01	0,0047

3.4.2 Milch und Milchprodukte

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponiertem **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 1997 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 1998.

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 Jahr 1998 durchschnittlich 0,5 Bq/kg (Bandbreite: 0,2 bis 0,9 Bq/kg).

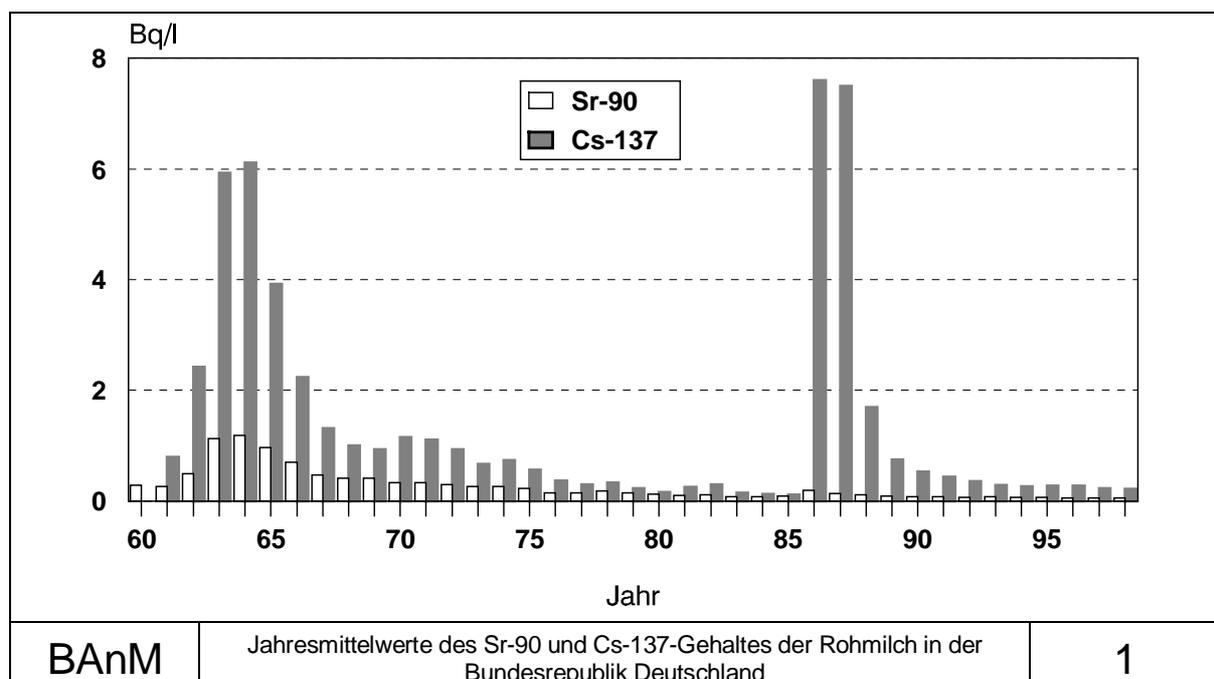


Tabelle 1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden - Württemberg	1996	34	0,10	94	<0,19
	1997	35	0,10	96	<0,18
	1998	36	0,10 (0,05 - 0,19)	98	<0,17 (<0,04 - 0,80)
Bayern	1996	107	0,06	274	<0,33
	1997	104	0,06	272	<0,29
	1998	104	0,06 (0,02 - 0,45)	260	<0,25 (0,04 - 0,80)
Berlin	1996	12	0,04	25	<0,29
	1997	12	0,05	23	<0,12
	1998	12	0,03 (0,01 - 0,07)	24	<0,22 (<0,02 - 1,10)
Brandenburg	1996	12	0,07	36	<0,51
	1997	12	0,06	36	<0,38
	1998	12	0,06 (0,05 - 0,08)	36	<0,47(<0,07 - 1,80)
Bremen	1996	12	<0,03	12	<0,47
	1997	11	<0,06	11	<0,40
	1998	12	<0,06 (<0,02 - 0,13)	12	0,52 (0,03 - 1,44)
Hamburg	1996	12	0,05	12	<0,15
	1997	12	0,04	12	<0,13
	1998	12	0,05 (0,03 - 0,09)	12	<0,13 (<0,09 - <0,15)
Hessen	1996	27	0,06	56	<0,17
	1997	25	0,08	50	<0,23
	1998	15	0,05 (0,04 - 0,07)	41	<0,23 (0,05 - 1,18)
Mecklenburg - Vorpommern	1996	46	0,04	70	<0,33
	1997	46	0,04	70	<0,25
	1998	46	0,04 (0,02 - 0,07)	70	<0,22 (<0,04 - 1,25)
Niedersachsen	1996	141	0,05	246	<0,36
	1997	101	0,05	222	<0,29
	1998	134	0,05 (0,03 - 0,07)	245	<0,31 (<0,06 - 1,56)
Nordrhein - Westfalen	1996	48	<0,04	133	<0,18
	1997	54	<0,05	148	<0,15
	1998	48	<0,04 (<0,01 - 0,08)	137	<0,13 (0,02 - 0,64)
Rheinland - Pfalz	1996	22	0,06	36	<0,10
	1997	23	0,06	49	<0,13
	1998	25	0,05 (0,03 - 0,08)	60	<0,13 (0,03 - 0,37)
Saarland	1996	12	<0,04	11	<0,20
	1997	12	<0,03	12	<0,20
	1998	12	<0,03 (<0,02 - 0,05)	12	<0,20 (<0,20 - 0,20)
Sachsen	1996	12	0,05	24	<0,05
	1997	12	0,04	24	<0,06
	1998	12	0,04 (0,03 - 0,06)	24	<0,06 (<0,01 - <0,11)
Sachsen - Anhalt	1996	23	<0,05	35	<0,43
	1997	16	<0,06	40	<0,31
	1998	12	<0,04 (<0,02 - 0,07)	36	<0,23 (<0,06 - 2,40)
Schleswig - Holstein	1996	49	0,06	109	<0,18
	1997	52	0,05	112	<0,14
	1998	51	0,05 (0,03 - 0,08)	112	<0,15 (<0,04 - 0,60)
Thüringen	1996	24	0,04	36	<0,06
	1997	19	0,03	31	<0,08
	1998	21	0,03 (0,02 - 0,04)	33	<0,09 (0,03 - 0,37)
Bundesrepublik (gesamt)	1996	593	<0,05	1209	<0,27
	1997	546	<0,05	1208	<0,23
	1998	564	<0,05 (<0,01 - 0,45)	1212	<0,22 (<0,01 - 2,40)

Tabelle 2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten

Produkt	N	Cs-134 Bq/kg		Cs-137 Bq/kg	
		max. Wert	min. Wert	max. Wert	min. Wert
Rohmilch	1212	< 0,80	< 0,01	2,40	< 0,01
Trinkmilch	87	< 0,21	< 0,01	0,95	< 0,02
Buttermilch	10	< 0,23	< 0,02	0,42	< 0,04
Sahne	5	< 0,15	< 0,07	0,31	< 0,24
Kondensmilch	1	0,10	-	0,20	-
Joghurt	16	< 0,17	< 0,08	0,83	< 0,13
Kefir	4	< 0,10	< 0,02	0,23	< 0,03
Dickmilch	4	< 0,11	< 0,03	1,10	< 0,04
Mischmilcherzeugnisse	11	< 0,17	< 0,08	0,66	< 0,17
Milcheiweißprodukte	1	< 0,15	-	< 0,28	-
Quark	12	< 0,20	< 0,03	0,49	< 0,04
Frischkäse	11	< 0,20	< 0,02	0,43	< 0,02
Käse	11	< 0,19	< 0,09	< 0,28	< 0,11
Milchpulver (alle Sorten)	7	< 0,44	< 0,11	6,10	< 0,23
Importe					
Sahne	1	< 0,09	-	< 0,16	-
Quark	1	-	-	0,08	-
Käse	136	< 0,76	< 0,03	1,03	< 0,04
Frischkäse	6	< 0,11	< 0,08	0,21	< 0,06
Schmelzkäse	2	-	-	< 0,15	< 0,08
Schafskäse	18	< 0,19	< 0,02	< 0,35	< 0,06
Ziegenkäse	4	< 0,15	< 0,10	0,53	< 0,09
Milchpulver	1	< 0,18	-	3,33	-

3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Routinemessprogramm der Länder

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 1998 zusammengefassten **Cäsium-137**-Gehalte unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte durchgeführt (Statistik von Datensätzen mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze, nach Helsel und Cohn). 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 unterhalb der Nachweisgrenze liegenden Werte.

Bei der Auswertung wurde nicht nach Fischarten unterschieden. Da die **Cäsium-137**-Gehalte im Fisch im wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fisch im Jahr 1998 ein Wert zwischen 0,014 und 0,010 zu erwarten. Die verwendeten Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich im Folgenden immer auf die Feuchtmasse.

Tabelle 1 zeigt für 1998 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 0,01 (Süddeutschland) und 0,009 (Norddeutschland).

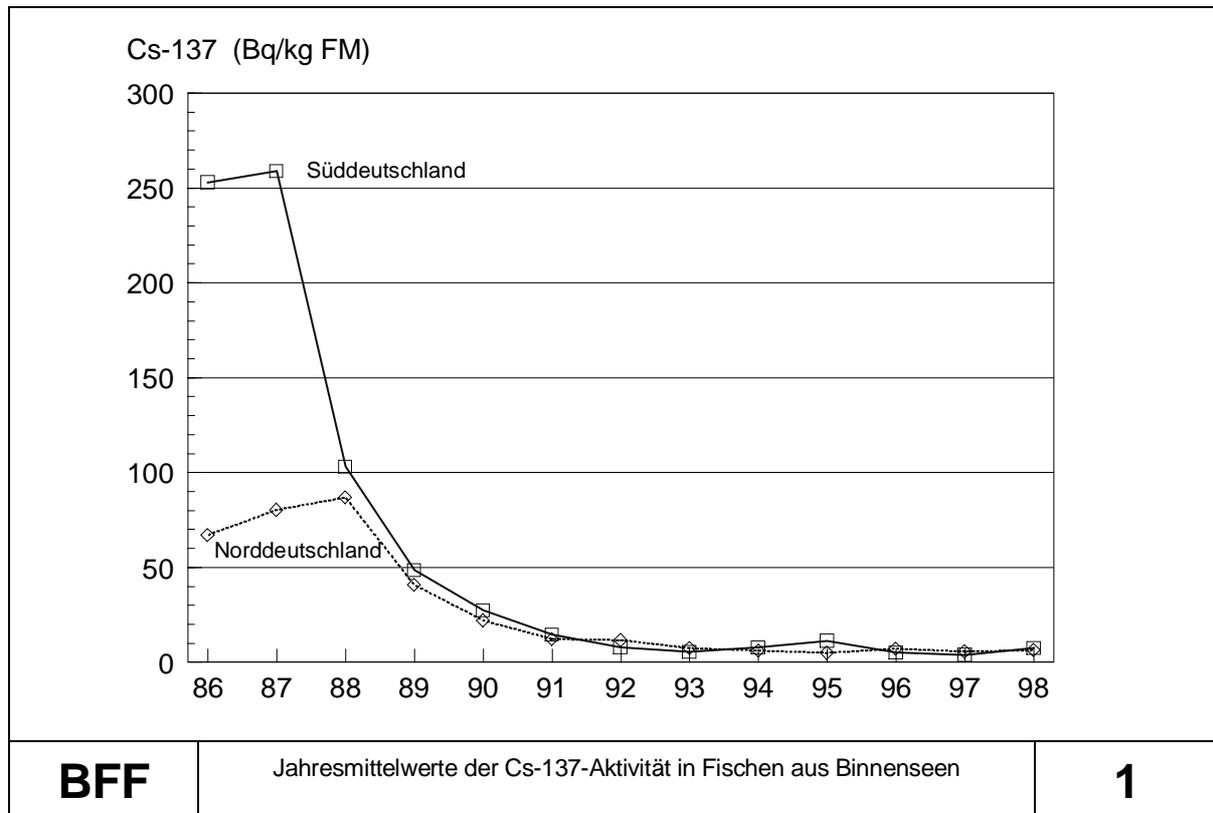
Tabelle 1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen (1998)

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

Gewässer	Region	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Binnenseen	Süddeutschland	59	0	7,6	0,3	102
	Mitteldeutschland	4	0	0,38	0,25	1,4
	Norddeutschland	71	0	6,4	0,30	49
Fischteiche	Süddeutschland	26	9	0,30	0,11	2,0
	Mitteldeutschland	22	6	0,57	<0,14	6,1
	Norddeutschland	14	3	0,58	<0,1	2,8
Fließgewässer	Süddeutschland	13	6	0,16	<0,1	4,2
	Mitteldeutschland	30	2	0,29	0,11	4,9
	Norddeutschland	12	0	0,63	0,2	3,2
nicht spezifizierte Gewässer	Mitteldeutschland	1	1	<0,33	<0,33	<0,33

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 1998 ist keine nennenswerte Abnahme gegenüber 1993 mehr festzustellen. Die mittleren Cs-137-Gehalte der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren wie in den Vorjahren etwa 10-fach niedriger als die aus Binnenseen.

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.



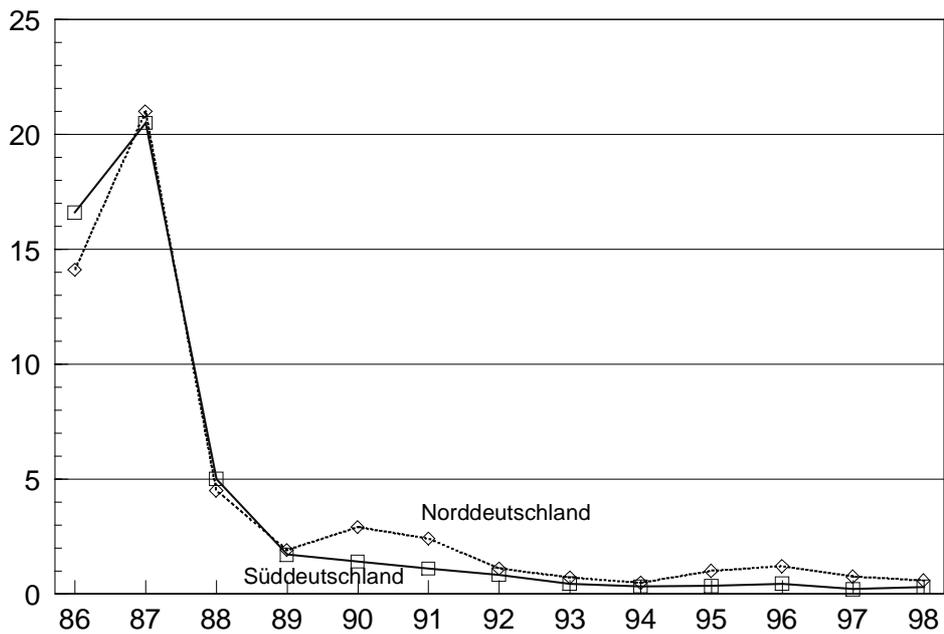
Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Gehalte (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Gehalte ergibt, dass wie in den Vorjahren (vgl. Abb. 4) auch 1998 Forellen geringfügig niedriger kontaminiert waren als Karpfen.

Tabelle 2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (1998)

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

Fisch	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Forellen	44	15	0,33	<0,1	24
Karpfen	38	7	0,47	<0,1	2,8

Cs-137 (Bq/kg FM)

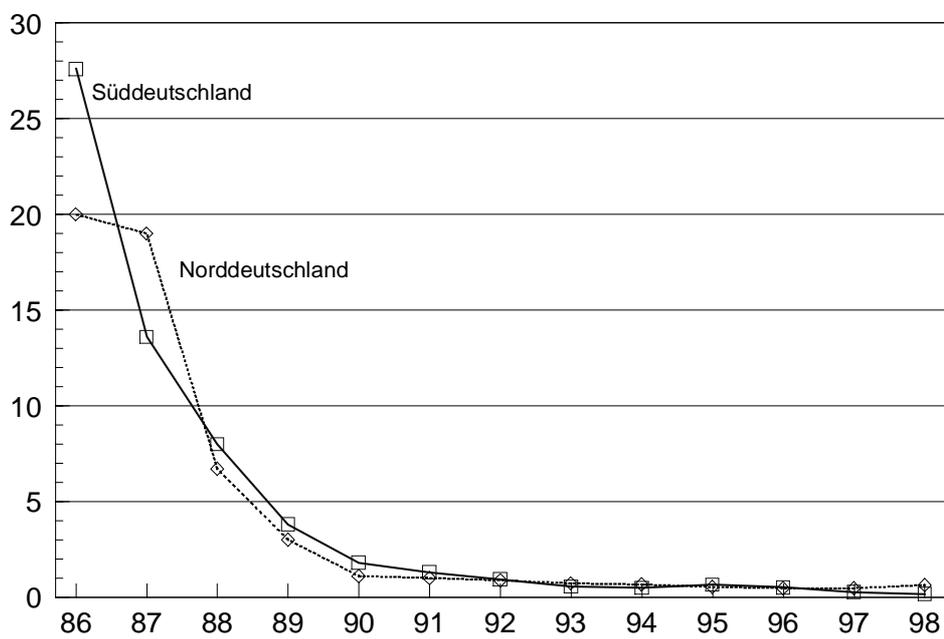


BFF

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen

2

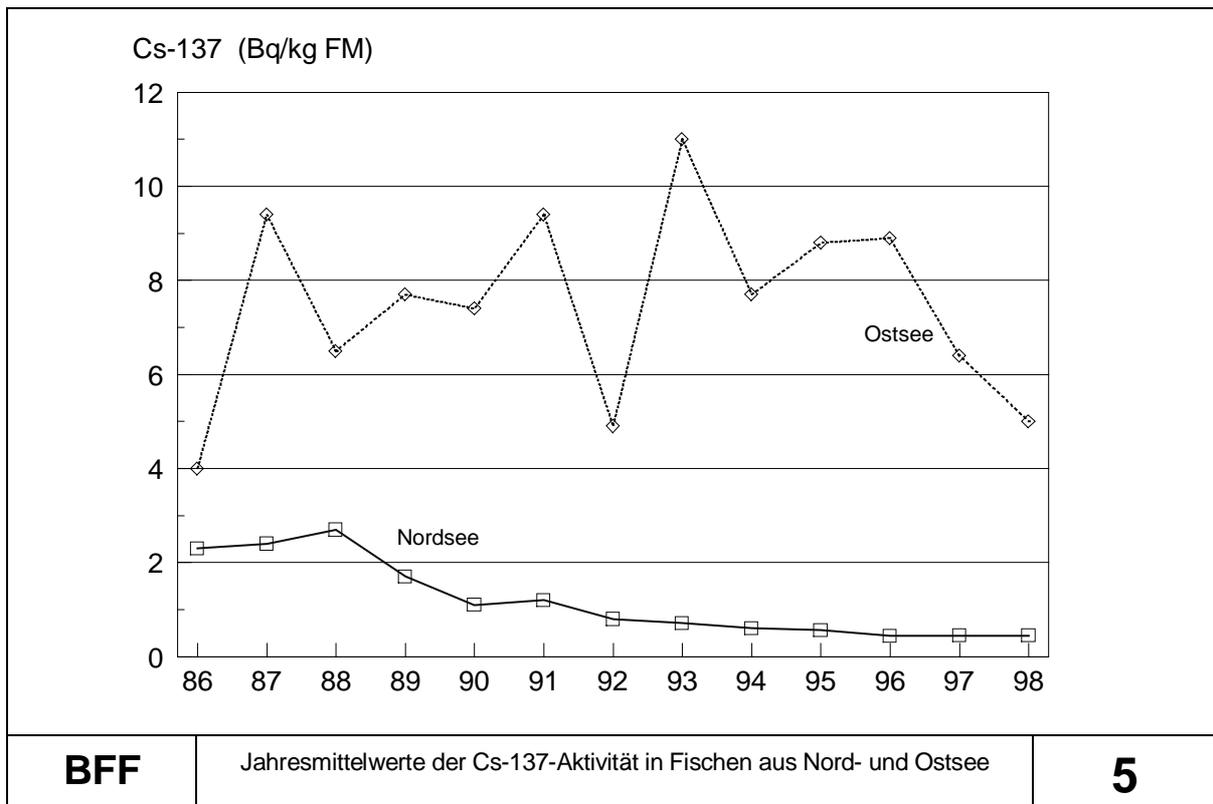
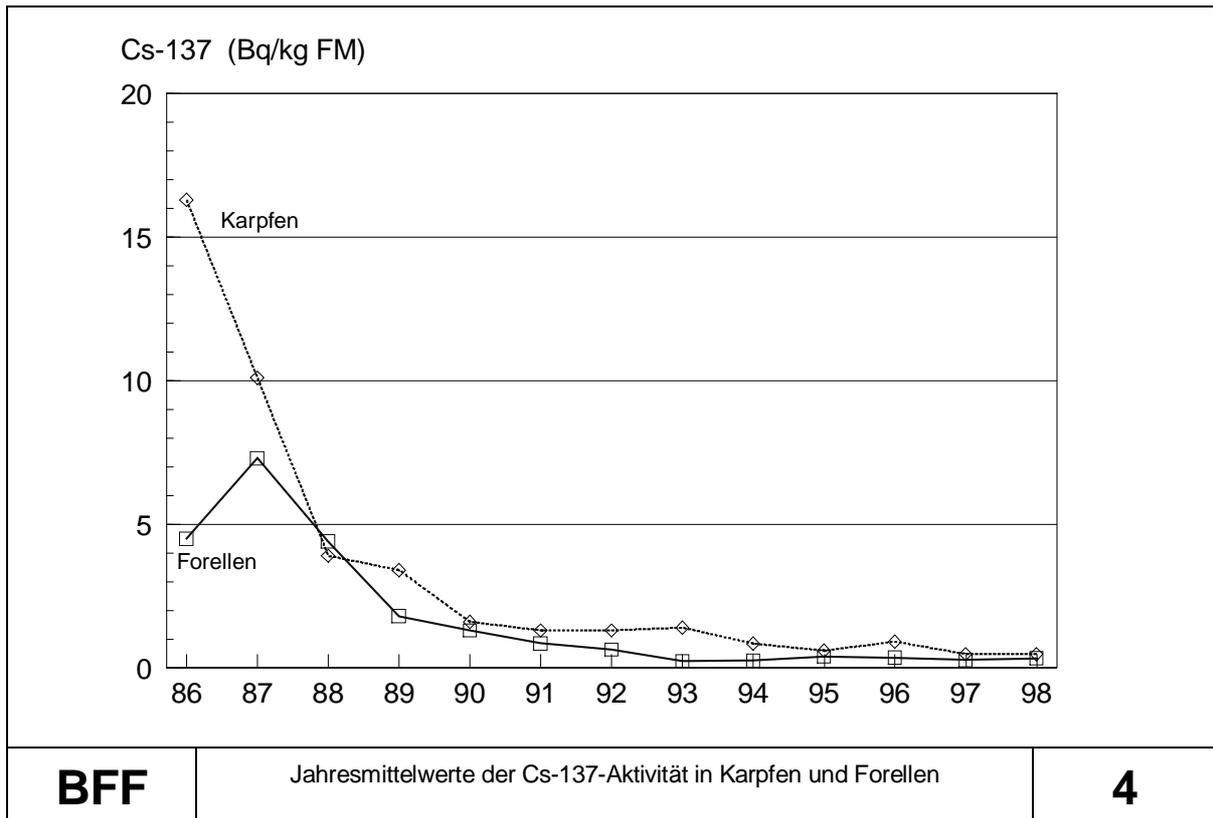
Cs-137 (Bq/kg FM)



BFF

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern

3



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 1998 die meisten Cs-137-Werte deutlich unter maximal 1,7 Bq/kg; im Mittel bei etwa 0,45 Bq/kg (1997: 0,45 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 das Cs 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 (1998: maximal 21 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 (1998)

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

Gewässer	Probenart	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Nordsee	Fische	74	3	0,45	<0,1	1,7
	Garnelen	15	11	0,073	<0,1	0,22
	Miesmuscheln	17	12	0,11	<0,1	0,15
Ostsee	Fische	43	1	5,0	<0,1	21

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen der Länder entnommene Proben von Garnelenfleisch wiesen einen Cs-137-Gehalt von etwa 0,07 Bq/kg (1997: 0,08 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln betrug er etwa 0,11 Bq/kg (1997: 0,08 Bq/kg); vgl. Tab. 3.

Die 1998 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 4) lagen bei 0,24 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 (1998)

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

Probenart	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min.-Wert Bq/kg FM	Max.-Wert Bq/kg FM
Süßwasserfisch	20	9	0,24	<0,1	1,9
Seefisch	95	19	0,32	<0,1	18
Krusten- u. Schalentiere	17	13	0,084	0,085	0,47

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten **Strontium-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 doppelt so groß war wie bei Fließgewässern und Fischteichen.

Tabelle 5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (1998)

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

Probenart	Gewässer	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Fisch	Binnenseen	16	4	0,055	<0,008	0,30
	Fischteiche	8	5	0,030	<0,01	0,030
	Fließgewässer	9	3	0,020	0,0046	0,048
	Meere	5	2	0,018	<0,013	0,041
Garnelen	Nordsee	12	6	0,018	<0,02	0,064
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	0,024	<0,02	0,048

Routineprogramm der Leitstelle

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für Proben aus der Nordsee, die im Mai und im Dezember 1998 mit dem FFS "Walther Herwig III" genommen wurden und nach Veraschung sowohl γ -spektrometrisch als auch - in sehr geringem Umfang - auf Sr-90, **Plutonium-Isotope** und **Americium-241** untersucht wurden bzw. noch analysiert werden. 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 0,43 und 0,60 Bq/kg. Das mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnis betrug etwa 0,006 (1997: 0,007). 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. Sr-90 wurde bisher in nur 3 Proben bestimmt. Messwerte für Plutonium und Americium stehen noch aus.

Tabelle 6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee (1998)

Ergebnisse zweier "Walther-Herwig-III"-Fahrten im Mai und im Dezember 1998
 Probeentnahme zwischen 5°40' und 58° Nord, Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei. (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Hering, Filet	Cs-137	3	0	0,54	0,49	0,58
Kabeljau, Filet	Cs-137	11	0	0,60	0,35	1,7
Kabeljau, Leber	Co-60	11	7	0,015	0,013	0,039
	Ag-108m	11	6	0,0088	0,0055	0,10
	Cs-137	11	0	0,17	0,053	0,57
Makrele, Fleisch	Cs-137	7	0	0,43	0,29	0,76
Scholle, Fleisch	Cs-137	4	0	0,51	0,20	0,59
Sprotte, Gesamt	Cs-137	2	0	0,49	0,33	0,65

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (25 Messungen, nn=22): etwa 0,006

Sr-90-Gehalte im Fischfilet (3 Messungen, nn=3): <0,0026 Bq/kg FM

Ebenfalls im Mai und Dezember 1998 wurden mit dem FFS "Walther Herwig III" Fischproben aus der Ostsee entnommen (Kieler Bucht im Westen und südlich von Öland und Gotland im Osten), die nach Veraschung der Proben bisher überwiegend nur γ -spektrometrisch untersucht wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 über alle Stationen gemittelt zusammengefasst. Weitere Bestimmungen von Strontium-90 und der Plutonium-Isotope stehen noch aus.

Tabelle 7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee (1998)

Ergebnisse zweier "Walther-Herwig-III"-Fahrten im Mai (3 Fischproben) und Dezember (18 Fischproben) 1998; Probeentnahme zwischen 10°30' und 19° Ost;
 Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei
 (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Flunder, Fleisch	Cs-137	3	0	9,7	5,2	13
Hering, Filet	Cs-137	2	0	2,9	1,9	3,9
Kabeljau, Filet	Sr-90	4	0	0,0027	0,0019	0,0039
	Cs-137	9	0	15,6	7,5	21
	Pu-239+240	1	1	<0,000029	<0,000029	<0,000029
	Ag-108m	9	5	0,0069	0,0061	0,013
Kabeljau, Leber	Cs-137	9	0	2,7	0,75	6,2
	Cs-134/Cs-137	9	1	0,0103	0,0097	0,016
Scholle, Fleisch	Cs-137	2	0	5,4	2,2	8,6

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (16 Messungen, nn=2): 0,0103 ± 0,0002

Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung zur Tabelle 3 eingegangen. Ähnlich wie in den Vorjahren war der Cs-137-Gehalt im Kabeljaufleisch in den weiter östlich gelegenen Gebieten der Ostsee (11 bis 21 Bq/kg) mehr als etwa 2-fach höher als in der Kieler Bucht (7,7 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 Dezember 1998 mit dem für den Tschernobyl-Fallout charakteristischen Wert von 0,0104 präzise überein. Das in der Dorschleber gefundene langlebige Silberisotop Ag-108m wies ähnliche, sehr niedrige Werte wie in den Vorjahren auf (Tabelle 7).

Die Ergebnisse für Garnelenproben aus dem Ost- und Nordfriesischen Watt, die 1998 über das Jahr verteilt genommen wurden, sind in Tab. 8 dargestellt. Diese Proben wurden zur Analyse verascht. Cs-134 wurde in den Proben nicht nachgewiesen. Das in einer Probe bestimmte Verhältnis Pu-238/Pu-239+240 ist mit 0,43 höher als in den Vorjahren bestimmte Werte bei 0,23. Ergebnisse weiterer radiochemischer Analysen stehen noch aus.

Tabelle 8 Radionuklidgehalte von Miesmuscheln und Garnelen der Nordsee (1998)

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

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Garnelenfleisch	Co-60	6	4	0,013	0,012	0,013
	Sr-90	1	1	<0,0086	<0,0086	<0,0086
	Cs-137	6	0	0,092	0,060	0,13
	Pu-238	1	0	0,000052	0,000052	0,000052
	Pu-239+240	1	0	0,00012	0,00012	0,00012
	Am-241	1	0	0,000076	0,000076	0,000076

3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel

Einzellebensmittel

Das vor und nach dem Tschernobylunfall deponierte **Cäsium-137** in Nahrungsmitteln führt auch im Jahr 1998 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 (Tab.8), Speisepilze (Tab. 11) mit Ausnahme von Kulturpilzen, Wildbeeren (Tab.12) und Blütenhonig (Tab. 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 1998

Bundesland	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	35	<0,10 (<0,05 - <0,15)	7	0,19 (0,12 - 0,27)
Bayern	43	<0,21 (<0,10 - 0,69)	6	0,15 (0,05 - 0,26)
Berlin	2	<0,13 (<0,11 - <0,15)	1	0,20
Brandenburg	18	<0,11 (<0,06 - 0,20)	1	0,42
Bremen	3	<0,11 (<0,03 - <0,15)		
Hamburg	4	<0,14 (<0,11 - <0,17)		
Hessen	13	<0,17 (<0,10 - <0,22)		
Mecklenburg-Vorpommern	31	<0,11 (<0,05 - <0,21)	2	0,13 (0,09 - 0,17)
Niedersachsen	36	<0,15 (<0,05 - 0,73)	4	0,26 (0,13 - 0,43)
Nordrhein-Westfalen	32	<0,14 (<0,05 - <0,25)	1	<0,09
Rheinland-Pfalz	25	<0,11 (<0,03 - <0,25)	1	0,11
Saarland	1	<0,20		
Sachsen	10	<0,14 (<0,11 - 0,19)	3	0,10 (0,05 - 0,14)
Sachsen-Anhalt	13	<0,12 (<0,07 - 0,31)	3	0,25 (0,03 - 0,60)
Schleswig-Holstein	34	<0,10 (<0,06 - 0,24)	4	0,17 (0,15 - 0,19)
Thüringen	22	<0,11 (<0,09 - <0,17)	1	0,05
Bundesrepublik (gesamt)	322	<0,13 (<0,03 - 0,73)	34	<0,18 (0,03 - 0,6)

Tabelle 2 Weizen, Einfuhr 1998

Land	N	Cs-137 Bq/kg FM
		Mittelwert (Bereich)
Dänemark	1	<0,15
Frankreich	4	<0,19 (<0,16 - <0,20)
Kanada	1	<0,10
Türkei	2	<0,13 (<0,10 - <0,15)
USA	1	<0,12

Tabelle 3 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Gerste	113	<0,17 (<0,05 - <3,4)	11	0,20 (0,30 - 0,34)
Hafer	26	<0,87 (<0,06 - 9,37)	2	0,36 (0,19 - 0,52)
Mais	2	<0,10 (<0,09 - <0,10)		
Reis	17	<0,14 (<0,07 - <0,30)		
Roggen	179	<0,19 (<0,03 - 1,80)	20	0,32 (0,04 - 1,55)

Tabelle 4 Kalbfleisch, Inland 1998

Bundesland	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	7	<0,94 (<0,24 - 3,0)
Bayern	8	<0,77 (<0,10 - 1,5)
Berlin	2	1,0 (0,50 - 1,5)
Brandenburg	4	5,45 (0,60 - 17,0)
Bremen	2	0,58 (0,20 - 0,96)
Hamburg	3	<1,13 (0,5 - <2,0)
Hessen	2	0,60 (0,29 - 0,92)
Mecklenburg-Vorpommern	5	0,85 (0,40 - 1,38)
Niedersachsen	22	<1,50 (<0,07 - 11,9)
Nordrhein-Westfalen	15	<0,5 (0,06 - 1,3)
Rheinland-Pfalz	2	0,19 (0,12 - 0,25)
Saarland	3	<0,22 (<0,20 - 0,27)
Sachsen	5	<0,35 (<0,10 - 1,04)
Sachsen-Anhalt	3	0,92 (0,22 - 1,35)
Schleswig-Holstein	3	<0,5 (<0,10 - 1,24)
Thüringen	1	<0,09
Bundesrepublik (gesamt)	87	<1,08 (0,06 - 17,0)

Tabelle 5 Rindfleisch, Inland 1998

Bundesland	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	34	<0,49 (<0,16 - 3,4)
Bayern	66	<0,61 (<0,07 - 6,81)
Brandenburg	32	<4,86 (<0,09 - 45,0)
Bremen	6	2,79 (0,28 - 11,9)
Hamburg	6	<0,72 (<0,11 - 1,85)
Mecklenburg-Vorpommern	34	<2,01 (<0,06 - 9,85)
Niedersachsen	69	<0,82 (<0,02 - 5,29)
Nordrhein-Westfalen	35	<0,21 (<0,06 - 0,53)
Rheinland-Pfalz	11	<0,22 (<0,09 - 0,66)
Saarland	6	<0,20 (<0,20 - 0,22)
Sachsen	29	<0,36 (<0,09 - 1,47)
Sachsen-Anhalt	22	<0,47 (<0,06 - 4,97)
Schleswig-Holstein	22	<0,60 (0,08 - 5,74)
Thüringen	24	<0,13 (<0,08 - 0,55)
Bundesrepublik (gesamt)	411	<1,05 (<0,02 - 45,0)

Tabelle 6 Schweinefleisch, Inland 1998

Bundesland	Cs-138 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	18	<0,24 (<0,20 - 0,7)
Bayern	34	<0,34 (<0,10 - 2,14)
Berlin	6	0,60 (0,17 - 0,87)
Brandenburg	27	<0,42 (<0,08 - 3,3)
Bremen	7	0,61 (0,10 - 2,07)
Hamburg	6	<0,37 (<0,08 - 1,0)
Hessen	9	<0,14 (<0,07 - 0,24)
Mecklenburg-Vorpommern	30	<0,24 (0,07 - 0,66)
Niedersachsen	107	<0,22 (<0,04 - 1,29)
Nordrhein-Westfalen	64	<0,15 (<0,05 - 0,34)
Rheinland-Pfalz	8	<0,24 (<0,09 - 0,83)
Saarland	6	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	24	<0,30 (<0,10 - 1,02)
Sachsen-Anhalt	34	<0,20 (<0,07 - 0,59)
Schleswig-Holstein	11	<0,26 (<0,06 - 0,91)
Thüringen	19	<0,19 (<0,06 - 1,29)
Bundesrepublik (gesamt)	410	<0,25 (<0,04 - 3,3)

Tabelle 7 Sonstiges Fleisch und Hühnereier, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Lamm /Schaf	22	<4,80 (<0,07 - 102,0)
Ente	29	<0,16 (<0,02 - 0,37)
Gans	24	<0,29 (<0,05 - 2,20)
Pute	57	<0,13 (<0,01 - 0,86)
Hähnchen	26	<0,15 (<0,04 - <0,21)
Huhn	137	<0,15 (<0,002 - 0,87)
Hühnereier	25	<0,14 (<0,07 - <0,20)

Tabelle 8 Wild, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Damwild	11	27,5 (3,4 - 46,4)
Hirsch	21	26,6 (0,12 - 96,2)
Känguru	1	0,17
Reh	165	45,1 (0,17 - 1150)
Wild, Kaninchen	1	0,18
Wild, Hase	6	0,19 (0,11 - 0,30)
Wildschwein	66	242,0 (0,08 - 3090)*

* 60 Werte sind < 1000Bq/kg FM, der Mittelwert beträgt dann 89,6 Bq/kg FM

Tabelle 9 Kartoffeln, Inland 1998

Bundesland	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	14	<0,19 (<0,08 - <0,23)	1	0,01
Bayern	35	<0,21 (<0,10 - 0,35)	3	0,05 (0,03 - 0,06)
Berlin	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)	1	0,02
Brandenburg	13	<0,15 (<0,07 - 0,40)	2	0,02 (0,01 - 0,02)
Bremen	2	<0,06 (<0,03 - 0,09)		
Hamburg	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)		
Hessen	6	<0,15 (<0,05 - <0,23)	1	0,17
Mecklenburg-Vorpommern	12	<0,09 (<0,02 - 0,21)	1	0,04
Niedersachsen	80	<0,16 (<0,01 - 1,3)	4	0,05 (0,01 - 0,10)
Nordrhein-Westfalen	16	<0,15 (<0,06 - <0,27)	6	<0,11 (<0,02 - 0,35)
Rheinland-Pfalz	6	<0,27 (<0,18 - <0,37)		
Saarland	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
Sachsen	10	<0,12 (<0,07 - <0,17)	1	0,02
Sachsen-Anhalt	9	<0,13 (<0,07 - 0,27)	2	0,01 (0,01 - 0,01)
Schleswig-Holstein	6	<0,11 (<0,06 - 0,16)	1	0,03
Thüringen	6	<0,09 (<0,08 - <0,10)	1	0,03
Bundesrepublik (gesamt)	221	<0,16 (<0,01 - 1,3)	24	<0,06 (0,01 - 0,35)

Tabelle 10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	782	<0,16 (<0,01 - <2,96)	83	0,20 (0,03 - 0,79)
Sprossgemüse	309	<0,14 (<0,01 - 1,52)	19	0,11 (0,02 - 0,22)
Wurzelgemüse	219	<0,14 (<0,001 - 0,32)	12	0,24 (0,04 - 0,87)
Hülsenfrüchte	6	<0,15 (<0,10 - <0,19)		
Kräuter	4	<2,42 (<0,13 - 5,7)		

Tabelle 11 Speisepilze, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	19	<4,16 (<0,10 - 70,4)
<u>Waldröhrenpilze</u>		
Maronenröhrling	31	172,7 (1,39 - 832)
Steinpilz	43	64,88 (2,70 - 654)
sonstige Waldröhrenpilze	31	48,01 (0,12 - 293)
<u>sonstige Waldpilze</u>		
Keulen- und Korallenpilze	2	b) 1,5 - 6,5
Pfifferling	240	150,4 (0,50 - 2660)
Riesenbovist	4	0,4 (0,15 - 0,6)
Wildblätterpilze	79	<20,96 (<0,03 - 370)
Wildschlauchpilze	1	0,74
Wildstachelpilze	2	b) 13,8 - 830

Tabelle 12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM		Sr-90 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Erdbeeren und sonst.	111	<0,13 (<0,02 - 0,59)	11	0,07 (0,01 - 0,16)
Exot. Früchte	53	<0,14 (<0,02 - 0,35)	2	0,06 (0,05 - 0,08)
Kernobst	267	<0,14 (<0,02 - 0,53)	17	<0,03 (0,01 - 0,10)
Steinobst	121	<0,14 (<0,01 - <1,0)	10	<0,04 (<0,02 - 0,08)
Strauchbeeren	25	<0,13 (<0,02 - <0,25)	4	0,06 (0,05 - 0,07)
Wildbeeren	28	<25,2 (<0,15 - 259)		
Zitrusfrüchte	18	<0,12 (<0,04 - <0,19)		

Tabelle 13 Getränke, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Fruchtsäfte	4	<0,10 (<0,02 - <0,20)
Zitrusfruchtsäfte	1	<0,12

Tabelle 14 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr 1998

Produkt	Cs-137 Bq/kg FM	
	N	Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	22	<3,4 (<0,03 - 53,0)
Blütenhonig	31	<76,4 (<0,03 - 846,0)
Honigtauuonig u. Mischung	1	1,5
Kaffee	5	<0,11 (<0,06 - <0,13)
Tee, schwarz	28	13,33(0,23 - 80,1)
Teeähnliche Erzeugnisse	5	0,75(0,09 - 2,7)
Ölsamen	9	<0,19(<0,12 - 0,36)
Schalenobst	35	<0,48 (<0,06 - 4,67)

Tabelle 15 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Strontium-90- und Cäsium-137 in ausgewählten Lebensmitteln von 1960 bis 1998, Inland
 Jahresmittelwerte in Bq/kg Feuchtmasse

Jahr	Strontium-90			Cäsium-137					
	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

Jahr	Strontium-90			Cäsium-137					
	Weizen	Kartoffeln	Kernobst	Rindfleisch	Schweinefleisch	Kalbfleisch	Weizen	Kartoffeln	Kernobst
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*

*: Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die mittlere ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr des Cs-137 kann für 1998 mit 0,22 Bq/(d-p) 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 Sr-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 : 80 Bq/(a-p)

Nachfolgend ist der zeitliche Verlauf der Cs-137- und Sr-90-Aktivitätszufuhr pro Tag und Person dargestellt.

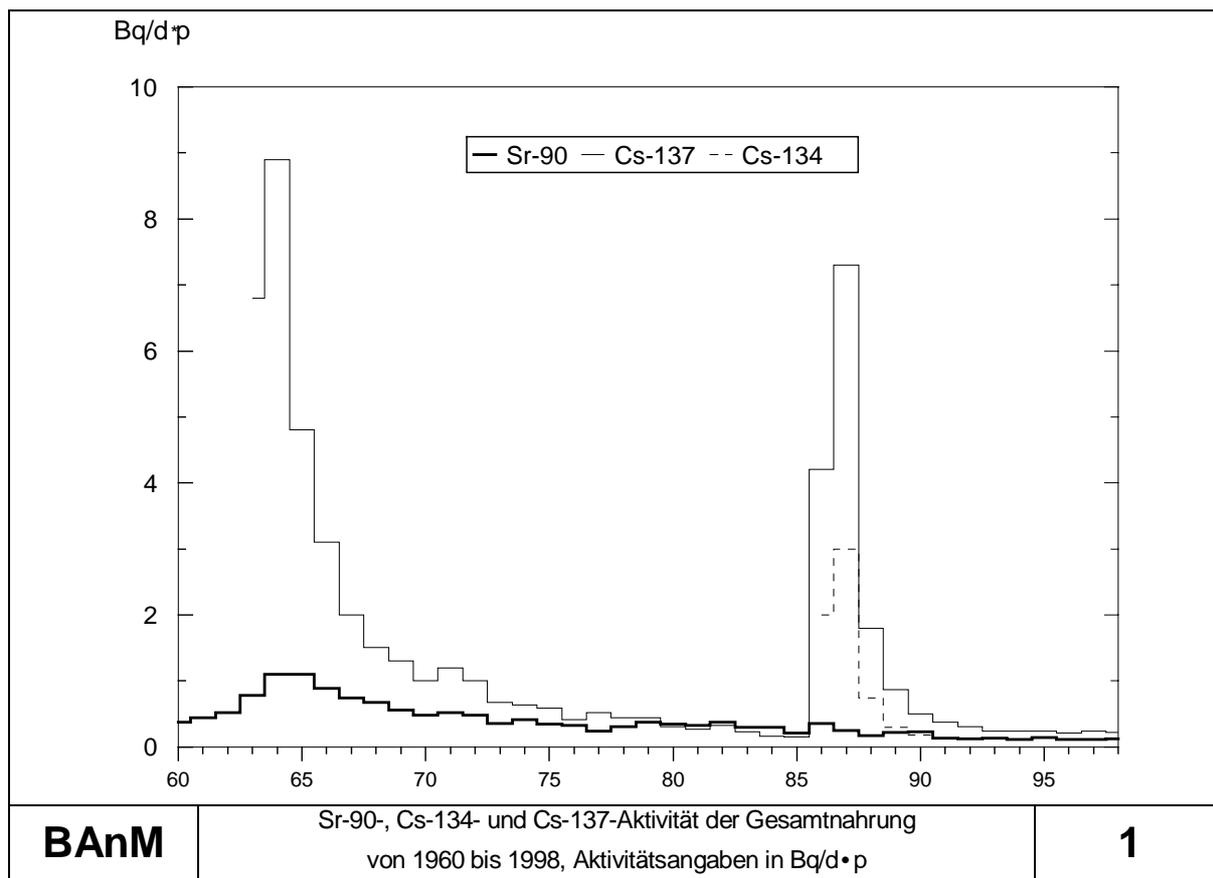


Tabelle 16 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung im Jahr 1998

Monat	Cs-137 Bq/d · p (d=Tag und p=Person)		Sr-90 Bq/d · p (d=Tag und p=Person)	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	80	<0,26 (<0,04 - 2,53)	14	0,11 (0,04 - 0,40)
Februar	73	<0,21 (<0,01 - 0,70)	12	<0,11 (0,03 - 0,27)
März	86	<0,23 (<0,04 - 1,10)	15	0,10 (0,03 - 0,22)
April	77	<0,20 (<0,03 - 0,62)	14	<0,10 (<0,04 - 0,21)
Mai	86	<0,20 (0,02 - 1,02)	24	0,15 (0,05 - 0,94)
Juni	90	<0,23 (<0,03 - 2,30)	20	<0,13 (<0,02 - 0,64)
Juli	89	<0,22 (<0,01 - 1,86)	17	<0,11 (0,02 - 0,26)
August	97	<0,17 (<0,02 - 0,58)	22	<0,13 (<0,04 - 0,43)
September	93	<0,23 (<0,02 - 1,88)	14	0,13 (0,01 - 0,28)
Oktober	83	<0,22 (<0,01 - 1,66)	15	<0,13 (<0,04 - 0,43)
November	92	<0,25 (<0,02 - 1,96)	18	<0,14 (0,03 - 0,38)
Dezember	84	<0,25 (<0,03 - 2,30)	17	<0,14 (<0,004 - 0,53)
Jahr (gesamt)	1030	<0,22 (<0,01 - 2,53)	202	<0,12 (<0,004 - 0,94)

Säuglings- und Kindernahrung

Säuglings- und Kleinkindernahrung (1. Lebensjahr) werden seit dem Juli 1986 von den Messstellen übermittlelt und von den Leitstellen statistisch aufbereitet. Für 1998 bleiben die Monatsmittelwerte sowohl Cs-137 als auch für Strontium-90 auf dem gleichen niedrigen Niveau wie im Vorjahr.

Tabelle 17 Säuglings- und Kleinkindernahrung im Jahr 1998

Monat	Cs-137 Bq/kg Handelsware		Sr-90 Bq/kg Handelsware	
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	27	<0,23 (<0,01 - 1,05)	10	0,09 (0,02 - 0,27)
Februar	28	<0,33 (<0,03 - 2,99)	5	0,07 (0,03 - 0,14)
März	29	<0,23 (<0,02 - 1, 77)	6	0,05 (0,03 - 0,06)
April	27	<0,51 (<0,04 - 6,01)	4	0,07 (0,02 - 0,15)
Mai	32	<0,21 (<0,03 - 1,40)	1	0,04
Juni	32	<0,22 (<0,04 - 1,41)	1	0,04
Juli	31	<0,20 (<0,0001- 1,94)	10	<0,04 (<0,01 - 0,21)
August	28	<0,56 (<0,07 - 5,02)	3	0,04 (0,04 - 0,05)
September	33	<0,26 (<0,01 - 2,99)	4	0,06 (0,02 - 0,11)
Oktober	25	<0,31 (<0,01 - 1,53)	6	<0,05 (<0,02 - 0,09)
November	29	<0,27 (<0,01 - 2,47)	2	0,03 (0,02 - 0,04)
Dezember	26	<0,26 (<0,04 - 1,50)	1	0,05
Jahr (gesamt)	347	<0,29 (<0,0001- 6,01)	53	<0,06 (<0,01 - 0,27)

3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Die Funktion einer Leitstelle gemäß § 11 Strahlenschutzvorsorgegesetz 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 Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffe mitbestimmt werden.

Für die Bereiche Tabakerzeugnisse und Arzneimittelpflanzen sind im Messprogramm für den Normalbetrieb nur wenige Messungen vorgeschrieben. Ebenso sind im Messprogramm für die Bedarfsgegenstände und Ausgangsstoffe von Arzneimitteln ebenfalls keine routinemäßigen Messungen im Normalbetrieb vorgesehen. Zur Sicherung der fachlichen Kompetenz und zur Gewinnung von Referenzwerten wurden von der Leitstelle in Eigenregie Messungen durchgeführt.

Arzneimittel und Gewürze

Ca. 80 % der in der Bundesrepublik Deutschland verarbeiteten Arzneimittelausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft stammen aus dem Ausland. Daher liegt der Schwerpunkt auf der Überwachung der Radioaktivität von Importware. Darin wurden außer **Cäsium-137** keine weiteren künstlichen Nuklide nachgewiesen. Die spezifische Aktivität liegt im Bereich des Vorjahres. Einzelne Schwankungen sind auf die verschiedene Sortenauswahl und die unterschiedliche Herkunftsländer zurückzuführen.

Im Bereich der Arzneimittelpflanzen weisen nur wenige Sorten je nach Bodentyp, Anbauart und Region erhöhte Werte von Cs-137 auf. So wurde in Island Moos, einem ausgewiesenen Akkumulator von Cs-137, aus Polen im Erntejahr 1998 240 Bq/kg(TM) Cs-137 gemessen. In rumänischen Bitterkleeblättern bzw. bulgarischen Weißdornblüten wurden 42 bzw. 56 Bq/kg(TM) Cs-137 nachgewiesen. Produkte von Wald- und Heidestandorten weisen aufgrund des Bodentyps generell höhere Cäsiumaktivitäten als pflanzliche Produkte aus landwirtschaftlichem Anbau auf. Dies gilt auch analog für Erzeugnisse aus Wildsammlung.

Der Gehalt des natürlich vorkommenden Radionuklids **Kalium-40** wurde auch in Arzneimittelpflanzen gemessen. Die spezifische Aktivität der Proben schwankte von 18 Bq/kg(TM) K-40 [Pfeffer, weiß, Indonesien] und 70 Bq/kg(TM) K-40 [Island Moos, Polen] bis maximal 967 Bq/kg(TM) K-40 [Hopfenblüten, Deutschland] und 976 Bq/kg(TM) K-40 [Ringelblumenblüten, Ägypten].

3.5 Abwasser und Klärschlamm

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

Dem Bericht für das Jahr 1998 liegen die Messergebnisse aus 93 Abwasserreinigungsanlagen zugrunde. 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 Tab. 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, Cäsium-134, Cäsium-137, Jod-131, Strontium-90** sowie der **Uranisotope**. Sämtliche Zahlenwerte sind auf zwei signifikante Stellen gerundet. Die Messergebnisse der genannten Nuklide im einzelnen und darüber hinaus von **Tritium, Beryllium-7** und sonstiger, insbesondere infolge nuklearmedizinischer Anwendung relevanter, Radionuklide werden in einem ergänzenden Materialienband (BfS-Bericht: Materialienband 1998 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen - Ergänzung zum Jahresbericht 1998 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung") veröffentlicht.

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 1998 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 1300 Bq/kg TM (Vorjahr bis 730 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 130 bzw. 100 Bq/kg TM (Vorjahr 140 bzw. 110 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: 36 Bq/kg TM; Maximalwert: 1500 Bq/kg TM, Vorjahr 26 bzw. 1000 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige **Technetium-99m**. In einer Kläranlage wurde in den Abwässern Spuren von Co-60 festgestellt. Plutoniumisotope konnten von den Messstellen nicht nachgewiesen werden.

Von den infolge des Reaktorunfalles in Tschernobyl 1986 in die Umwelt gelangten Spalt- und Aktivierungsprodukten haben für kommunale Abwässer nur noch Cs-137, für Klärschlamm Cs-137 und in geringem Ausmaß Cs-134 mit den Halbwertszeiten von 30 bzw. 2 Jahren 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 Partikel 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 Nuklide im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 1998 zwischen 0,0012 und 0,13 Bq/l, bei einem Median von <0,038 Bq/l (1997: zwischen 0,0016 und 0,086 Bq/l).

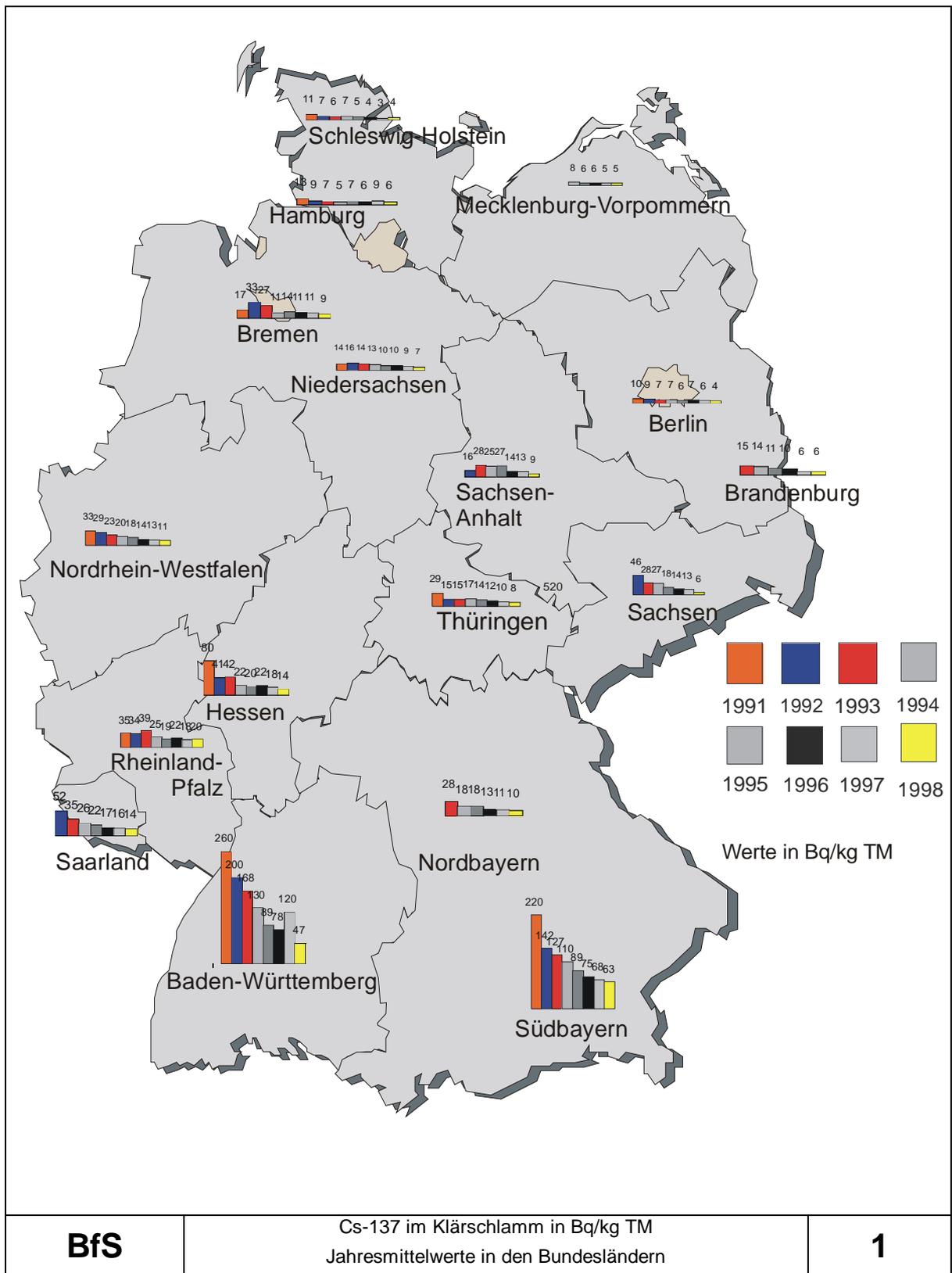
In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man aufgrund regional unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 treten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tab. 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 Cäsium-Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten 1998 - wie in den früheren Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg), wobei mit 170 bzw. 2,3 Bq/kg TM wieder niedrigere Werte für Cäsiumisotope auftraten als in den Vorjahren, wobei anzumerken ist, dass in dieser Kläranlage im Jahr 1997 erstmals gegenüber der Vorjahresperiode eine Erhöhung festzustellen war. So betragen die Messwerte im Jahr 1997 500 bzw. 8,4 Bq/kg TM und 1996 240 bzw. 5,7 Bq/kg TM für Cs-137 bzw. Cs-134.

Generell haben sich die Klärschlamm-Kontaminationen im Vergleich zur Vorjahresperiode weiter verringert, wobei sich dieser Trend abschwächte. Während sich beispielsweise der Gehalt der Klärschlämme an Cs-137 in Süd-Bayern in der Periode 1988/1989 noch halbierte, nahm er 1997/1998 um weniger als ein Zehntel ab; zum Vergleich die Jahresmittelwerte der Jahre 1988 bis 1998: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68 und 63 Bq/kg TM. Der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte aller Bundesländer für die letzten fünf Jahre ist in Abbildung 1 dargestellt.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 $0,5 : 1$ betrug, hat sich aufgrund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Nuklide bis Mitte des Jahres 1998, d. h. im Laufe von zwölf Jahren auf etwa $0,012 : 1$ verschoben (1997: $0,016 : 1$). In wenig belasteten Gebieten findet man mitunter ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche der 60er Jahre relativ stärker bemerkbar macht.

Zur radiologischen Beurteilung der Klärschlammkontamination ist vorrangig die landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme zu betrachten. Wird z. B. Klärschlamm mit einer spezifischen Aktivität von etwa 170 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 28 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.



BfS

Cs-137 im Klärschlamm in Bq/kg TM
 Jahresmittelwerte in den Bundesländern

1

Tabelle 1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 1998
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel-/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	20				<1,1
	Co-60	20	20				<0,038
	I-131	19	0	0,051	4,7	0,63	0,38
	Cs-137	20	20				<0,041
	Sr-90	4	4				<0,01
	U-234	4	4				<0,1
	U-235	4	4				<0,1
	U-238	4	4				<0,1
Hamburg	K-40	6	6				<2,3
	Co-60	6	6				<0,087
	I-131	6	1	0,11	0,26	0,16	0,12
	Cs-137	6	6				<0,085
	Sr-90	2	0	0,00056	0,00074	0,00065	0,00065
	U-234	2	0	0,0002	0,00029	0,00025	0,00025
	U-235	2	1			0,000078	<0,000083
	U-238	2	0	0,00025	0,00027	0,00026	0,00026
Niedersachsen	K-40	65	29	0,31	4,3	0,78	0,75
	Co-60	65	64	0,026	0,026		<0,023
	I-131	62	16	0,035	7,7	0,63	0,15
	Cs-137	65	62	0,013	0,025		<0,021
	Sr-90	3	3				<0,015
	U-234	2	0	0,00049	0,0039	0,0022	0,0022
	U-235	2	2				<0,00023
	U-238	2	0	0,00043	0,0018	0,0011	0,0011
Bremen	K-40	7	4	0,73	1,1		<0,74
	Co-60	7	7				<0,027
	I-131	6	0	0,051	0,32	0,16	0,13
	Cs-137	7	2	0,041	0,054	0,047	0,049
	Sr-90	3	1	0,018	0,028	0,023	0,018
	U-234	3	3				<0,0037
	U-235	3	3				<0,0019
	U-238	3	3				<0,0013
Nordrhein-Westfalen	K-40	39	22	0,19	2,0		<1,1
	Co-60	39	39				<0,047
	I-131	33	6	0,03	1,1	0,24	0,16
	Cs-137	39	38	0,026	0,026		<0,045
	Sr-90	4	1	0,0066	0,038	0,022	0,013
	U-234	4	1	0,0038	0,012	0,0066	0,008
	U-235	4	3			0,0002	<0,00088
	U-238	4	1	0,0029	0,0071	0,0044	0,0052
Hessen	K-40	19	15	0,82	1,3		<1,9
	Co-60	18	18				<0,085
	I-131	19	19				<0,33
	Cs-137	19	19				<0,082
	Sr-90	2	2				<0,1
	U-234	4	1	0,0072	0,036	0,022	0,015
	U-235	4	4				<0,005
	U-238	4	1	0,0053	0,024	0,015	0,01

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Rheinland-Pfalz	K-40	20	9	0,46	1,6	1,0	<0,82
	Co-60	20	20				<0,1
	I-131	20	12	0,11	0,63		<0,1
	Cs-137	20	20				<0,1
	Sr-90	4	4				<0,1
	U-234	4	4				<0,1
	U-235	4	4				<0,1
	U-238	4	4				<0,1
Baden-Württemberg	K-40	40	10	0,35	3,2	1,4	<1,3
	Co-60	40	40				<0,062
	I-131	5	1	0,07	0,57	0,26	0,14
	Cs-137	40	35	0,033	0,052		<0,052
	Sr-90	4	4				<0,008
	U-234	4	0	0,0022	0,019	0,0068	0,003
	U-235	4	4				<0,0001
	U-238	4	0	0,002	0,0089	0,0039	0,0023
Bayern	K-40	38	31	1,0	2,2		<1,1
	Co-60	38	38				<0,08
	I-131	13	0	0,21	0,58	0,3	0,28
	Cs-137	38	37	0,088	0,088		<0,093
	Sr-90	4	0	0,002	0,017	0,0095	0,0095
	U-234	4	0	0,0008	0,0085	0,0051	0,0055
	U-235	4	4				<0,0006
	U-238	4	0	0,0005	0,0082	0,0044	0,0045
Saarland	K-40	8	7	2,2	2,2		<0,64
	Co-60	8	8				<0,037
	I-131	8	8				<0,036
	Cs-137	8	8				<0,038
	Sr-90	4	0	0,0026	0,011	0,0068	0,0071
	U-234	4	0	0,0011	0,0031	0,0024	0,0026
	U-235	4	4				<0,00033
	U-238	4	0	0,0007	0,0022	0,0018	0,0021
Berlin	K-40	19	0	0,6	1,2	0,88	0,89
	Co-60	19	19				<0,0015
	I-131	5	0	0,14	0,61	0,3	0,23
	Cs-137	19	5	0,0012	0,0044	0,0024	<0,0021
	Sr-90	11	0	0,0032	0,0069	0,0048	0,0046
	U-234	11	0	0,0024	0,0047	0,0032	0,0028
	U-235	11	5	0,0001	0,0002	0,00017	0,0002
	U-238	11	0	0,0019	0,0037	0,0025	0,0025
Brandenburg	K-40	22	2	0,5	1,4	0,88	0,8
	Co-60	22	22				<0,01
	I-131	21	4	0,05	0,6	0,24	0,2
	Cs-137	22	18	0,006	0,13		0,01
	Sr-90	9	0	0,002	0,004	0,0027	0,003
	U-234	9	6	0,0006	0,004		<0,0048
	U-235	9	9				<0,0048
	U-238	9	6	0,0005	0,005		0,005
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	21	0	0,49	1,3	0,78	0,76
	Co-60	21	21				<0,0091
	I-131	18	0	0,028	2,0	0,53	0,34
	Cs-137	21	20	0,009	0,009		<0,007
	Sr-90	5	2	0,0034	0,0075	0,0052	<0,0058
	U-234	5	4	0,00058	0,00058		<0,0025
	U-235	5	4			0,000034	<0,0015
	U-238	5	4	0,00088	0,00088		<0,0015

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel-/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Sachsen	K-40	20	0	0,32	1,2	0,66	0,62
	Co-60	20	20				<0,018
	I-131	13	0	0,018	0,64	0,29	0,27
	Cs-137	20	18	0,012	0,014		<0,015
	Sr-90	4	3	0,04	0,04		<0,021
	U-234	4	0	0,016	0,052	0,028	0,022
	U-235	4	2	0,0014	0,0036	0,0025	<0,0016
	U-238	4	0	0,015	0,046	0,023	0,016
Sachsen-Anhalt	K-40	15	0	0,09	1,4	0,72	0,66
	Co-60	15	15				<0,008
	I-131	13	0	0,01	10	0,96	0,024
	Cs-137	15	15				<0,007
	Sr-90	2	2				<0,1
	U-234	2	0	0,009	0,017	0,013	0,013
	U-235	2	2				<0,0075
	U-238	2	0	0,011	0,011	0,011	0,011
Thüringen	K-40	20	19	0,93	0,93		<1,8
	Co-60	20	20				<0,081
	I-131	6	0	0,13	0,94	0,38	0,24
	Cs-137	20	20				<0,079
	Sr-90	4	4				<0,0039
	U-234	4	0	0,022	0,078	0,045	0,04
	U-235	4	4				<0,002
	U-238	4	0	0,012	0,039	0,022	0,019
Bundesrepublik Deutsch- land	K-40	379	174	0,09	4,3	0,94	<0,91
	Co-60	378	377			0,026	<0,04
	I-131	267	67	0,01	10	0,45	0,18
	Cs-137	379	343	0,0012	0,13		<0,038
	Sr-90	69	30	0,00056	0,04	0,0079	0,0075
	U-234	70	23	0,0002	0,078	0,011	0,0047
	U-235	70	59	0,000034	0,0036		<0,00085
	U-238	70	23	0,00025	0,046	0,0073	<0,0048
Klärschlamm (Bq/Kg TM)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	27	120	66	64
	Co-60	20	20				<0,18
	I-131	20	0	1,3	360	42	24
	Cs-137	20	0	1,2	8,9	3,6	2,8
	Sr-90	4	0	2,3	3,7	2,9	2,9
	U-234	4	0	8,2	13	11	11
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	0	7,8	11	9,5	9,6
Hamburg	K-40	5	0	290	410	360	390
	Co-60	5	5				<3,3
	I-131	5	0	57	110	75	73
	Cs-134	5	5				<3,1
	Cs-137	5	0	5,8	6,9	6,3	6,4
	Sr-90	2	0	1,3	1,7	1,5	1,5
	U-234	2	0	14	14	14	14
	U-235	2	0	0,62	0,64	0,63	0,63
	U-238	2	0	12	12	12	12

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Niedersachsen	K-40	36	1	62	330	130	110
	Co-60	36	36				<0,53
	I-131	36	4	0,66	1500	160	29
	Cs-134	36	36				<0,48
	Cs-137	36	1	1,5	29	7,3	4,9
	Sr-90	3	0	3,0	3,4	3,2	3,1
	U-234	3	0	5,0	15	12	15
	U-235	3	0	0,17	0,55	0,38	0,43
	U-238	3	0	5,1	13	10	12
Bremen	K-40	7	0	150	1300	400	250
	Co-60	7	7				<0,97
	I-131	7	1	12	34	27	31
	Cs-134	7	6	0,49	0,49		<0,91
	Cs-137	7	0	3,3	23	8,5	5,2
	Sr-90	4	0	1,5	3,0	2,0	1,9
	U-234	4	1	6,6	14	12	14
	U-235	5	5				<1,5
	U-238	5	1	8,1	12	10	10
Nordrhein-Westfalen	K-40	39	0	60	470	210	170
	Co-60	39	39				<0,3
	I-131	39	1	2,5	260	76	57
	Cs-134	21	16	0,14	2,9		<0,44
	Cs-137	39	1	4,0	20	11	10
	Sr-90	3	0	0,84	4,7	3,2	4,0
	U-234	4	0	13	29	22	23
	U-235	4	0	0,7	1,1	0,93	0,96
	U-238	4	0	13	24	20	21
Hessen	K-40	19	0	95	210	160	160
	Co-60	19	19				<1,1
	I-131	19	7	6,3	210	71	<41
	Cs-134	19	19				<0,88
	Cs-137	19	2	2,2	24	8,3	5,9
	Sr-90	2	0	0,48	0,5	0,49	0,49
	U-234	2	0	43	76	59	59
	U-235	2	0	1,5	2,9	2,2	2,2
	U-238	2	0	30	50	40	40
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	96	290	170	150
	Co-60	20	20				<5,0
	I-131	20	8	5,7	140	36	7,2
	Cs-134	20	20				<5,0
	Cs-137	20	8	9,1	66	20	9,9
	Sr-90	4	2	6,1	6,8	6,4	6,1
	U-234	4	0	40	50	44	43
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	0	26	38	30	29
Baden-Württemberg	K-40	40	0	46	610	180	150
	Co-60	40	40				<1,6
	I-131	24	1	2,8	460	110	78
	Cs-134	8	1	1,1	3,2	1,9	<1,9
	Cs-137	40	0	2,9	250	47	18
	Sr-90	4	0	1,1	1,7	1,4	1,5
	U-234	4	0	9,8	27	17	17
	U-235	4	0	0,54	1,1	0,71	0,59
	U-238	4	0	1,9	22	10	8,3

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Baden-Württemberg (Nord)	Co-60	28	28				<1,9
	Cs-134	2	1	1,5	1,5	1,5	<1,9
	Cs-137	28	0	2,9	130	23	12
	Sr-90	2	0	1,1	1,2	1,2	1,2
Baden-Württemberg (Süd)	Co-60	12	12				<1,3
	Cs-134	6	0	1,1	3,2	2,0	2,0
	Cs-137	12	0	18	250	100	110
	Sr-90	2	0	1,7	1,7	1,7	1,7
Bayern	K-40	38	0	81	620	300	320
	Co-60	38	38				<1,6
	I-131	35	0	4,3	550	97	54
	Cs-134	38	34	1,1	1,7		1,7
	Cs-137	38	0	8,7	140	39	28
	Sr-90	4	0	1,7	3,1	2,5	2,6
	U-234	4	0	34	110	72	70
	U-235	4	0	2,1	14	6,3	4,6
	U-238	4	0	35	99	66	64
Bayern (Nord)	Co-60	19	19				<1,6
	Cs-134	19	19				<1,7
	Cs-137	19	0	8,7	28	14	13
	Sr-90	2	0	2,3	3,1	2,7	2,7
Bayern (Süd)	Co-60	19	19				<1,5
	Cs-134	19	15	1,1	1,7		<1,5
	Cs-137	19	0	27	140	63	42
	Sr-90	2	0	1,7	2,9	2,3	2,3
Saarland	K-40	8	0	170	320	260	270
	Co-60	8	8				<0,61
	I-131	8	0	8,0	330	94	59
	Cs-134	8	6	0,19	0,24		<0,6
	Cs-137	8	0	5,3	24	14	15
	Sr-90	4	1	1,2	2,5	1,8	1,5
	U-234	4	0	34	49	42	44
	U-235	4	0	1,3	1,7	1,5	1,5
	U-238	4	0	26	36	32	33
Berlin	K-40	19	0	41	140	97	100
	Co-60	19	19				<0,34
	I-131	19	0	13	230	80	63
	Cs-134	19	19				<0,39
	Cs-137	19	0	1,7	6,3	3,8	3,4
	Sr-90	5	0	2,2	3,0	2,5	2,4
	U-234	5	0	8,9	19	14	13
	U-235	5	0	0,43	0,97	0,65	0,59
	U-238	5	0	7,8	20	13	11
Brandenburg	K-40	21	0	42	170	110	110
	Co-60	21	21				<0,17
	I-131	21	1	1,0	110	36	14
	Cs-134	19	19				<0,2
	Cs-137	21	0	2,0	14	5,9	4,9
	Sr-90	9	0	2,0	4,1	2,4	2,0
	U-234	9	0	0,015	20	13	13
	U-235	9	0	0,0008	1,4	0,74	0,7
	U-238	9	0	0,013	20	11	10

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel/ Einzel- werte	Mediane
		gesamt	<NWG				
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	20	0	57	180	120	130
	Co-60	20	20				<0,27
	I-131	19	0	2,6	370	130	96
	Cs-134	20	20				<0,26
	Cs-137	20	0	0,7	13	5,0	4,3
	Sr-90	4	2	4,4	8,5	6,4	<6,5
	U-234	4	0	12	27	20	21
	U-235	4	0	0,53	1,1	0,8	0,77
	U-238	4	0	11	23	18	20
Sachsen	K-40	20	0	72	270	170	170
	Co-60	20	20				<0,76
	I-131	20	0	5,3	450	97	32
	Cs-134	1	0	0,2	0,2	0,2	0,2
	Cs-137	20	0	2,7	19	8,1	5,9
	Sr-90	4	0	3,1	4,9	3,8	3,6
	U-234	4	0	25	49	39	41
	U-235	4	1	1,5	5,4	2,9	1,7
	U-238	4	0	22	50	38	41
Sachsen-Anhalt	K-40	15	0	58	220	140	150
	Co-60	15	15				<0,2
	I-131	13	1	1,2	50	19	12
	Cs-134	15	14	0,19	0,19		0,19
	Cs-137	15	0	3,6	20	8,6	7,2
	Sr-90	2	1	21	21	21	21
	U-234	2	0	42	130	84	84
	U-235	2	0	1,1	6,8	4,0	4,0
	U-238	2	0	31	100	65	65
Thüringen	K-40	20	0	130	420	240	230
	Co-60	20	20				<0,23
	I-131	13	0	0,75	300	49	27
	Cs-134	16	16				<0,24
	Cs-137	20	0	2,1	19	10	9,5
	Sr-90	4	0	1,0	1,8	1,4	1,5
	U-234	4	0	82	96	88	88
	U-235	16	0	0,81	3,6	2,3	2,3
	U-238	20	0	15	83	56	55
Bundesrepublik Deutsch- land	K-40	347	1	27	1300	180	150
	Co-60	347	347				<0,55
	I-131	318	24	0,66	1500	85	36
	Cs-134	252	231	0,14	3,2		<0,51
	Cs-137	347	12	0,7	250	16	8,2
	Sr-90	62	6	0,48	21	3,0	2,4
	U-234	63	1	0,015	130	32	20
	U-235	76	14	0,0008	14	1,8	1,4
	U-238	80	1	0,013	100	31	23
Bundesrepublik Deutsch- land (Nord)	Co-60	316	316				<0,48
	Cs-134	227	216	0,14	2,9		<0,46
	Cs-137	316	12	0,7	130	10	7,0
	Sr-90	58	6	0,48	21	3,0	2,5
Bundesrepublik Deutsch- land (Süd)	Co-60	31	31				<1,5
	Cs-134	25	15	1,1	3,2		<1,5
	Cs-137	31	0	18	250	79	63
	Sr-90	4	0	1,7	2,9	2,0	1,7

3.6 Reststoffe und Abfälle

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

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 1998 der Leitstelle 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. Eine ausführliche Auflistung der Daten wird in einem ergänzenden Materialienband veröffentlicht. (BfS-Bericht: Materialienband 1998 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1998 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung").

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 etwa 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 1998 aufgrund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,012 : 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 16 Bq/l (1997: 27 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,055 Bq/l (1997: 0,08 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,08 Bq/l bis 220 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (1997: 0,2 bis 310 Bq/l, Median: 13 Bq/l). Tritium wurde in 76 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,5 und 280 Bq/l (1997: 2,8 bis 240 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 470 Bq/kg TM (1997: 400 Bq/kg TM), der Median für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt bei 27 Bq/kg TM (1997: 39 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 89 Bq/kg TM bis 3300 Bq/kg TM, der Median bei 1300 Bq/kg TM (1997: 350 bis 3200 Bq/kg TM, Median: 1400 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,89 Bq/kg TM bis 470 Bq/kg TM (1997: 0,55 bis 19 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. In Filterstaubproben aus der Sondermüllverbrennungsanlage in Rheinland-Pfalz wurde Co-60 mit Werten von 0,66 und 0,77 Bq/kg TM (1997: 0,58 und 1,2 Bq/kg TM) gemessen.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 130 Bq/kg TM (1997: 90 Bq/kg TM). Der Median südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel liegt bei 9,5 Bq/kg TM (1997: 11 Bq/kg TM), nördlich davon bei 2,7 Bq/kg TM (1997: 2,6 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 50 Bq/kg TM bis 3200 Bq/kg TM (1997: 57 bis 1900 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,37 Bq/kg TM bis 29 Bq/kg TM (1997: 0,48 bis 79 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 1998 bei 2,1 Bq/kg TM (1997: 0,55 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 1,1 Bq/kg TM (1997: 1,1 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 3,7 Bq/kg TM bis 3300 Bq/kg TM (1997: 1,6 bis 1100 Bq/kg TM) mit einem Median von 23 Bq/kg TM (1997: 37 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,28 Bq/kg TM bis 2600 Bq/kg TM (1997: 0,28 bis 5700 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 (1997: keine Werte über der Nachweisgrenze) mit einem Median von <0,029 Bq/l (1997: <0,032 Bq/l), für das Gebiet der restlichen Bundesrepublik wurden Werte von 0,011 Bq/l bis 1,6 Bq/l (1997: 0,089 bis 2,0 Bq/l) mit einem Median von <0,10 Bq/l gemessen (1997: 0,10 Bq/l).

I-131 wurde in 28 Proben mit Werten zwischen 0,18 Bq/l und 2400 Bq/l (1997: 0,12 und 380 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 3,4 Bq/l (1997: 6,0 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 34 Bq/kg TM bis 58 Bq/kg TM (1997: 22 bis 65 Bq/kg TM) mit einem Median von 49 Bq/kg TM (1997: 42 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 3,2 Bq/kg TM und 35 Bq/kg TM (1997: 3,5 bis 81 Bq/kg TM), der Median liegt bei 13 Bq/kg TM (1997: 14 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 210 Bq/kg TM bis 910 Bq/kg TM, der Median bei 500 Bq/kg TM (1997: 43 bis 1300 Bq/kg TM, Median: 440 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnerereien, 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 aufgebrachten Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Wurzeltransfers von Cäsium ist die resultierende zusätzliche Cs-Aktivität in gärtnerischen Produkten für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung.

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 1998

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		gesamt	<NWG			
Hausmülldeponien						
Sickerwasser aus Hausmülldeponien (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	101	64	0,011	16	0,055
südlich *)	Cs-137	6	0	0,38	1,3	0,61
alle Länder	K-40	107	12	0,08	220	13
	H-3	108	25	3,5	280	16
Verbrennungsanlagen						
Flugasche/Elektrofilterstaub, Gewebefilterstaub, Zyklonstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	44	0	0,89	150	27
südlich *)	Cs-137	2	0	280	470	370
alle Länder	K-40	46	0	89	3300	1300
	Co-60	46	44	0,66	0,77	<0,36
	I-131	46	11	0,89	470	30
Rohschlacke mit und ohne Filterstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	56	3	0,42	130	2,7
südlich *)	Cs-137	2	0	7,9	11	9,5
alle Länder	K-40	58	1	50	3200	310
	I-131	58	14	0,37	29	<0,41
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung, Wäscherschlamm (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	38	14	0,2	140	1,1
südlich *)	Cs-137	2	0	2,1	2,1	2,1
alle Länder	K-40	40	4	3,7	3300	23
	I-131	40	2	0,28	2600	6,1
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung, Abwasser (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	29	18	0,011	1,6	<0,1
südlich *)	Cs-137	2	2			<0,029
alle Länder	K-40	31	9	0,7	59	<2,7
	I-131	31	3	0,18	2400	3,4
Kompostierungsanlagen						
Kompost (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	51	0	3,2	35	13
südlich *)	Cs-137	4	0	34	58	49
alle Länder	K-40	55	2	210	910	500
	I-131	55	55			<0,28

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

3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, 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 zusammengestellt. Unter "Jahresmittelwert" wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle des Institutes für Strahlenhygiene 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 aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit von 2 Jahren auf weniger als 2 Prozent der 1986 vorhandenen Aktivität zurückgegangen ist. Daher wird bei den Ergebnissen der Ganzkörpermessungen dieses Nuklid nicht mehr aufgeführt. Im Vergleich zum Vorjahr ging der Gehalt von Radiocäsium im Körper bei der Referenzgruppe Raum München um rund 20 % zurück.

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 elf Jahre seit dem Unfall in Tschernobyl etwas weniger als 0,2 mSv.

Tabelle 1 Jahres- und Monatsmittelwerte Raum München

Messstelle: Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz,
Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS, Neuherberg

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1986 a)	177	54	8,00	136	57	8,30
1987	370	52	12,70	319	59	15,80
1988	346	52	4,20	287	59	6,60
1989	319	51	1,60	261	57	2,87
1990	291	51	0,92	259	57	1,70
1991 b)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 c)	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
Januar	31	45	0,65	27	52	0,71
Februar	32	44	0,61	26	53	0,62
März	30	46	0,55	22	55	0,62
April	27	46	0,50	21	53	0,62
Mai	29	44	0,38	23	51	0,49
Juni	25	45	0,29	21	51	0,39
Juli	19	42	0,45	16	50	0,59
August	17	42	0,75	19	51	0,73
September	32	43	0,77	24	50	0,73
Oktober	30	43	0,70	24	51	0,95
November	24	45	0,78	21	51	0,82
Dezember	20	50	0,87	21	57	0,83

a) ohne Februar und März 1986 b) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen
c) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

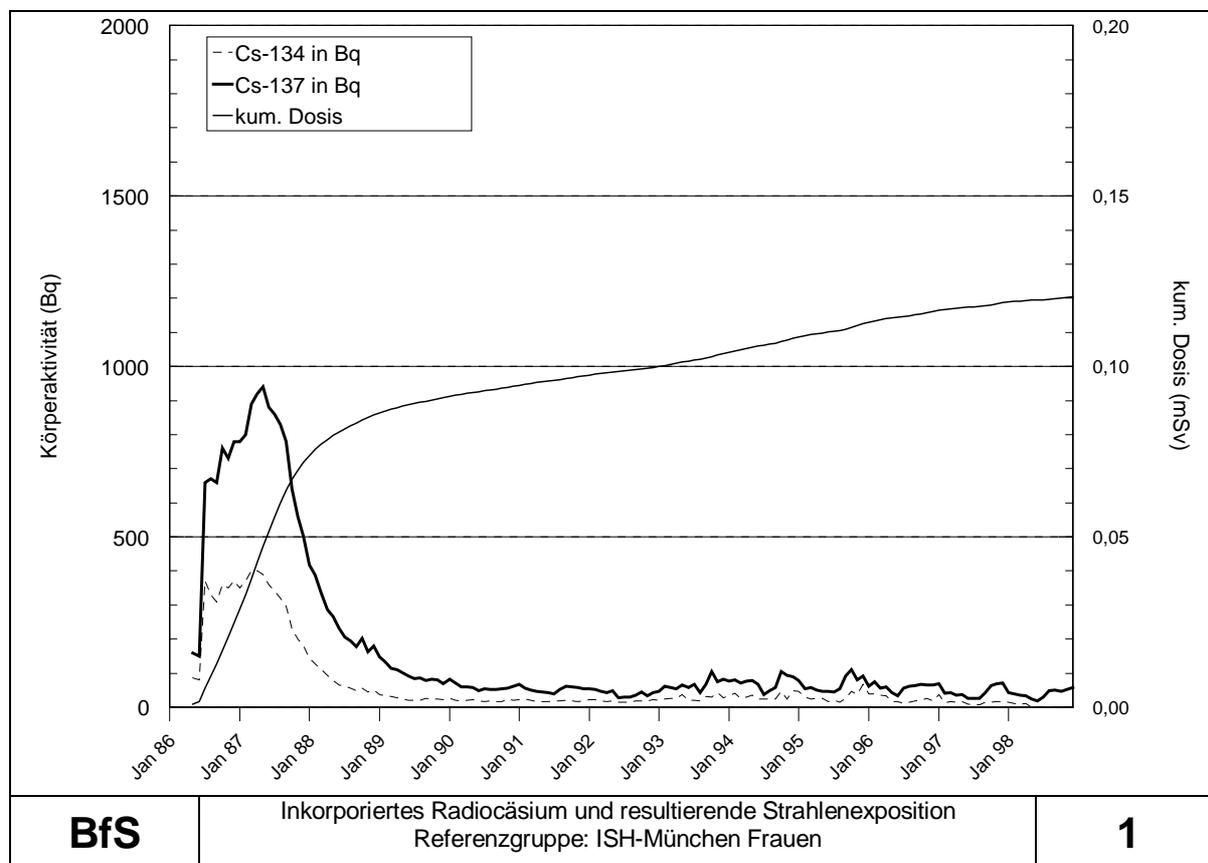
Tabelle 2 Jahres- und Monatsmittelwerte Raum Karlsruhe

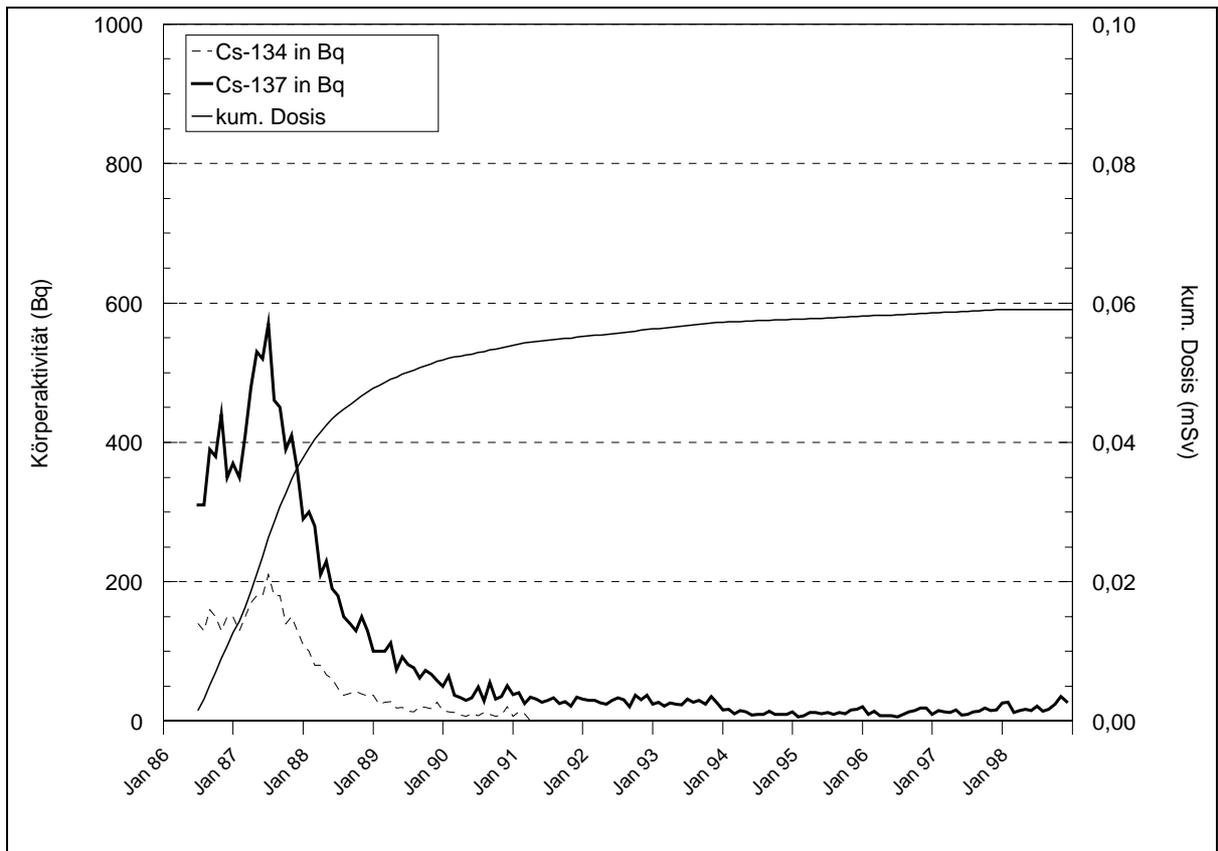
Messstelle: Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, Karlsruhe

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg		Zahl der Personen	spezifische Aktivität in Bq/kg	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1988	107	-	3,1	70	-	3,3
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
Januar	9	55	<0,26	10	64	<0,28
Februar	10	54	<0,27	10	63	<0,31
März	9	50	0,12	9	61	<0,17
April	9	53	<0,15	10	63	0,19
Mai	10	51	0,17	10	64	<0,16
Juni	8	48	<0,15	10	62	<0,22
Juli	10	51	0,22	10	63	0,25
August	10	50	0,14	10	62	0,22
September	9	50	<0,17	9	64	<0,15
Oktober	10	51	<0,24	10	65	0,29
November	10	52	0,35	10	62	0,36
Dezember	10	52	0,28	10	63	<0,32

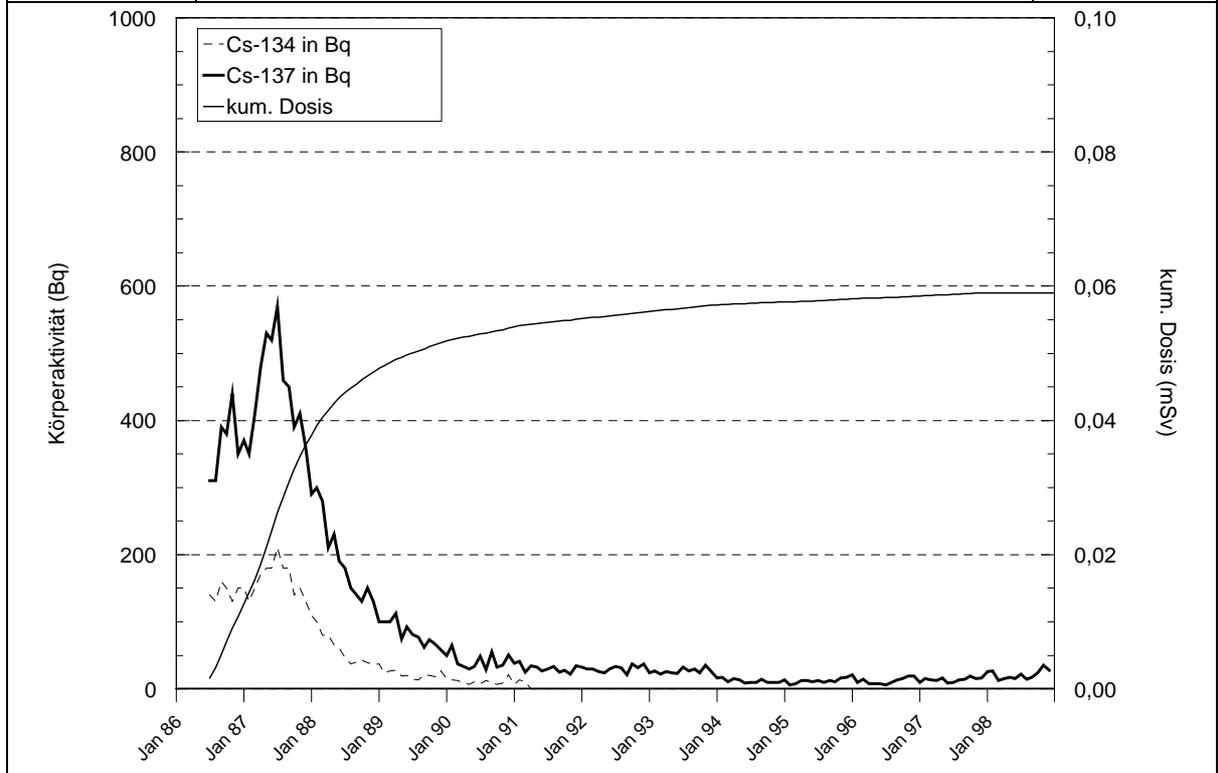
a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung

b) Mai 1996 keine Messungen

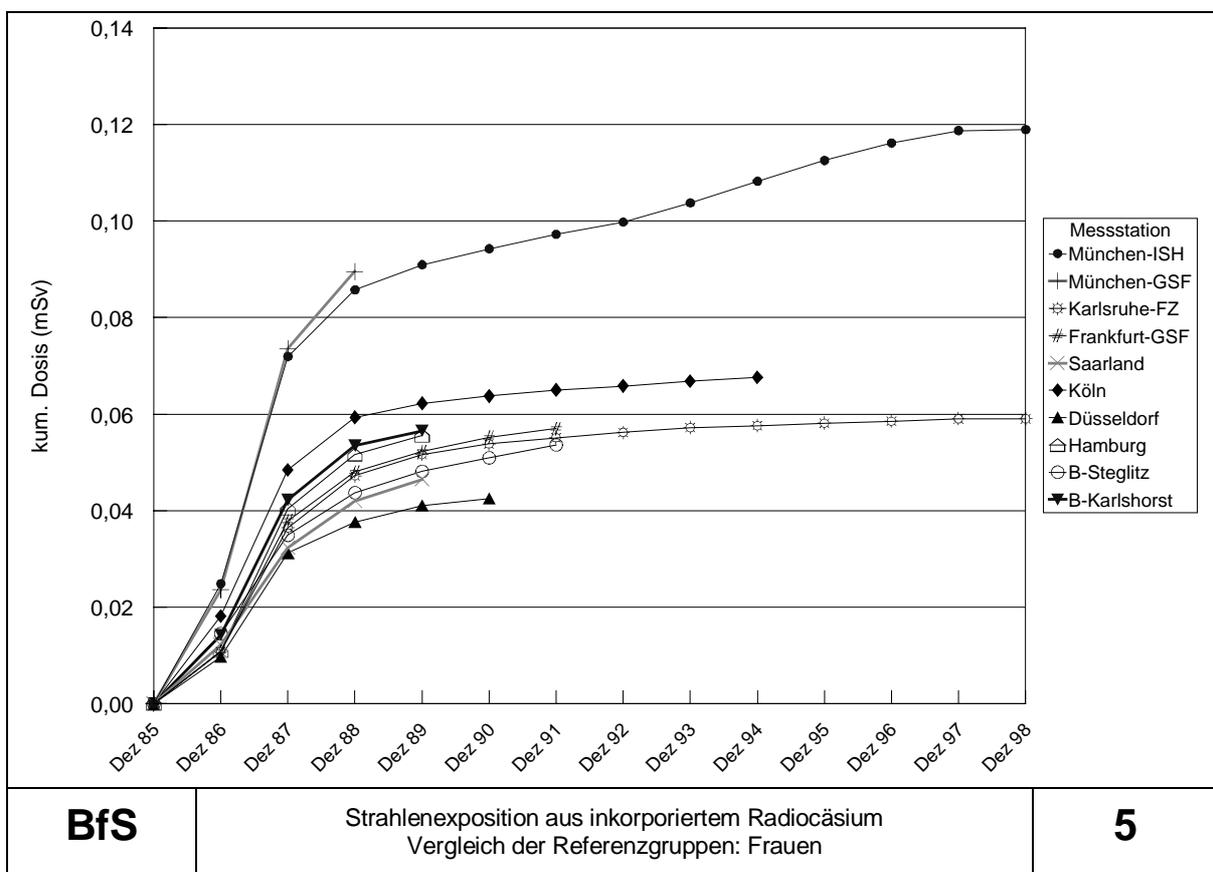
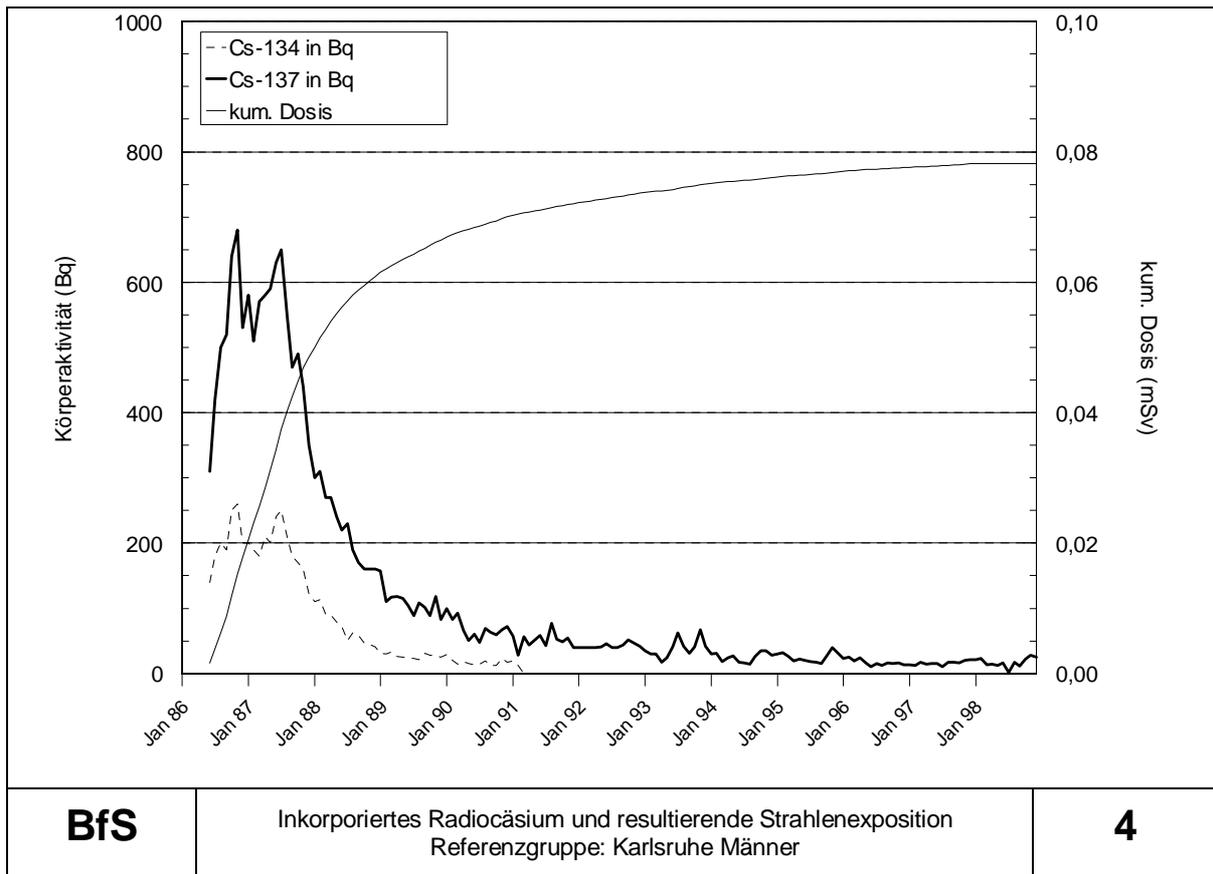


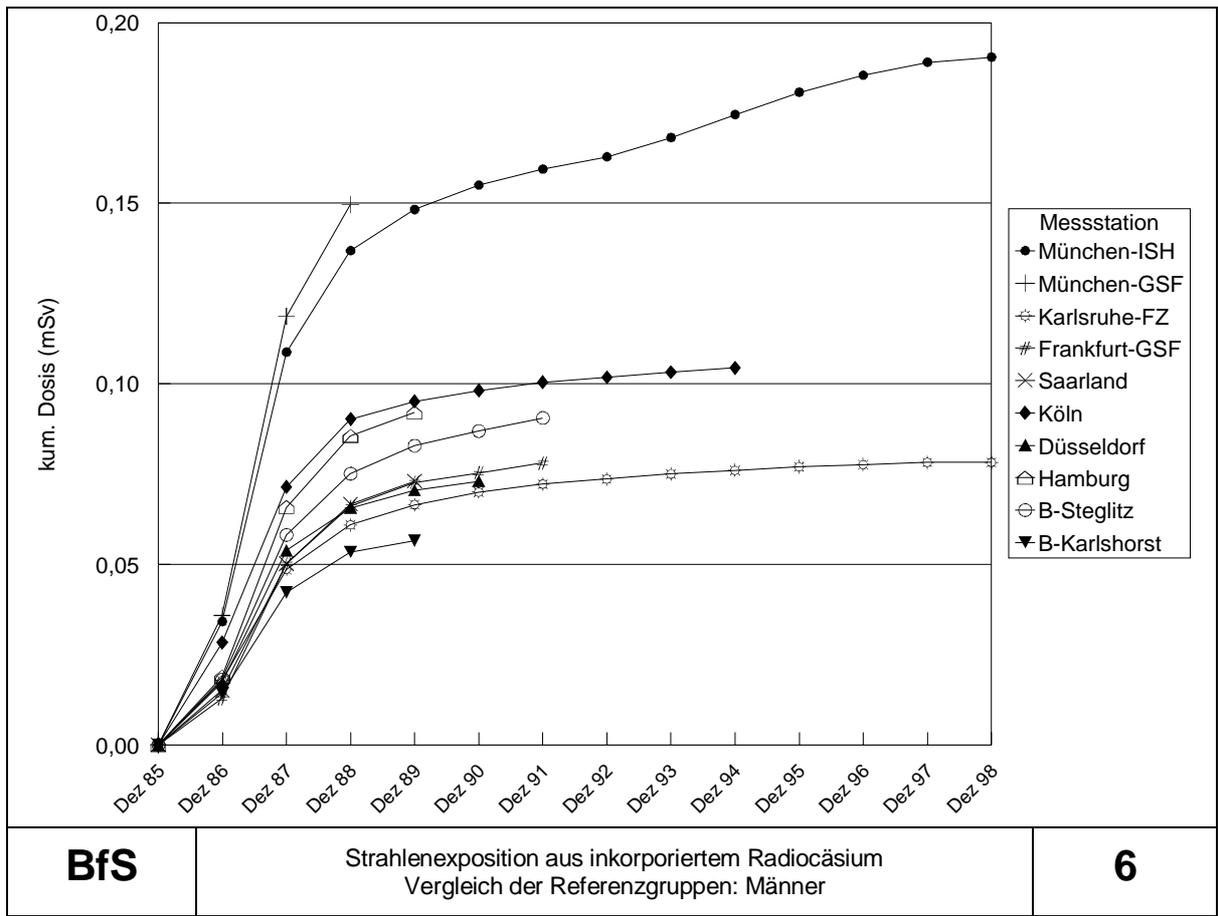


Bfs	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: ISH-München Männer	2
------------	---	----------



Bfs	Inkorporiertes Radiocäsium und resultierende Strahlenexposition Referenzgruppe: Karlsruhe Frauen	3
------------	---	----------





3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Die **externe Strahlenexposition** wird durch die γ -Strahlung der nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl abgelagerten Radionuklide erhöht. Von dieser 1986 deponierten Aktivität tragen mittlerweile nur noch die beiden Cäsiumisotope-134 und -137 zur äußeren Strahlenbelastung bei. Die zusätzliche effektive Dosis durch Bodenstrahlung wurde 1998 zu 97 % von **Cäsium-137** und zu 3 % von **Cäsium-134** verursacht und nahm gegenüber dem Vorjahr bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls um 3 % ab. Bei Annahme einer Aufenthaltsdauer von täglich 5 Stunden im Freien und bei Berücksichtigung eines Abschirmfaktors von 0,15 in Gebäuden kann die auf den Reaktorunfall zurückzuführende mittlere effektive Dosis durch Bodenstrahlung für das Jahr 1998 auf ca. 11 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 Mittel 400 μSv pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Im Jahr 1998 sind **Grundnahrungsmittel** durch Cs-137 aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die spezifischen Cs-137 Aktivitäten einiger Nahrungsmittel wie Milch, Weizen, Blattgemüse, Kartoffeln oder Kernobst liegen im Mittel bei ca. 0,2 Bq/kg, Fleisch und Fische aus Teichen oder Fließgewässern liegen unter 1 Bq/kg (jeweils Feuchtmasse). Die mittlere tägliche Cs-137 Zufuhr mit der Gesamtnahrung im Jahr 1998 wurde zu 0,24 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 bei Berücksichtigung des Cs-137:Cs-134 - Verhältnisses von 1:0,02. 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 1998 in einigen Proben maximale Cs-137-Aktivitäten von einigen hundert Bq/kg gefunden, in Maronenpilzen 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 Maronenröhrling 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 1998 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 $\mu\text{Sv/a}$.

Insgesamt ergibt sich für die Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1997 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 Radionuklides von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren nur langsam zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2 400 μSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl sehr gering.

3.9 Kernwaffenversuche

Nach vorliegenden Meldungen wurden 1998 von Indien fünf und im Anschluss daran von Pakistan sechs, insgesamt elf unterirdische Kernwaffenversuche durchgeführt (Tabelle 1). Tabelle 2 gibt eine Zusammenstellung aller bekanntgewordenen Kernwaffenversuche.

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 1998 liegt unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

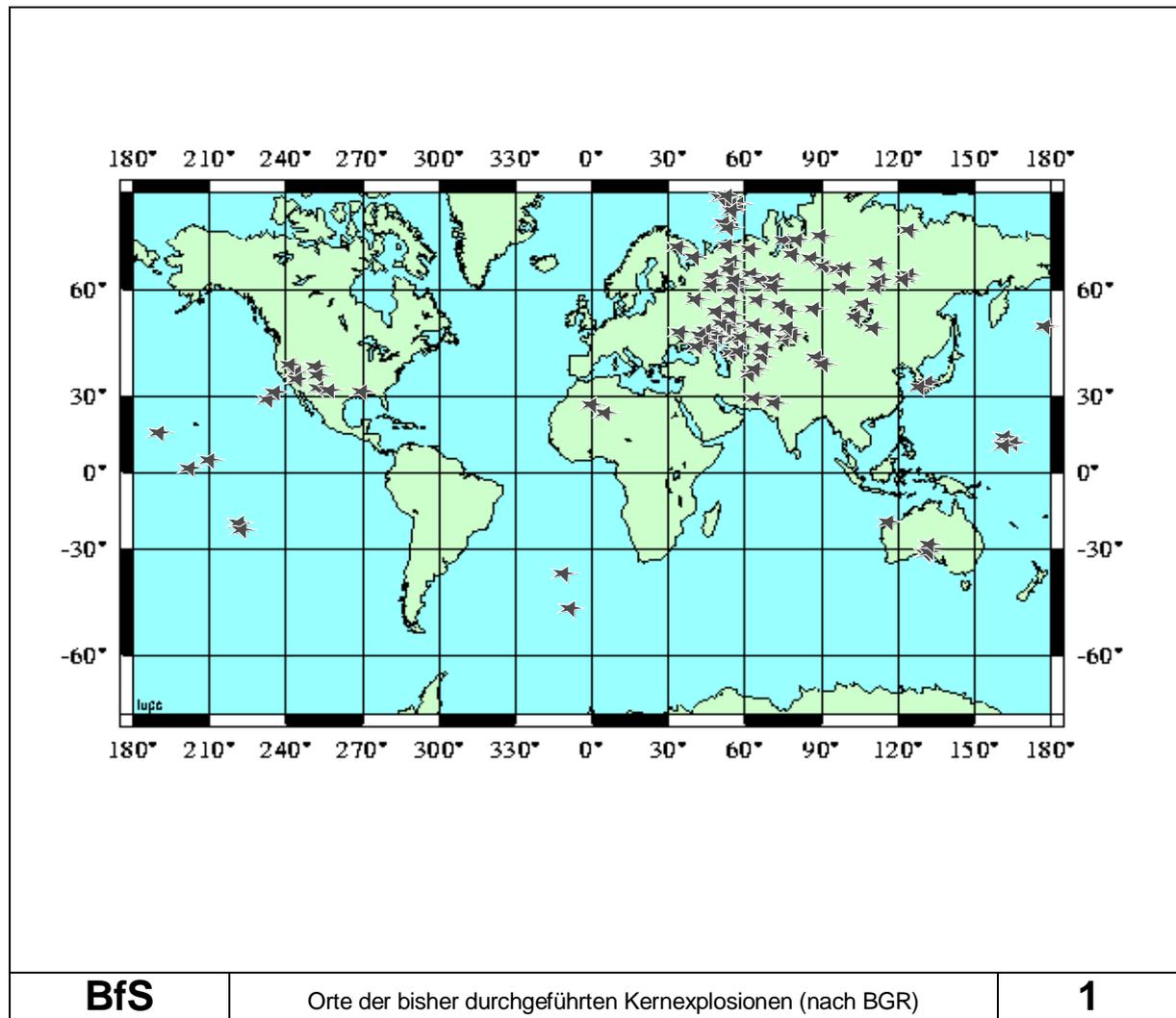


Tabelle 1 Bekanntgewordene Kernwaffenversuche 1998

	Datum	Versuchsort
Indien	11.5.1998	Pokhran range
	11.5.1998	Pokhran range
	11.5.1998	Pokhran range
	13.5.1998	Pokhran range
	13.5.1998	Pokhran range
Pakistan	28.5.1998	Beluchistan
	30.5.1998	Beluchistan

Tabelle 2 Anzahl der Kernwaffenversuche a)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-	-
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	-	-	-

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

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

Teil II

RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, dem Fachbereich Strahlenschutz, Berlin, und dem Fachbereich Eigenüberwachung des Endlagers Morsleben, Braunschweig

1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERntechnischen ANLAGEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, dem Institut für Angewandten Strahlenschutz, Berlin, und dem Fachbereich Eigenüberwachung des Endlagers Morsleben, Braunschweig

1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 1998 folgende kerntechnische Anlagen:

- 19 Atomkraftwerke (Tabelle 1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22 209 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 162 TWh und einem Anteil von rund 33 % an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1998. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich war 1998 aufgrund behördlich angeordneten Stillstands wegen Aufhebung der 1. Teilerreichungsgenehmigung nicht in Betrieb. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald und Hamm-Uentrop haben den Betrieb beendet.
- 6 Forschungsreaktoren (Tabelle 2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 42 MW.
- 4 kernbrennstoffverarbeitende Betriebe: NUKEM GmbH, SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau: Betriebsteil MOX-Verarbeitung, Betriebsteil Uran-Verarbeitung und Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein, ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen, URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Betriebe NUKEM GmbH und SIEMENS AG haben die Brennelementeproduktion eingestellt.
- Das Zwischenlager Ahaus für abgebrannte Brennelemente aus Kernkraftwerken hat am 25.06.1992, das Transportbehälterlager Gorleben am 24.04.1995 den Lagerbetrieb aufgenommen.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 1998 5077 m³ radioaktive Abfälle mit einer Aktivität von 33 TBq 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 und 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 (Messung und Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Messung flüssiger radioaktiver Stoffe zur Überwachung der

radioaktiven Ableitung) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitung gasförmiger, aerosolgebundener und flüssiger 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 über die "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 der örtlichen und anlagenspezifischen 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 bestimmungsgemäßen 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 kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 1998 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 1998 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 1998 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 mitberücksichtigt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern berichtet die Kommission der Europäischen Union. Die jährlichen Emissionen der schweizerischen Anlagen werden in den Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit veröffentlicht.

Tabelle 1 Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Stand: 31.12.1998)

Kernkraftwerk/Standort	Typ a)	el.Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 1998 (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	332	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	614	1972	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	1214	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	1000	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	729	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	476	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	907	755	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1350	794	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	827	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1104	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	556	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1092	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1343	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1142	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1424	1295	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich b)	DWR	1302	0	1986	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1292	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1455	1301	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1363	1300	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1295	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) 1998 nicht in Betrieb

Tabelle 2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nulleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 31.12.1998)

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. a) Leistung (MW)	Beginn/Ende des nuklearen Betriebes
Garching	Technische Universität München	FRM	4	1957
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

a) im Dauerbetrieb

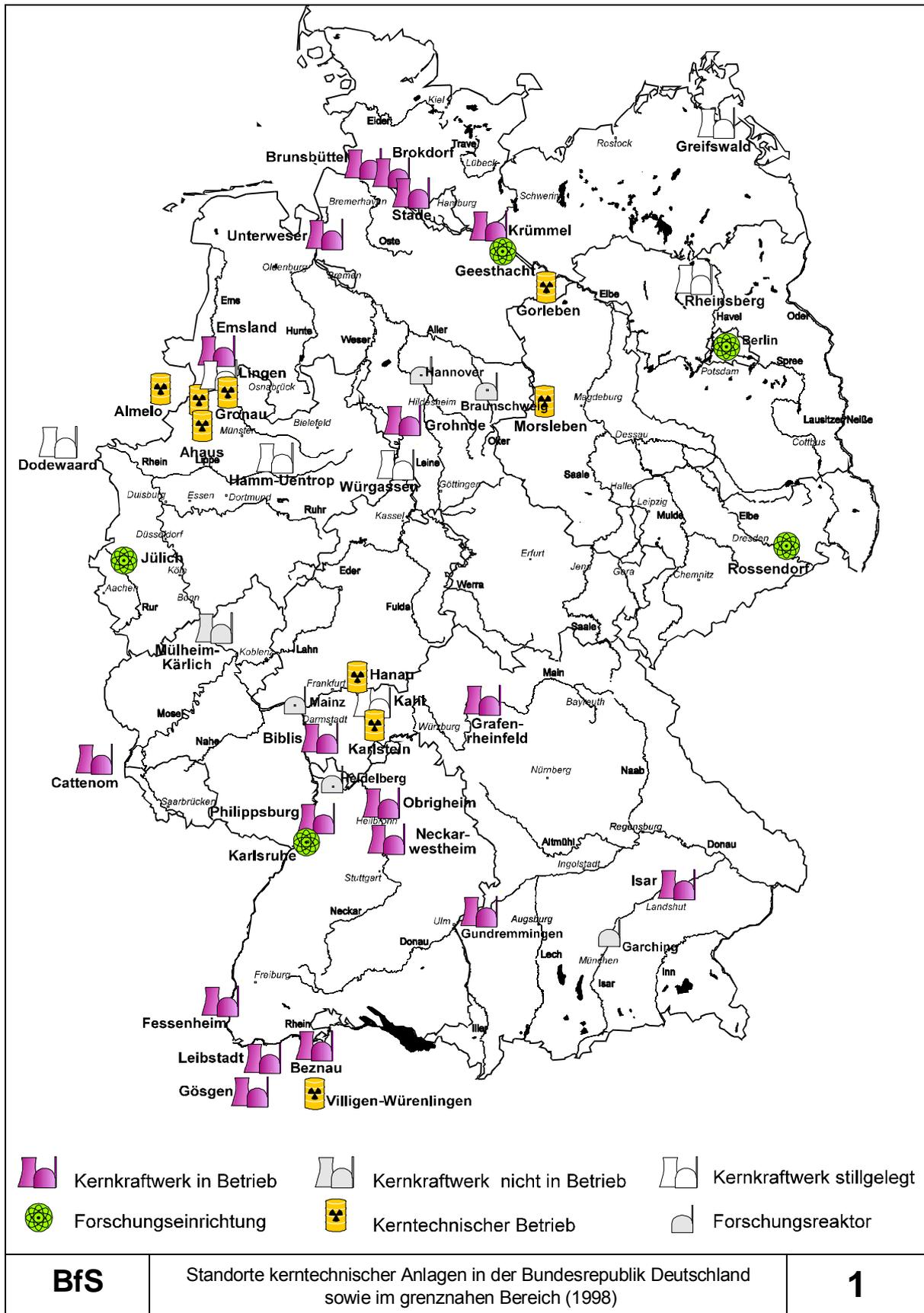
Tabelle 3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 31.12.1998)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1979	36752 m ³ /3,8E14 Bq

Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,7 E14 Bq.

Tabelle 4 Kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland (Stand 31.12.1998)

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	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km



1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für 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 jährlichen Emissionsraten sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabellen 1 bis 8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft der Kernkraftwerke im Jahr 1998 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 aufgrund von Einzelnuklidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 1998 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 1998 mit $2,7 \cdot 10^{13}$ Becquerel niedriger als 1997 mit $3,8 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 1998 mit $1,8 \cdot 10^8$ Becquerel unter dem Vorjahreswert von $3,0 \cdot 10^8$ 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 1998 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren (Tabelle 6) betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken.

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 kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben werden die mit der Abluft emittierten α -strahlenden Aerosole ermittelt (Tabelle 8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 1998 mit insgesamt $6,3 \cdot 10^5$ Becquerel etwa in gleicher Höhe wie 1997 mit $6,4 \cdot 10^5$ Becquerel.

Die für das Jahr 1998 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 Abschnitt 1.5 angegeben.

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1998 in Becquerel

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

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) 1998 nicht in Betrieb

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

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1998 in Becquerel

Radio-nuklid	Kahl/ Rheinsberg	Gundrem- mingen A/ Lingen	Obrigheim	Würgas- sen	Stade	Greifs- wald	Biblis A	Biblis B
Ar-41			7,0E10		1,1E12		4,6E10	5,0E10
Kr-85m							3,2E08	2,4E09
Kr-85					1,7E11		1,1E12	1,3E12
Kr-87							1,7E07	
Kr-88							2,5E07	6,5E08
Kr-89								
Xe-131m							2,2E11	1,6E11
Xe-133m							1,8E09	5,9E09
Xe-133			1,5E11		3,7E10		1,7E11	9,7E11
Xe-135m							9,2E06	2,8E08
Xe-135			3,8E10		2,9E10		1,7E10	5,0E10
Xe-137							3,1E07	
Xe-138								

Radio-nuklid	Neckar 1	Brun- sbüttel	Isar 1	Unterweser	Philipp- sburg 1	Grafen- rheinfeld	Krüm- mel	Gundrem- mingen B, C
Ar-41	6,0E11	9,3E10	2,7 E08	2,3E12		5,5E10		3,0E09
Kr-85m	1,0E09	5,1E09			7,4E08		5,9E10	
Kr-85	1,2E10		6,8E11	1,1E12	1,1E10			3,3E08
Kr-87	3,0E09		4,8E08		2,3E09		1,4E09	
Kr-88	4,0E09	2,0E10	5,9E07		8,0E08			
Kr-89			1,3E10					
Xe-131m	3,0E09	6,9E10						
Xe-133m		5,2E10					9,0E08	
Xe-133	8,0E10	5,2E11	4,6E09		3,1E10	6,4E09	1,1E11	1,2E10
Xe-135m	6,0E09	2,0E11	6,4E10		2,5E11		9,0E10	
Xe-135	4,1E10	1,9E12	2,0E10		3,6E11		2,2E11	1,5E09
Xe-137			1,1E09		1,4E09			
Xe-138			2,4E08		1,4E10			
Sonstige							5,4E09	

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

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 3 Ableitung radioaktiver Aerosole mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1998 in Becquerel (Jod-131: Tabelle 1)

Radio-nuklid	Kahl	Rheins-berg	Gund-remmin-gen A	Lingen	Obrig-heim	Würgas-sen	Stade	Greifs-wald	Biblis A
Cr-51					6,6E04				
Mn-54			3,8E03		3,7E03		2,0E03		
Fe-59									
Co-57									
Co-58					1,8E05				
Co-60	7,0E04	3,4E05	9,4E05	4,5E02	1,3E06	1,8E07	5,8E05	3,1E07	3,6E05
Zn-65									
Sr-89									
Sr-90		1,9E04	4,4E03			2,0E05		5,7E05	
Zr-95					9,7E03				
Nb-95					1,2E04		3,7E04		
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					3,2E05		9,2E04		
Sb-124									
Sb-125									
Te-123m									6,6E06
Cs-134									
Cs-137	1,1E04	8,3E05	3,1E05	4,2E03	3,9E05	2,3E07	1,5E05	1,2E06	
Ba-140									
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		6,1E03							
Eu-154									
Pu-238+Am-241			5,5E03			5,1E03			
Pu-239+Pu-240			1,2E04			1,5E04			
Pu-241									
Cm-242									
Cm-244						3,4E03			
U234/238				7,2E01					

Fortsetzung Tabelle 3

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

Fortsetzung Tabelle 3

Radionuklid	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philipps- burg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
Cr-51							1,6E04	
Mn-54								
Fe-59								
Co-57								
Co-58			7,3E03					
Co-60	1,8E06		1,1E05		6,6E04		3,9E04	1,7E05
Zn-65								
Sr-89								
Sr-90								
Zr-95								
Nb-95							8,9E03	3,2E04
Ru-103								
Ru-106								
Ag-110m			4,1E04				7,9E03	
Sb-124								2,3E04
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134								
Cs-137			4,1E04					
Ba-140								
La-140								
Ce-141								
Ce-144								
Eu-152								
Eu-154								
Pu-238+Am-241								
Pu-239+Pu-240								
Pu-241								
Cm-242								
Cm-244								

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 4 Ableitung radioaktiver Edelgase und von Jod-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer, ohne Forschungszentren) in den Jahren 1988 bis 1998

Jahr	Edelgase Bq	Jod-131 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

Tabelle 5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 1998 in Becquerel

Forschungszentrum	Edelgase	Aerosole a)	Jod-131	Jod-129	Kohlenstoff-14	Tritium	Strontium-90
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	3,6E12	1,9E07 ^{b)}	4,7E06	2,9E06	9,2E10	4,3E12	8,9E05
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	5,2E11	2,7E04	1,0E08	-	6,9E10	3,8E12	5,8E02
Forschungszentrum Rossendorf	6,7E09	4,3E05	n.n.	n.n.	6,5E09	5,5E10	3,0E04
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	5,3E12	8,4E04	8,6E04	-	1,6E09	4,4E10	n.n.
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	1,4E11	4,9E02	2,3E05	-	1,9E09	3,2E10	-

a) Halbwertszeit > 8 d

b) davon α -Strahler: 2,9 E05 Becquerel

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

Tabelle 6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 1998 in Becquerel

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
Braunschweig	n.n.	9,5E03	n.n.	1,3E08	8,8E09
Garching	4,5E11	3,2E03	3,5E04	1,6E08	2,2E10
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	5,6E09	2,8E04	-	1,7E06	1,9E07
Mainz	1,0E11	n.n.	n.n.	-	-

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 (Tab. 5). Der Forschungsreaktor Braunschweig wurde Ende 1995 endgültig abgeschaltet, der Forschungsreaktor Hannover Ende 1996.

Tabelle 7 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus dem Endlager Morsleben, 1998

Nuklid	Bq
Tritium	2,2E10
Kohlenstoff-14	1,3E09
langlebige Aerosole	2,2E06
Radon-Folgeprodukte	1,0E10

Tabelle 8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Abluft aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1998

Betrieb	Bq
NUKEM GmbH (Hanau) a)	2,9E05
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
- Betriebsteil MOX-Verarbeitung a)	<2,4E04
- Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	<2,5E05
- Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein a)	- b)
ANF GmbH (Lingen)	<1,6E04
URENCO D (Gronau)	5,0E04

a) Brennelementeproduktion eingestellt

b) Nach Freimessung am 23.09.1997 ist der Betrieb der nach § 7 AtG genehmigten Lüftungsanlage eingestellt

1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen

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

In den Tabellen 1 bis 3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1998 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 1998 insgesamt 8,7 m³ Abwasser abgeleitet (Tabelle 4).

Sämtliche Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken (Tab. 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 4,1 GBq, für die Siedewasserreaktoren bei 2,3 GBq. Die Tritiumangaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 170 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 7,6 TBq.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Kernforschungszentren (Tab. 2) und den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben (Tab. 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 1998 in Becquerel (Summenwerte, Tritium und α -Strahler)

Radionuklid Kernkraftwerk	Spalt und Aktivierungsproduk- te (außer Tritium)	Tritium	α -Strahler
Siedewasserreaktoren			
Kahl 1)	4,1E+07	2,2E+10	
Lingen 1)			6,2E+04
Würgassen 1)	1,7E+08	1,3E+10	
Brunsbüttel	2,5E+08	2,8E+11	
Isar 1	2,6E+08	9,0E+11	1,5E+06
Philippsburg 1	4,6E+08	5,2E+11	2,1E+06
Krümmel	8,6E+06	4,2E+11	
Gundremmingen 2)(Block A,B und C)	1,1E+09	5,4E+12	
Druckwasserreaktoren			
Obrigheim	6,8E+08	5,2E+12	
Stade	5,0E+07	2,6E+12	7,3E+03
Biblis Block A	2,9E+07	1,3E+13	
Biblis Block B	2,0E+09	1,7E+13	
Neckar 1	5,3E+06	1,0E+13	
Unterweser	6,0E+07	6,9E+12	
Grafenrheinfeld	6,2E+07	1,5E+13	
Grohnde	2,3E+07	1,6E+13	8,7E+05
Philippsburg 2	8,3E+08	1,7E+13	
Mühlheim-Kärlich	1,1E+08	3,6E+11	
Brokdorf	1,3E+07	1,9E+13	
Isar 2	2,6E+05	1,9E+13	
Emsland	9,4E+03	1,5E+13	
Neckar 2	4,9E+07	1,6E+13	
Rheinsberg 3)	1,7E+07		5,0E+04
Greifswald Block 1 bis 5 3)	1,5E+08	2,4E+10	

1) Anlage stillgelegt 2) Block A stillgelegt 3) 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 1998 in Becquerel

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	α -Strahler
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	1,2 E 09	2,5 E 12	2,9 E 05
Jülich	2,3 E 08	9,5 E 11	
GKSS Geesthacht	9,1 E 07	3,7 E 09	2,6 E 04
HMI Berlin	6,1E+05	1,3 E 09	
FRM Garching	8,2 E 06	2,6 E 09	
FRZ/VKTA Rossendorf 1)	8,0 E 06	3,4 E 10	9,8 E 05

1) vormals ZfK Rossendorf

2) einschließlich der Radionuklide aus der Isotopenproduktion und Forschungseinrichtung

3) Pu-239

Tabelle 3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit dem Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1998 in Becquerel

Betrieb	α -Strahler
NUKEM GmbH	3,0 E+07
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung a) Betriebsteil Uran-Verarbeitung a) Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein a)	2,3 E+08
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	8,5 E+03

a) Brennelementproduktion eingestellt

Tabelle 4 Ableitungen radioaktiver Stoffe (mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 1998 in Becquerel)

Radionuklid	Jahresaktivitätsableitung in Bq
Tritium	2,3 E+05
Nuklidgemisch (außer Tritium)	1,9 E+04

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

1.4 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

1.4.1 Luft

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

Die Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen **Jod-131** haben sich gegenüber dem Vorjahr nicht verändert und lagen in den meisten Fällen unterhalb der Nachweisgrenzen. Lediglich an einer Messstelle des Forschungszentrums Jülich konnte 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 1998 an allen Messstellen unterhalb der Nachweisgrenzen (vgl. Tabelle 2).

Die nach der REI geforderten Nachweisgrenzen liegen für I-131 bei 2 mBq/m³ sowie für Co-60 bei 0,4 mBq/m³. Diese Werte werden von allen Betreibern 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 (in Millebecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Zeitraum Probenahmestelle	N	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
HMI Berlin	2	-	-	-	-	< 0,23	< 0,22	< 0,20	< 0,29
KKW Brunsbüttel	2	< 0,14	< 0,13	< 0,093	-	< 0,22	< 0,26	< 0,22	-
KKW Brokdorf	2	< 0,22	-	< 0,23	< 0,19	< 0,46	< 0,54	< 0,55	-
KKW Krümmel	3	< 0,10	< 0,10	< 3,7	< 0,10	< 0,10	< 0,40	< 0,40	-
GKSS Geesthacht	1	< 0,27	< 0,31	< 0,29	< 0,28	< 0,28	< 0,24	< 0,50	-
KKW Stade	1	-	-	-	-	< 0,60	< 0,53	< 0,42	[< 0,38] ^y
KKW Unterweser	2	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	[< 2,0] ^y	< 2,00	[< 2,00] ^y
KKW Grohnde	3	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 0,82	< 0,48	< 0,43	< 0,45	< 0,44
KKW Emsland	2	< 0,14	< 0,12	< 0,13	< 0,15	[< 0,38] ³	< 0,43	< 0,33	< 0,31
KKW Würgassen	3	< 0,2	< 0,20	< 0,19	< 1,18	< 1,43	*	*	*
KFA Jülich	3	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	0,63**	0,33 **	0,63**
THTR Hamm-Uentrop	2	< 0,39	< 0,68	< 0,78	< 0,89	[< 0,38]*	*	*	*
KKW Biblis	2	-	-	< 0,65	< 1,2	< 1,2	< 0,54	< 0,57	< 0,50
KKW Philippsburg	4	-	< 0,75	< 0,51	< 0,61	< 0,74	< 0,68	< 0,65	< 0,62
KKW Obrigheim	3	-	< 0,40	< 0,35	< 0,56	< 0,68	< 0,80	< 0,78	< 0,80
KKW Neckarwestheim	2	-	< 0,067	< 0,77	< 0,54	< 0,74	< 0,77	< 0,72	< 0,68
KfK Karlsruhe	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	< 0,17	< 0,16	< 0,18	< 0,19	< 0,14	< 0,35	< 0,36	< 0,31
KKG Grafenrheinfeld	3	< 0,13	< 0,23	< 0,23	< 0,25	< 0,21	< 0,48	< 0,49	< 0,42
KRB Grundremmingen II	3	< 0,35	< 0,24	< 0,37	< 0,27	< 0,33	< 0,44	< 0,32	< 0,32
KKW Greifswald	2	-	-	-	-	< 0,38	< 0,14	< 0,10	< 0,08
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	-	< 0,22	< 0,14	< 0,06	< 0,06
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KKW Mühlheim-Kärlich	2	-	-	-	-	-	-	< 0,40	< 0,36

N : Zahl der Messstationen

- : keine Messwerte

* : Messungen eingestellt

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

**Tabelle 2 Jahresmittelwerte der Aktivitätskonzentrationen von Co-60
(in Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)**

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

- : keine Messwerte

* : Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten

N : Zahl der Messstationen

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

**Tabelle 3 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(γ -Dosisleistung in nSv pro Stunde, Messwerte der Betreiber)**

Zeitraum Probenahmestelle	N	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
HMI Berlin	2	77	82	83	-	83	79	72	73
KKW Brunsbüttel	2	94	96	93	93	83	[90] ⁹	72	75
KKW Brokdorf	2	55	57	55	62	65	62	62	60
KKW Krümmel	3	-	63	64	60	66	[68] ⁹	63	71
GKSS Geesthacht	1	78	79	78	78	80	80	84	[80] ⁹
KKW Stade	1	-	-	-	-	165	196	60*	[50] ⁹
KKW Unterweser	2	50	52	50	50	54	[54] ⁹	90	[90] ⁹
KKW Grohnde	3	93	92	89	88	91	88	88	85
KKW Emsland	2	75	75	75	74	[75] ³	73	66	66
KKW Würgassen	3	107	105	95	102	105	104	-	-
KFA Jülich	12	53	54	64	55	63	59	55	64
THTR Hamm-Uentrop	2	62	74	-	74	83	92	92	90
KKW Biblis	3	-	-	-	80 - 125	73 - 128	93	85	88
KKW Philippsburg	4	52	52	100	99	99	112	109	105
KKW Obrigheim	3	-	< 200	< 200	73	73	78	75	73
KKW Neckarwestheim	2	-	-	-	53	54	58	61	58
KfK Karlsruhe	8	-	-	-	86	86	96	85	84
KKI Niederaichbach ^a	5	93	99	83	78	79	80	68	67
KKG Grafenrheinfeld ^a	5	70	72	70	86	117	118	97	109
KRB Grundremmingen II ^a	5	90	90	87	85	88	89	79	77
KKW Greifswald	20	-	-	-	-	71	54 - 81	70	72
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	-	116	113	110	110
KKR Rheinsberg	4	-	-	-	-	-	110	105	101

- : keine Messwerte

*: Ersatzwert Sonde NLÖ unweit defekter Sonde

N: Zahl der Messstationen

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

a): teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Milchwirtschaft, 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 Jahr 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.

Tabelle 1 Radioaktivität des Bodens in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	1996 1997 1998	11 11 11	Cs-137 14,6 17,4 12,7 (6,1 - 84,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
	1996 1997 1998	3 3 3	Sr-90	3 3 3	1,3		
					0,8		
					0,8 (0,4 - 1,6)		
	Kernkraftwerk Obrigheim	1996 1997 1998	8 8 8	12,1 10,8 10,8 (3,9 - 19,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240
						< 0,26	0,51
						< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	1996 1997 1998	8 8 8	12,9 12,7 12,8 (3,0 - 22,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240
						< 0,26	0,51
						< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)
Kernkraftwerk Philippsburg	1996 1997 1998	11 8 8	17,8 17,0 15,4 (5,2 - 30,0)	a) a) a)	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1996 1997 1998	8 8 8	31,6 38,4 33,0 (20,0 - 58,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1996 1997 1998	4 4 4	13,5 9,6 11,9 (7,5 - 16,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
TRIGA Heidelberg	1996 1997 1998	2 2 2	b) (24,0 - 34,0) b) (22,0 - 30,0) b) (18,0 - 23,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Kahl	1996 1997 1998	3 3 2	13,1 24,0 32,5 (22,0 - 43,0)	7 8 7	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
Kernkraftwerk Gundremmingen	1996 1997 1998	12 12 12	60,1 58,4 62,0 (26,0 - 110,0)	a) a) a)	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	
Kernkraftwerk Isar	1996 1997 1998	12 12 12	79,8 58,0 63,9 (12,0 - 110,0)	a) a) a)	Pu-238	Pu-239/240	
					< 0,26	0,51	
					< 0,11 < 0,77 (< 0,01 - 2,3)	0,29 0,66 (0,14 - 2,0)	

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1996	10	8,7	a)	a)
	1997	11	6,8	a)	a)
	1998	10	9,3 (4,3 - 21,0)	a)	a)
Forschungsreaktor München	1996	2	b) (100,0 - 150,0)		
	1997	2	b) (60,0 - 120,0)		
	1998	2	b) (74,0 - 110,0)		
KWU Erlangen	1996	4	28,3		Pu-238
	1997	4	29,8	4	Pu-239/240
	1998	4	20,0 (15,0 - 28,0)	4	b) (<0,17-<0,17) <0,14 b) (<0,1-<0,11)N=2 <0,10 (<0,08-0,11)
	1996			2	U-235 b) 0,46-0,5
	1997			4	U-238 b) 10,0-12,0
	1998			2	Am-241 <0,06-<0,08 <0,6 6,9 <0,12 <0,50 N=4 b)7,6-16,0 b)<0,08-0,16 (0,35-0,6)
KWU Karlsruhe	1996	2	23,0	2	Pu-238 b) <0,1 - <0,15
	1997	2	22,5	2	Pu-239/240 b) <0,04-<0,1
	1998	2	20,5 (14,0 - 27,0)	2	b) <0,1 - <0,3 b) <0,1-<0,2 b) <0,1 - <0,13 b) <0,06 N=1
	1997			2	U-235 b) 0,2 - 1,1
	1998			2	U-238 b) 5,5 - 22,0
					Am-241 b) 0,05-<0,1 b)<0,1-<0,5 b) 3,8 - 5,2 b) 0,05-<0,1
			Gesamt-α-Aktivität		Sr-90
SBWK Karlsruhe	1996	4	150		
	1997	4	140		
	1998	4	130 (70 - 180)		
			Cs-137		
<u>Berlin</u>					
Forschungsreaktor BERII	1996	8	19,3		
	1997	8	21,9		
	1998	8	19,7 (12,0 - 24,2)		
<u>Brandenburg</u>					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1996	8	11,3		
	1997	8	11,5		
	1998	8	7,7 (1,3 - 15,0)		
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk Biblis	1996	5	8,5	a)	a)
	1997	10	7,5	a)	a)
	1998	10	7,4 (6,2 - 8,6)	a)	a)
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche
Nuklearbetriebe Hanau	1996	6	370	6	550
	1997	6	615	6	520
	1998	6	430 (180 - 1010)	4	370 (200 - 600)
			Cs-137		Pu-239/240 Bq/kg Asche
					0,26 (N=3) 0,47 (N=3) 0,33 (N=3) (0,28 - 0,43)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u>					U-235
Kernkraftwerk Greifswald	1996	22	10,1		0,9
	1997	29	12,9	18	0,8 (0,4 - 2,4)
	1998	28	15,7 (0,08- 67,0)	18	
					Sr-90
<u>Niedersachsen</u>					
Kernkraftwerk Stade	1996	12	18,3	a)	a)
	1997	24	13,9	a)	a)
	1998	16 ?	<16,8 (<0,2 - 63,0)	a)	a)
Kernkraftwerk Unterweser	1996	10	42,3	a)	a)
	1997	22	21,5	a)	a)
	1998	8 ?	14,5 (2,4 - 36,0)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1996	10	26,7	a)	a)
	1997	10	24,3	a)	a)
	1998	10	15,1 (3,6 - 22,2)	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse						
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)			
Kernkraftwerk Emsland	1996	10	26,1	a)	Sr-90 a)			
	1997	10	21,1	a)				
	1998	7 ?	21,6 (10,0 - 37,0)	a)				
Zwischenlager Gorleben	1996	18	38,0	4	< 1,6 (<1,3 - < 2,0) a)			
	1997	17	33,4 (12,0 - 81,0)					
	1998	a)	a)					
FMRB Braunschweig	1996	6	35,6	6	Gesamt- α Aktivität 1,3			
	1997	4	13,5	4				
	1998	6	18,7 (4,1 - 25,0)					
Schacht Konrad II	1996	24	20,1	12	38,2 (29,1 - 46,8) a)			
	1997	24	14,5 (1,1 - 62,0)	a)				
	1998	a)	a)	a)				
Advanced Nuclear Fuels Lingen			Uran $\mu\text{g/kg}$ Asche		Bq/kg Asche			
	1996	a)		3	U-234	U-235	U-238	
	1997	3	386	3	6,3	0,28	6,2	
	1998	3	421 (254 - 600)	3	4,5	0,22	4,3	
KFA Jülich			Cs-137		Sr-90			
	1996	10	10,0	6	1,5			
	1997	10	10,7	6	1,8			
Kernkraftwerk Würgassen	1996	20	24,9	a)	2,2 (0,9 - 5,1)			
	1997	20	20,6					
	1998	22	18,4 (8,0 - 40,0)					
Kernkraftwerk Uentrop	1996	8	27,9	a)	a)			
	1997	8	24,9	a)	a)			
	1998	8	38,2 (14,0 - 92,1)	a)	a)			
Zwischenlager Ahaus	1996	6	19,7	6	1,5			
	1997	6	14,2	6	1,7			
	1998	12	15,1 (7,5 - 24,0)	6	2,2 (0,4 - 9,4)			
UAG Gronau			Uran					
	1996	10	<0,2					
	1997	10	<0,1					
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1996	8	23,9	a)	a)			
	1997	8	16,6		a)	a)		
	1998	8	13,9 (7,7 - 23,8)		a)	a)		
Sachsen Rossendorf			Cs-137		Sr-90			
	1996	a)	a)	a)	a)			
	1997	a)	a)	a)	a)			
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1996	16	15,0	4	Gesamt- β -Aktivität			
	1997	17	11,2		a)			
	1998	16	9,3 (3,6 - 24,0)		b) 580-650 (N=2)			
Endlager Morsleben	1996	12	8,8	4	0,7	650 (590-690) (N=3)		
	1997	8	8,8	4	0,8			
	1998	8	11,2 (4,7 - 15,0)	4	0,9 (0,5 - 1,4)			

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Schleswig-Holstein</u>			Cs-137		Sr-90
GKSS	1996	8	10,8	a)	a)
Geesthacht	1997	10	7,9	2	0,5
	1998	10	10,2 (3,3 - 20,0)	2	0,4 (0,2 - 0,6)
Kernkraftwerk	1996	10	30,7	6	1,7
Brunsbüttel	1997	8	31,9	2	1,0
	1998	8	33,2 (12,2 - 46,1)	2	1,9 (1,2 - 2,5)
Kernkraftwerk	1996	15	5,2	10	0,6
Krümmel	1997	12	10,5	6	1,0
	1998	12	10,1 (7,8 - 12,4)	6	0,9 (0,6 - 1,3)
Kernkraftwerk	1996	16	22,9	2	b) (0,6 - 2,1)
Brokdorf	1997	16	21,6	16	2,5
	1998	16	24,3 (5,6 - 44,0)	16	2,4 (0,9 - 6,2)

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

Tabelle 2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u>			Cs-137		Pu-238 Pu-239/240
FZ Karlsruhe	1996	6	<0,6	4	<0,07 <0,03
	1997	6	<1,1	4	<0,05 <0,05
	1998	6	0,4 (0,2 - 0,6)	4	<0,05 <0,04 (<0,02 - 0,09) (<0,02 - 0,09)
Kernkraftwerk	1996	8	<0,7		Sr-90
Obrigheim	1997	8	<1,2		
	1998	8	<0,7 (<0,5 - 1,3)		
Kernkraftwerk	1996	8	<0,5		
Neckarwestheim	1997	8	<0,6		
	1998	8	<0,7 (<0,3 - 3,2)		
Kernkraftwerk	1996	8	<1,3	a)	a)
Philippsburg	1997	8	<0,7	a)	a)
	1998	8	1,4 (0,2 - 4,0)	a)	a)
Kernkraftwerk	1996	8	<2,1		
Beznau/Leibstadt	1997	8	2,9		
Schweiz	1998	8	1,6 (0,4 - 3,7)		
Kernkraftwerk	1996	4	2,2		
Fessenheim	1997	4	0,4		
Frankreich	1998	4	0,9 (0,3 - 2,3)		
TRIGA Heidelberg	1996	2	0,5		
	1997	2	1,1		
	1998	2	1,1 (1,0 - 1,1)		
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk	1996	3	0,6		
Kahl	1997	3	<0,4		
	1998	3	0,3 (0,2 - 0,4)		
Kernkraftwerk	1996	12	<2,5		
Gundremmingen	1997	12	<1,2		
	1998	12	<1,9 (<0,3 - 6,7)		
Kernkraftwerk	1996	12	<2,9		
Isar	1997	12	<1,9		
	1998	12	<5,6 (< 0,3 - 27,0)		
			erhöhter Wert durch Bodenkontamination		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse											
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)								
			Cs-137		Sr-90								
Kernkraftwerk Grafrheinfeld	1996	10	<0,4										
	1997	10	<0,4										
	1998	10	<0,4 (<0,2 - 0,9)										
Forschungsreaktor München	1996	2	1,9										
	1997	2	<0,9										
	1998	2	1,7 (1,3 - 2,1)										
KWU Erlangen	1996	4	<1,8	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pu-238</th> <th>Pu-239/240</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0,6</td> <td><0,21</td> </tr> <tr> <td><0,22</td> <td><0,04 (N=4)</td> </tr> <tr> <td>b)<0,055-<0,072</td> <td><0,05 (N=4) (<0,02 - <0,08)</td> </tr> </tbody> </table>	Pu-238	Pu-239/240	<0,6	<0,21	<0,22	<0,04 (N=4)	b)<0,055-<0,072	<0,05 (N=4) (<0,02 - <0,08)
	Pu-238	Pu-239/240											
	<0,6	<0,21											
<0,22	<0,04 (N=4)												
b)<0,055-<0,072	<0,05 (N=4) (<0,02 - <0,08)												
1997	4	<2,0											
1998	4	<2,1 (<0,6 - 6,1)											
KWU Karlstein	1996	2	2,4	2	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>b)<0,08 - <0,1</td> <td>b) <0,02 - < 0,1</td> </tr> <tr> <td><0,4</td> <td>b) <0,02 - < 0,1</td> </tr> <tr> <td><0,5 (<0,3 - 0,7)</td> <td>b)<0,05 - <0,1</td> </tr> </tbody> </table>	b)<0,08 - <0,1	b) <0,02 - < 0,1	<0,4	b) <0,02 - < 0,1	<0,5 (<0,3 - 0,7)	b)<0,05 - <0,1		
	b)<0,08 - <0,1	b) <0,02 - < 0,1											
	<0,4	b) <0,02 - < 0,1											
<0,5 (<0,3 - 0,7)	b)<0,05 - <0,1												
1997	2	<0,4											
1998	2	<0,5 (<0,3 - 0,7)											
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg TM		Sr-90								
SBWK Karlstein	1996	2	81,0										
	1997	2	150,0										
	1998	2	200,0 (140 - 260)										
			Cs-137										
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1996	8	2,7										
	1997	5	2,5										
	1998	8	<2,3 (<0,4 - 7,4)										
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1996	8	2,2										
	1997	8	3,4										
	1998	8	2,1 (0,6 - 4,0)										
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1996	4	<0,6	a)	a)								
	1997	10	<0,4										
	1998	10	<0,5 (< 0,2 - 0,8)										
			Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche</th> <th>Pu-239/240 Bq/kg Asche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80</td> <td><0,1 (N=1)</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td><0,1 (N=1)</td> </tr> <tr> <td>260 (80 - 440)</td> <td>b) <0,1- <0,7 (N=2)</td> </tr> </tbody> </table>	Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche	Pu-239/240 Bq/kg Asche	80	<0,1 (N=1)	150	<0,1 (N=1)	260 (80 - 440)	b) <0,1- <0,7 (N=2)
Rest- β -Aktivität Bq/kg Asche	Pu-239/240 Bq/kg Asche												
80	<0,1 (N=1)												
150	<0,1 (N=1)												
260 (80 - 440)	b) <0,1- <0,7 (N=2)												
Nuklearbetriebe Hanau	1996	4	80	1									
	1997	4	150										
	1998	7	260 (80 - 440)										
			Cs-137		Sr-90								
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1996	19	<2,1										
	1997	21	<2,9										
	1998	20	<1,3 (<0,9 - 4,3)										
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1996	12	<0,9	a)	a)								
	1997	24	<1,1										
	1998	12	<0,8 (<0,2 - 2,2)										
Kernkraftwerk Unterweser	1996	10	<2,1	a)	a)								
	1997	16	<1,4										
	1998	3 ?	1,9 (1,0 - 3,3)										
Kernkraftwerk Grohnde	1996	10	<0,7	a)	a)								
	1997	10	<0,5										
	1998	10	<0,4 (0,3 - 0,5)										
Kernkraftwerk Emsland	1996	10	<1,5										
	1997	10	<1,8										
	1998	6 ?	1,7 (0,4 - 3,2)										
Zwischenlager Gorleben	1996	18	29,8	a)	a)								
	1997	17	51,4 (4,2 - 150,0)										
	1998	a)	a)										
					6,0 (1,4 - 12,0)								
					a)								

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
FMRB Braunschweig	1996	4	3,5		Sr-90
	1997	6	4,3		
	1998	4	2,2 (0,5 - 3,7)		
Schacht Konrad II	1996	24	<1,0	24	a) 10,4
	1997	12	<2,0 (0,4 - 15,0)	4	1,1 (0,6 - 1,9) a)
	1998	a)	a)	a)	a)
Sr-90					
<u>Nordrhein-Westfalen</u>					
KFA Jülich	1996	10	<1,3		
	1997	10	<0,5		
	1998	10	<0,4 (< 0,1 - 1,2)		
Kernkraftwerk Würgassen	1996	12	<1,2		
	1997	12	<0,5		
	1998	12	<0,8 (< 0,1 - 3,7)		
Kernkraftwerk Uentrop	1996	8	<2,4		
	1997	8	<2,6		
	1998	10	<1,9 (< 0,1 - 9,4)		
Zwischenlager Ahaus	1996	10	<7,9	10	3,1
	1997	13	<6,0	13	<3,5
	1998	13	<1,9 (< 0,2 - 5,5)	13	2,2 (0,7 - 5,0)
Uran Bq/kg Trockenmasse					
UAG Gronau	1996	12	<0,90	12	Uran µg/kg TM 3,5
	1997	7	<0,3 (<0,3 - <0,3) U-238	12	<0,23 (<0,23-0,23) 1,1
	1998	18	<0,24 (<0,23-0,36)U-238	18	<0,7 (<0,5 - 1,7)
Cs-137					
<u>Rheinland-Pfalz</u>					
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1996	8	<0,9		
	1997	8	<0,5		
	1998	6	<0,4 (< 0,1 - 1,0)		
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1996	a)	a)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)
Gesamt-β-Aktivität					
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1996	12	<3,3	a)	a)
	1997	2	<1,8	2	b) (980 - 1200)
	1998	8	<0,8 (< 0,2 - 3,6)	4	1120 (880 - 1500)
Sr-90					
<u>Sachsen</u>					
Rosendorf	1996	16	<3,6		
	1997	16	<3,4		
	1998	16	5,5 (0,9 - 24,0)		
<u>Schleswig-Holstein</u>					
GKSS Geesthacht	1996	9	3,9		
	1997	8	1,3		
	1998	8	1,9 (0,4 - 3,2)		
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1996	12	<1,2	4	1,9
	1997	8	<0,5	a)	a)
	1998	8	1,3 (0,2 - 0,2)	a)	a)
Kernkraftwerk Krümmel	1996	13	<0,6	11	2,0
	1997	8	1,7	6	4,1
	1998	8	1,0 (0,3 - 2,5)	6	3,2 (1,6 - 4,5)
Kernkraftwerk Brokdorf	1996	16	<0,8	2	b) (1,3 - 1,3)
	1997	14	<0,9	a)	a)
	1998	14	<1,4 (<0,3 - 4,4)	a)	a)

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

Tabelle 3 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
<u>Baden-Württemberg</u>			Sr-90		Cs-137		I-131
FZ Karlsruhe	1997	4	0,06	4	<0,32	a)	a)
	1998	4	0,05 (0,03-0,07)	4	<0,06 (0,04-<0,08)	a)	a)
Kernkraftwerk Obrigheim	1997	4	0,04	4	<0,09	10	<0,008-<0,014
	1998	4	0,03 (0,03-0,05)	4	<0,09 (<0,07-<0,14)	10	<0,010-<0,013
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1997	4	0,03	4	<0,13	9	<0,008-<0,015
	1998	4	0,04 (0,03-0,06)	4	<0,10 (<0,07-<0,14)	12	<0,010-<0,014
Kernkraftwerk Philippsburg	1997	4	0,03	5	<0,07	12	<0,007-<0,037
	1998	4	0,02 (0,007-0,03)	7	<0,08 (<0,01-<0,15)	12	<0,007-<0,011
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt,Schweiz	1997	5	0,05	5	<0,11	9	<0,006-<0,011
	1998	5	0,06 (0,02-0,08)	8	<0,05 (<0,02-<0,12)	7	<0,006-<0,012
Kernkraftwerk Fessenheim,Frankreich	1997	4	0,03	4	<0,11	9	<0,007-<0,018
	1998	4	0,03 (0,02-0,04)	4	<0,07 (<0,04-<0,10)	8	<0,011-<0,026
<u>Bayern</u>							
Kernkraftwerk Gundremmingen	1997	7	0,04	7	<0,21	16	<0,010-<0,010
	1998	6	0,04 (0,03-0,06)	6	<0,14 (<0,11-<0,18)	15	<0,007-<0,03
Kernkraftwerk Isar	1997	4	0,06	4	<0,12	12	<0,010-<0,01
	1998	4	0,06 (0,05-0,07)	4	<0,15 (<0,11-<0,21)	12	<0,005-<0,054
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1997	6	0,02	6	<0,10	17	<0,01-<0,01
	1998	6	0,02 (0,02-0,03)	6	<0,10 (<0,10-<0,10)	18	<0,01-<0,01
<u>Brandenburg</u>							
Kernkraftwerk Rheinsberg	1997	4	0,02	4	<0,09	a)	a)
	1998	4	0,03 (0,02- 0,03)	4	<0,09 (<0,08-<0,11)	a)	a)
<u>Hessen</u>							
Kernkraftwerk Biblis	1997	10	<0,02	10	<0,11	27	<0,007-<0,01
	1998	14	<0,02 (0,01-<0,02)	20	<0,05 (<0,01-<0,15)	52	<0,005-<0,013
<u>Mecklenburg-Vorpommern</u>							
Kernkraftwerk Greifswald	1997	6	0,03 (0,02-0,04)	6	<0,15	6	<0,07-<0,11
	1998	6	0,03 (0,02-0,04)	6	<0,17 (<0,05-0,38)	6	<0,011-<0,093
<u>Niedersachsen</u>							
Kernkraftwerk Stade	1997	4	0,03	12	<0,14	12	<0,002-<0,008
	1998	2	0,02 (0,02-0,02)	4	<0,10 (0,08-<0,12)	4	<0,014-<0,028
Kernkraftwerk Unterweser	1997	4	0,03	12	<0,21	12	<0,002-<0,002
	1998	2	0,03 (0,03-0,03)	4	<0,15 (<0,12-<0,18)	4	<0,010-<0,027
Kernkraftwerk Grohnde	1997	4	0,03	10	<0,09	12	<0,002-<0,007
	1998	2	0,02 (0,02-0,02)	4	<0,08 (<0,02-<0,15)	10	<0,009-<0,031
Kernkraftwerk Emsland	1997	4	0,03	12	<0,13	12	<0,005-<0,024
	1998	2	0,02 (0,02-0,02)	4	0,10 (0,06- 0,12)	4	<0,018-<0,028
Schacht Konrad II	1997	12	0,02 (0,01-0,04)	12	<0,12 (<0,11-<0,13)	-	-
	1998	a)	a)	a)	a)	-	-
Zwischenlager Gorleben	1997	12	0,03 (0,01-0,05)	24	0,66 (0,08-3,6)	-	-
	1998	a)	a)	a)	a)	-	-
<u>Nordrhein-Westfalen</u>							
KFA Jülich	1997	4	0,03	4	<0,08	51	<0,004-<0,01
	1998	4	0,03(0,03-0,04)	4	<0,07 (<0,04-<0,09)	43	<0,003-<0,01

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	1997	a)	a)	a)	a)		
	1998	a)	a)	a)	a)		
UAG Gronau	1997	12	<0,23	12	<0,08 (<0,08-<0,08)		
	1998	12	<0,23 (<0,23-<0,23)	12	<0,08 (<0,08-<0,08)		
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1997	4	0,05	4	0,03	12	<0,007-<0,008
	1998	4	0,04 (0,02-0,07)	4	<0,02 (<0,11-0,03)	12	<0,007-<0,009
Kernkraftwerk Cattenom ,Frankreich	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1997	a)	a)	6	<0,21	-	-
	1998	a)	a)	6	<0,20 (<0,11-0,40)	-	-
<u>Sachsen</u> Rossendorf	1997	2	0,04	18	<0,24	2	<0,03-<0,04
	1998	2	0,06 (0,04-0,07)	5	<0,49 (<0,11-<1,30)	2	<0,044-<0,53
<u>Schleswig-Holstein</u> GKSS Geesthacht	1997	4	0,07	4	0,27	12	<0,004-<0,008
	1998	4	0,06 (0,04-0,08)	4	0,11 (0,07-0,17)	12	<0,002-<0,006
<u>Schleswig-Holstein</u> Kernkraftwerk Brunsbüttel	1997	4	0,05	4	0,09	29	<0,007-<0,01
	1998	4	0,06(0,04- 0,07)	4	0,10(0,04-0,18)	32	<0,007-<0,01
Kernkraftwerk Krümmel	1997	8	0,05	8	<0,06	24	<0,006-<0,01
	1998	8	0,04(0,02- 0,09)	8	0,13(0,03-0,39)	24	<0,008-<0,01
Kernkraftwerk Brokdorf	1997	8	0,04	8	<0,06	24	<0,007-<0,01
	1998	8	0,05(0,04- 0,06)	8	<0,09(<0,03-0,20)	24	<0,008-<0,01

a) Messwerte lagen nicht vor

1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer

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). Die Auswertung der insgesamt 3255 (1997: 3220) Einzelwerte von 260 (1997: 265) Entnahmestellen erfolgte gemäß den Hinweisen in Abschnitt 3.3.1.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Wasserproben** 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** und **Cäsium-137** aus anderen Quellen (oberirdische Kernwaffenversuche und Reaktorunfall in Tschernobyl) praktisch vernachlässigbar. Erhöhte **Tritium**-Gehalte wurden bei Proben, die unmittelbar an Auslaufbauwerken genommen wurden, gemessen mit einem Jahresmittelwert bis 1260 Bq/l (KKW Emsland). Infolge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die Werte wieder deutlich zurück: 35 Bq/l (Ems km 106,3; Geeste). Einzelne Bestimmungen von **Plutonium-238** und **Plutonium-239/240** in Wasserproben ließen keine Auswirkungen der jeweiligen Anlagen im Vorfluter erkennen (Nuklearbetriebe Hanau; KKW Brunsbüttel).

In **Sedimentproben** aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. Vereinzelt wurden an unmittelbar am Auslaufbauwerk entnommenen Sedimentproben mittlere Nuklidgehalte an **Kobalt-60** bis 122 Bq/kg TM gemessen (KKW Würgassen/Weser), die allerdings bei in geringer Entfernung vom Standort entnommenen bzw. gemessenen Proben wieder zurückgingen (Weser km 60,2; Wehrden). Hierbei ist zu beachten, dass von kerntechnischen Anlagen mit den Abwässern abgegebene Radionuklide i.a. an Schwebstoff sorbiert mit der fließenden Welle bisweilen über große Fließstrecken verfrachtet werden können, um weitab vom Ort des Eintrages in sog. Stillwasserbereichen (Häfen, Stauhaltungen, Altarmen, Bühnenfelder, Uferböschungen u.a.) zu sedimentieren. Bei u.U. erforderlichen Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen müssen solche Flussabschnitte als die eigentlichen "ungünstigsten Einwirkungsstellen" gemäß der REI angesehen und entsprechend überwacht werden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl waren entsprechende Auswirkungen von kerntechnischen Anlagen in Sedimentproben nicht aufzeigbar. Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und Pu-239/240 ergaben durchweg Gehalte unterhalb von 0,3 Bq/kg TM (KKW Brunsbüttel/Elbe; Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang).

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in **Oberflächenwasser** lag unterhalb von 0,001 Bq/l und ist somit in radiologischer Hinsicht vernachlässigbar. Geringfügige Tritium-Gehalte traten als Folge von Ableitungen des KKW Cattenom mit Werten von bis zu 20 Bq/l auf (Mosel km 222,2; Wincheringen). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, kann die auf dem "Trinkwasserpfad" für Erwachsene resultierende zusätzliche effektive Äquivalentdosis zu ca. 0,3 µSv/a abgeschätzt werden. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert nach § 45 StrlSchV von 300 µSv/a zu 0,1 % ausgeschöpft werden. Allein die in Trinkwasser natürlicherweise enthaltenen Nuklide **Kalium-40** und **Radium-226** tragen auf diesem Expositions-pfad mit ca. 2 µSv/a einen deutlich höheren Dosisbeitrag bei.

Mittlere Gehalte an **Kobalt-58** (0,4 Bq/kg TM), **Kobalt-60** (1,1 Bq/kg TM) und **Silber-110m** (1,1 Bq/kg TM) aus dem französischen Kernkraftwerk Cattenom konnten an **Sedimentproben** aus dem deutschen Moselabschnitt (Mosel km 230,1 - 239,9; Palzem) gemessen werden, in dem aus verkehrswasserwirtschaftlichen Gründen von Zeit zu Zeit Unterhaltungsmaßnahmen erforderlich werden. Für den Fall, dass hier Sohlenmaterial entnommen und an Land gelagert werden muss, kann die auf dem besonders sensitiven Expositionspfad "Spülfeld" hypothetisch zu erwartende zusätzliche externe effektive Äquivalentdosis für Standardbedingungen zu unter 1 µSv/a abgeschätzt werden. Allein die auf die natürlich auftretenden Radionuklide **K-40**, **Ra-226** und **Thorium-232** für die gleichen Expositionsbedingungen zurückgehenden Dosisbeiträge liegen mit ca. 46 µSv/a um mehr als eine Größenordnung höher.

Tabelle 1 Überwachung der Gewässer in der Umgebung kerntechnischer Anlagen gemäß der REI

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächenwas. (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	3	<8,0	<9,6	<8,4	nn
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,015	<0,031	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,028	<0,046	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,033	<0,048	nn	nn
Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,015	<0,031	nn	nn	
	vor KKW Leibstadt	4	4	<0,028	<0,046	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	nach KKW Leibstadt	2	-	1,20	1,70	1,45	-
		vor Aare-Einmündung	2	-	14,0	15,0	14,5	15,0
	Cs-137	vor KKW Leibstadt	2	-	17,0	17,0	17,0	<12,4
		nach KKW Leibstadt	2	-	1,60	12,0	6,80	14,5
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Weil	12	11	<8,0	11,0	<8,3	<8,1
		Neuf-Brisach/Rheinseitenkanal	12	9	<8,0	10,0	<8,3	<8,1
	Cs-137	Weil	12	12	<0,024	<0,043	nn	nn
		Neuf-Brisach/Rheinseitenkanal	12	12	<0,020	<0,047	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grißheim, km 206,5	-	-	k. Werte			1,45
		Breisach, km 232,0	1	-	1,40	1,40	1,40	2,70
	Cs-137	Grißheim, km 206,5	2	-	14,0	18,0	16,0	12,0
		Breisach, km 232,0	2	-	7,30	9,00	8,15	10,5
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	12	-	9,90	830	201	383
	Co-60	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,021	<0,028	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,015	<0,035	nn	nn
	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,021	<0,028	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,015	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	-	8,90	27,0	14,5	21,0
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	-	7,60	19,0	11,9	12,6
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	12	11	<8,0	10,0	<8,2	<8,2
		am Auslaufbauwerk	12	6	<8,0	33,0	<13,2	<9,3
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	4	<0,011	<0,027	nn	nn
am Auslaufbauwerk		4	4	<0,014	<0,038	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	2	-	2,20	4,40	3,30	2,300
		am Auslaufbauwerk	4	-	5,20	25,0	11,9	6,83
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk am Auslaufbauwerk	4	-	18,0	22,0	20,3	19,8
		am Auslaufbauwerk	4	-	1,90	28,0	14,7	17,8
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	am Auslaufbauwerk	4	-	7,1	120	36,2	42,6
	Cs-137	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,020	<0,040	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	1	1	<0,82	<0,82	nn	<0,90
		nach Auslaufbauwerk	1	-	0,88	0,88	0,88	1,40
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk nach Auslaufbauwerk	1	-	6,10	6,10	6,10	20,5
		nach Auslaufbauwerk	1	-	7,20	7,20	7,20	8,80

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte		
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997	
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (z.Zt. außer Betrieb)									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	2	<10,0	16,9	<12,5	<10,5	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	2	-	21,2	22,7	22,0	20,9	
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	2	-	21,1	25,0	23,1	20,0	
NECKAR / Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk I und II	4	2	<8,0	11,0	<9,0	<8,5	
		am Auslaufbauwerk I und II	4	-	33,0	57,0	46,3	61,0	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,018	<0,031	nn	nn	
		am Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,021	<0,037	nn	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	6,20	6,80	6,50	9,45	
		nach Auslaufbauwerk	2	-	3,30	3,60	3,45	3,60	
NECKAR / Kernkraftwerk Obrigheim									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	1	<8,0	13,0	<10,0	13,3	
		am Auslaufbauwerk	4	-	16,0	23,0	20,5	38,3	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,023	<0,037	nn	nn	
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,017	<0,032	nn	nn	
Sediment (Bq/Kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	5	-	66,0	76,0	71,0	0,58	
		nach Auslaufbauwerk	2	-	15,0	21,0	17,0	19,5	
MAIN / KKW Grafenrheinfeld									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	-	1,7	2,2	2,0	2,0	
		Staufstufe Garstadt, km 323,6	4	-	2,0	15,0	5,6	4,5	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	1	0,0007	0,0016	0,0011	0,0013	
		Staufstufe Garstadt, km 323,6	4	2	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	4	<0,13	<0,34	nn	nn	
		Staufstufe Garstadt, km 323,6	3	1	0,70	1,20	0,95	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	-	11,0	50,0	37,0	48,3	
		Staufstufe Garstadt, km 323,6	3	-	38,0	43,0	41,0	47,5	
KINZIG/DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang									
Oberflächenwas. (Bq/l)	Ga	Ablauf Kläranlage Hanau	12	9	<0,090	0,17	<0,12	<0,12	
		Doppelbiergraben	6	-	0,030	0,84	0,29	<0,14	
	Rß	Ablauf Kläranlage Hanau	6	5	<0,44	0,46	<0,44	<0,44	
		Doppelbiergraben	6	1	<0,13	0,87	<0,32	<0,20	
	Sr-90	Hanau/Kinzig	4	4	<0,010	<0,010	nn	nn	
	Cs-137	Hanau/Kinzig	4	4	<0,011	<0,017	nn	nn	
	U-234	Hanau/Kinzig	4	-	0,0083	0,019	0,015	0,017	
	U-235	Hanau/Kinzig	4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn	
	U-238	Hanau/Kinzig	4	1	0,0080	0,0085	0,0082	0,0090	
	Pu-238	Hanau/Kinzig	4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn	
	Pu-239/240	Hanau/Kinzig	4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn	
	Sediment (Bq/kg TM)	Ga	vor Einleitung Doppelbiergraben	2	-	740	830	785	775
nach Einleitung Doppelbiergraben			2	-	690	840	765	660	
Rß		vor Einleitung Doppelbiergraben	1	-	440	440	440	475	
		nach Einleitung Doppelbiergraben	1	-	760	760	760	620	
Cs-137		Hanau/Kinzig	4	1	4,04	8,46	6,46	4,63	
U-234		Doppelbiergraben	1	-	307	307	307	-	
U-235		Doppelbiergraben	1	-	14,0	14,0	14,0	-	
U-238		Doppelbiergraben	1	-	161	161	161	-	
Pu-238		Doppelbiergraben	1	1	<0,039	<0,039	nn	-	
Pu-239/240		Doppelbiergraben	1	-	0,17	0,17	0,17	-	
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)									
Oberflächenwas. (Bq/l)		keine Werte / s. a. Abschnitt 3.3.1							
Sediment (Bq/kg TM)	keine Werte / s.a. Abschnitt 3.3.1								

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	-	1,8	2,2	2,0	2,3
		Staufufe Faimingen, km 2546,0	4	-	2,4	3,7	2,8	4,0
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	3	<0,0002	0,0007	<0,0004	0,0009
		Staufufe Faimingen, km 2546,0	4	2	0,0003	0,0008	0,0005	0,0008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,13	<0,57	nn	nn
		Staufufe Faimingen, km 2548,5	3	-	0,19	6,90	4,53	6,35
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	170	200	178	168
		Staufufe Faimingen, km 2548,5	3	-	57,0	100	85,7	93,3
ISAR / KKW Isar I und II								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk I	4	-	2,0	2,4	2,2	2,4
		Staufufe Gummering, km 52,86	-	-	k. Werte			7,1
	Cs-137	Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	-	2,3	20,0	7,2	5,4
		vor Auslaufbauwerk I	4	2	0,0005	0,0008	0,0006	0,0031
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Staufufe Gummering, km 52,86	-	-	k. Werte			<0,0004
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	4	<0,072	<0,28	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	-	100	110	107	115
		Staufufe Gummering, km 52,86	4	-	70,0	110	91,5	95,3
ISAR / Forschungsreaktor München								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	1,9	2,0	2,0	2,2
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	1,9	2,2	2,0	2,2
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	0,0003	0,0006	0,0004	0,0004
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	2	0,0010	0,0011	0,0010	<0,0003
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	12,0	28,0	18,3	52,0
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	35,0	63,0	48,0	54,8
EMS / KKW Emsland								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	-	1,4	1,6	1,5	-
		am Auslaufbauwerk	4	-	51,0	3200	1260	2800
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	1,5	1,6	1,6	6,5
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	1	-	0,0079	0,0079	0,0079	-
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	0,0056	0,013	0,0092	0,0053
		vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	1	0,0010	0,0020	0,0014	-
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	0,0005	0,0005	0,0005	nn
		vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	-	8,80	15,0	12,2	22,5
WESER / KKW Würgassen								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	<0,054
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47,2	2	2	<2,00	<2,00	nn	nn
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	-	84,0	160	122	8,05
		Wehrden, km 60,2	2	2	<2,00	<2,00	nn	nn
	Cs-137	Herstelle, km 47,2	2	-	19,0	27,0	23,0	24,0
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	-	45,0	64,0	54,5	36,5
		Wehrden, km 60,2	2	-	22,0	23,0	22,5	28,5
WESER / KKW Grohnde								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	-	1,3	1,5	1,4	1,6
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	-	1,4	1,5	1,4	24,2

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	-	0,0015	0,0028	0,0020	0,0018
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	-	0,0018	0,0034	0,0024	0,0016
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	-	0,00009	0,0002	0,0001	<0,0014
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	1	0,00012	0,0002	0,0002	<0,0015
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,29	<0,39	nn	nn
		Hameln, km 135	4	4	<0,49	<0,68	nn	nn
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	-	16,0	23,0	20,0	25,8
		Hameln, km 135	4	-	19,0	30,0	24,8	48,8
UNTERWESER / KKW Unterweser								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	-	1,10	2,60	1,70	1,22
		nach Auslaufbauwerk, km 57,7	4	-	1,00	1,20	1,13	1,15
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	-	9,90	18,0	14,2	11,0
		nach Auslaufbauwerk, km 57,7	4	-	8,90	19,0	12,0	11,2
RUR / Forschungsanlage Jülich								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Selhausen	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		Jülich-Süd	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Selhausen	2	-	24,0	25,0	24,5	24,0
		Jülich-Süd	2	-	28,0	28,0	28,0	21,0
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächenwas. (Bq/l)	Gα	Einlauf Retentionsanlage	4	1	<0,060	0,080	<0,070	<0,10
		unterhalb der Straßenkreuzung	12	12	<0,060	<0,060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Retentionsanlage	2	-	110	200	155	215
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	-	49,0	74,0	61,5	43,0
	U-238	Retentionsanlage	2	2	<36,0	<36,0	nn	56,0
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<35,0	<36,0	nn	nn
Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächenwas. (Bq/l)	Gα	Ahauser Aa	4	4	<0,060	<0,060	nn	nn
			4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	H-3	Ahauser Aa	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
			4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Moorbach	4	-	49,0	88,0	67,0	62,5
		Ahauser Aa	1	-	120	120	120	92,0
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächenwas. (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
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0040	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0040	<0,0080	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	2	-	0,65	1,10	0,88	0,51
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	-	0,75	0,79	0,77	0,62
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<6,50	<6,50	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<6,50	<6,50	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	12	12	<0,0075	<0,020	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0070	<0,015	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580,0	4	-	0,56	1,50	0,98	1,27
		nach Auslaufbauwerk, km 582,0	4	1	0,48	0,65	0,58	0,71
ELBE / KKW Brokdorf								
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	8	-	0,57	6,30	2,79	3,62
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	5	<0,58	16,0	<3,24	4,56
ELBE / KKW Stade								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, Blanke- nese	4	4	<10,0	<10,0	nn	<10,0
		am Auslaufbauwerk	4	3	<10,0	35,0	<16,3	<17,3
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, Blanke- nese	4	4	<0,0046	<0,011	nn	<0,0067
		am Auslaufbauwerk	4	2	0,0046	0,0046	0,0046	0,0054
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	4	<0,29	<0,39	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	3	<0,39	0,45	<0,47	0,53

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654 nach Auslaufbauwerk, km 660	4 4	- -	5,60 8,00	9,20 15,0	7,95 10,8	7,93 11,6
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Elbe, km 690	4	4	<4,4	<4,5	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<4,4	<4,5	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<4,4	<4,5	nn	nn
	Sr-90	Elbe, km 690	4	-	0,0057	0,0076	0,0064	0,0075
		Elbe, km 693	2	-	0,0053	0,0079	0,0066	0,0070
		Elbe, km 698	2	-	0,0055	0,0072	0,0064	0,0076
	Cs-137	Elbe, km 690	4	3	<0,0062	0,0049	<0,0079	0,0061
		Elbe, km 693	2	1	<0,0071	0,0062	<0,0067	<0,0010
		Elbe, km 698	2	-	0,0075	0,0085	0,0080	<0,017
	Pu-239/240	Elbe, km 690	1	1	<0,0001	<0,0001	nn	0,0001
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,73	<1,00	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,80	1,90	<1,14	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	0,52	6,70	2,42	2,47
		nach Auslaufbauwerk	4	-	5,00	9,40	6,90	2,33
	Pu-238	vor Auslaufbauwerk	1	-	0,012	0,012	0,012	0,018
		nach Auslaufbauwerk	1	-	0,049	0,049	0,049	0,016
	Pu-239/240	vor Auslaufbauwerk	1	-	0,061	0,061	0,061	0,10
		nach Auslaufbauwerk	1	-	0,23	0,23	0,23	0,10
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<3,8	<5,4	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<4,6	<4,9	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	0,0067	0,013	0,0098	0,010
		nach Auslaufbauwerk	4	-	0,0083	0,011	0,010	0,012
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	1	<0,13	0,36	<0,25	<0,49
		nach Auslaufbauwerk	2	-	0,18	0,36	0,27	0,42
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	7,20	26,0	16,6	22,5
		nach Auslaufbauwerk	2	-	6,80	11,0	8,90	11,6
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	10	<4,3	3,7	<4,1	<4,3
		nach Auslaufbauwerk	12	6	<4,3	4,1	<4,0	<4,4
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0025	<0,0058	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	12	12	<0,0038	<0,0069	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	12	-	0,019	0,039	0,030	0,028
		nach Auslaufbauwerk	12	-	0,024	0,042	0,033	0,036
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,17	<0,27	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,11	<0,18	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	6,40	7,50	6,93	8,30
		nach Auslaufbauwerk	4	-	7,40	18,0	12,3	10,8

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Nuklid/ Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1998		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1998	1997
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<4,0	<5,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<4,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,29	<0,29	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1	-	9,70	9,70	9,70	6,20
ELBE/KALTER BACH / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<12,0	<13,0	nn	nn
		Kalter Bach	4	-	51,0	270	153	108
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<12,0	<13,0	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<12,0	<13,0	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	4	-	0,012	0,032	0,019	0,045
	Cs-137	Dittersbach	2	1	<0,0021	0,0014	<0,0018	nn
		Kalter Bach	3	-	0,0037	0,0091	0,0059	0,025
		Elbe, oberhalb der Wesenitz	2	1	<0,0026	0,0027	<0,0026	<0,0025
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2	2	<0,0022	<0,0023	nn	<0,0042
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	2	-	4,10	5,10	4,60
Elbe, unterhalb der Wesenitz			-	-	k. Werte			0,34
Cs-137		Dittersbach	2	-	6,50	7,70	7,10	8,35
		Kalter Bach	2	-	21,0	23,0	22,0	14,0
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2	-	11,0	20,0	10,6	10,1

1.4.4 Fische und Wasserpflanzen

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen 1998 durch die Messstellen der Länder gewonnenen 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. Bei den Fischen ist 1998 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich bei **Cäsium-137** im Mittel 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 Ellbogensee) entnommen wurden, so dass die gefundenen Cs-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: das mittlere Verhältnis Cs-134/Cs-137 (Mittelwert der probenweise ermittelten Isotopenverhältnisse) von etwa 0,014 stimmt annähernd mit einem für den Tschernobyl-Fallout zu erwartenden Verhältnis überein (etwa 0,012 Mitte 1998).

Bei den wenigen in Tabelle 1 mit aufgenommenen Messdaten von Wasserpflanzen, die als Indikatoren für im Wasser vorhandene künstliche Radionuklide, insbesondere aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen stammend, dienen, sind keine Besonderheiten festzustellen.

Tabelle 1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 1998
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg Feuchtmasse)							
Donau	KRB II Gundremmingen	Cs-137	6	2	0,29	1,3	0,47
Elbe	GKSS	Cs-137	6	0	0,31	0,58	0,40
	Geesthacht						
	KKK	Sr-90	8	1	<0,0057	0,049	0,027
	Krümmel	Cs-137	8	0	0,33	0,50	0,40
		Pu-239+240	4	4	<0,00022	<0,00097	<0,00097
	PKA	Cs-137	4	0	0,25	0,93	0,48
	Gorleben						
	KKS	Cs-137	4	0	0,35	0,49	0,41
	Stade						
	KBR	Sr-90	6	5	<0,0064	0,027	<0,027
Brokdorf	Cs-137	6	0	0,31	1,5	0,62	
KKB	Brunsbüttel	Sr-90	10	8	<0,006	0,015	0,008
		Cs-137	15	0	0,21	1,3	0,38
		Pu-239+240	1	1	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Ems	KKE Emsland	Cs-137	6	0	0,75	2,1	1,6
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-134	8	6	<0,051	0,12	0,038
		Cs-137	8	0	0,14	8,8	0,75
Harttheich	Rossendorf	Cs-137	1	0	0,21	0,21	0,21
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	0	0,55	2,3	0,80
Main	KKG	Cs-137	4	0	0,23	0,52	0,43
	Grafenheinfeld						
	VAK Kahl	Cs-137	2	0	0,14	0,51	0,33

	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	0	0,14	0,19	0,17
	KWO Obrigheim	Co-60	3	3	<0,21	<0,41	<0,41
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,29	0,36	0,33
	Biblis	Sr-90	8	0	0,017	0,46	0,11
		Cs-137	8	0	0,16	0,32	0,20
	Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	0	0,16	0,44	0,25
	KKP Philippsburg	Cs-137	4	0	0,15	1,2	0,19
	Mülheim-Kärlich	Cs-137	5	0	0,15	0,23	0,15
Rheinniederungskanal	KfK	H-3	1	0	210	210	210
	Karlsruhe	Cs-137	2	0	0,33	0,37	0,35
Rur	KFA Jülich	Cs-137	3	0	0,31	0,44	0,44
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-134	3	0	0,31	0,62	0,60
		Cs-137	4	0	16	79	55
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	10	13	12
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,10	0,13	0,11
	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,18	0,41	0,23
	KWW Würgassen	Cs-137	4	0	0,085	0,25	0,11
Wasserpflanzen (Bq/kg Trockenmasse)							
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1	<0,3	<0,3	<0,3
Donau	KRB II Gundremmingen	Co-60	2	1	<0,29	2,9	<1,5
		I-131	1	0	4,1	4,1	4,1
		Cs-137	2	0	14	24	19
Isar	FRM Garching	I-131	2	0	110	140	125
		Cs-134	4	3	<0,14	1,4	<1,4
		Cs-137	4	0	4,4	93	20
	KKI 1/2 Isar	Co-60	1	0	0,86	0,86	0,86
		I-131	1	0	3,8	3,8	3,8
		Cs-134	1	0	0,47	0,47	0,47
		Cs-137	1	0	24	24	24
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	0	0,29	1,1	0,7

1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischen Anlagen sind im Jahr 1998 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze sowie der Minimal-, Maximal- und Mittelwert der Aktivitätskonzentration.

Eine ausführliche Auflistung der Daten wird in einem ergänzenden Materialienband (BfS-Bericht: Materialienband 1998 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1998 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung") vorgenommen.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 187 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 64 % der Messwerte unterhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,1 bis 100 mBq/l. Messwerte über der Nachweisgrenze liegen im Konzentrationsbereich zwischen 9,8 und 17 mBq/l (1997: 0,96 bis 63 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <28 mBq/l (1997: < 27 mBq/l).

Die Werte für die **Strontium-90**-Aktivitätskonzentrationen (52 % der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 1,2 und 16 mBq/l (1997: 1,1 bis 8,5 mBq/l). Der Median liegt bei <2,8 mBq/l (1997: 2,7 mBq/l).

Die **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,032 und 6,3 Bq/l (1997: 0,030 bis 7,3 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von 0,28 Bq/l (1997: 0,13 Bq/l), wobei sämtliche Messwerte oberhalb 0,4 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 schwankte zwischen 0,19 und 2,5 Bq/l (1997: 0,11 bis 3,3 Bq/l). Auch hier stammen die höchsten Messwerte aus der Umgebungsüberwachung der Hanauer Nuklearbetriebe.

In 45 % der untersuchten Wasserproben wurde **Tritium** im Konzentrationsbereich von 0,24 bis 620 Bq/l nachgewiesen (1997: 0,090 Bq/l bis 630 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei 7,1 Bq/l (1997: <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 Tritiumkonzentrationen von bis zu 620 Bq/l (1997: bis 630 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 Co-60 Kontaminationen von bis zu 0,37 Bq/l (1997: 0,33 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 Schachtanlage Asse festgestellte Gesamt- β -Aktivität ist natürlichen Ursprungs.

Trinkwasser

Im Jahr 1998 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 18 Trinkwasser- und 23 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für **Cäsium-137** wurde in keiner Probe Messwerte (1997: ein Wert von 0,34 mBq/l) oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,10 bis 60 mBq/l ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei <16 mBq/l (1997: <10 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für **Strontium-90** liegen zwischen 0,25 und 5,1 mBq/l (1997: 0,12 bis 10 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 2,4 mBq/l (1997: 5,0 mBq/l).

Die Werte für die **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentrationen sind größtenteils natürlichen Ursprungs. Die gemessenen Werte über der Nachweisgrenze liegen zwischen 24 und 210 mBq/l (1997: 35 bis 70 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte liegt bei 59 mBq/l (1997: 60 mBq/l).

Bei den Messungen der **Rest- β** -Aktivität liegt keiner der Werte über den gefundenen Nachweisgrenzen, der Median aller Rest- β -Werte liegt bei <200 mBq/l (1997: <180 mBq/l).

In 41 Proben (von 112 gemessenen Proben) wurde **Tritium** in Konzentrationen zwischen 1,1 und 230 Bq/l (1997: 1,9 bis 5,1 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <8,0 Bq/l (1997: <7,2 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 9,9 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weist lediglich Tritiumkonzentrationen bis zu 10 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen.

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

Tabelle 1 Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 1998
(Grundwasser und Trinkwasser)

Land	Nuklid	Median	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert
			gesamt	<NWG		
Grundwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Co-60	476	464	0,018	0,37	<0,03
	Cs-137	476	306	0,0098	0,017	<0,028
	K-40	476	41	0,016	1,5	0,12
	Sr-90	47	23	0,0012	0,016	<0,0028
	R- β	195	128	0,19	2,5	0,21
	G- α	271	34	0,032	6,3	0,28
	H-3	526	291	0,24	620	7,1
Trinkwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Cs-137	86	86			<0,016
	K-40	86	17	0,036	3,0	0,14
	Sr-90	42	28	0,00025	0,0051	<0,0024
	R- β	2	2			<0,2
	G- α	12	0	0,024	0,21	0,059
	H-3	112	71	1,1	230	<8,0

1.4.6 Einzellebensmittel

Bearbeitet vom Institut für Chemie und Physik 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 dem Kapitel I 3.4.4. 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 Jahr 1986 geprägt.

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Einzellebensmittel in den Tabellen 1-4 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 1998: Gemüse

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
		Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u>				
FZ Karlsruhe	21	< 0,08 (< 0,02 - 0,22)	7	< 0,18 (< 0,01 - 0,53)
Kernkraftwerk Obrigheim	20	< 0,16 (< 0,10 - < 0,24)	9	0,14 (0,03 - 0,35)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	20	< 0,16 (< 0,08 - < 0,30)	6	0,11 (0,04 - 0,19)
Kernkraftwerk Philippsburg	9	< 0,12 (< 0,03 - < 0,23)	4	0,17 (0,11 - 0,24)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	16	< 0,15 (< 0,08 - 0,28)	8	0,30 (0,14 - 0,43)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	7	< 0,32 (< 0,14 - < 0,58)	4	0,40 (0,15 - 0,60)
<u>Bayern</u>				
Kernkraftwerk Gundremmingen	5	< 0,25 (< 0,12 - < 0,35)	5	0,23 (0,13 - 0,33)
Kernkraftwerk Isar	1	0,18	1	0,15
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	4	< 0,10 (< 0,010 - < 0,10)	4	0,09 (0,01 - 0,20)
<u>Berlin</u>				
Forschungsreaktor BERII	8	< 0,15 (< 0,04 - < 0,47)		
<u>Brandenburg</u>				
Kernkraftwerk Rheinsberg	13	< 0,16 (< 0,11 - < 0,26)	12	0,22 (0,03 - 0,87)
<u>Hessen</u>				
Kernkraftwerk Biblis	12	< 0,05 (< 0,01 - 0,08)	12	0,11 (0,03 - 0,30)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Nuklearbetriebe Hanau		Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche	1	Pu-238 Bq/kg Asche Pu-239/240 Bq/kg Asche
				< 1,4 < 1,4
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	8	Cs-137	8	Sr-90
		< 0,18 (0,04 - 0,92)		0,4 (0,04 - 1,10)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	7	< 0,13 (< 0,02 - < 0,30)	7	0,19 (0,05 - 0,29)
		Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
UAG Gronau	5	3,8 (3,0 - 5,4)	5	< 0,25 (< 0,23 - 0,33)
		Cs-137		Sr-90
<u>Sachsen</u> Rossendorf	6	< 0,09 (< 0,06 - < 0,11)	1	0,15
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	3	< 0,11 (< 0,08 - < 0,15)	3	0,21 (0,05 - 0,34)

Tabelle 2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Getreide

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	7	Cs-137	3	Sr-90
		< 0,08 (< 0,04 - < 0,16)		0,28 (0,13 - 0,42)
Kernkraftwerk Obrigheim	6	< 0,17 (< 0,14 - < 0,20)	3	0,18 (0,10 - 0,27)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	6	< 0,20 (< 0,16 - < 0,23)	2	0,22 (0,18 - 0,26)
Kernkraftwerk Philippsburg	3	< 0,13 (< 0,04 - < 0,21)	2	0,12 (0,09 - 0,14)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	6	< 0,19 (0,06 - 0,41)	4	0,33 (0,10 - 0,52)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	8	< 0,15 (< 0,12 - < 0,20)		
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	8	< 0,22 (< 0,15 - < 0,29)	8	0,26 (0,12 - 0,44)
Kernkraftwerk Isar	5	< 0,30 (< 0,18 - < 0,62)	5	0,22 (0,02 - 0,56)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2	< 0,10 (< 0,10 - < 0,10)	2	0,13 (0,13 - 0,13)
SBWK Karlstein	2	Gesamt-α-Aktivität		Sr-90
		0,27 (0,21 - 0,33)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
		Cs-137		Sr-90
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1	< 0,04		
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	10	< 0,11 (< 0,06 - 0,18)	10	1,26 (0,24 - 2,60)
		Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche		Pu-238 Bq/kg Asche Pu-239/240 Bq/kg Asche
Nuklearbetriebe Hanau			1	< 0,71 < 0,70
		Cs-137		Sr-90
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	4	< 0,14 (< 0,11 - < 0,16)	4	0,31 (0,13 - 0,58)
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Grohnde	4	< 0,13 (< 0,09 - < 0,16)	4	0,19 (0,12 - 0,24)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	1	< 0,45	1	0,03
		Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
UAG Gronau	24	< 0,59 (< 0,50 - 0,9)	24	<0,23 (< 0,23 - < 0,23)
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	4	< 0,13 (< 0,11 - < 0,15)	2	0,14 (0,08 - 0,21)

Tabelle 3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Obst

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
		Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	6	< 0,07 (0,01 - 0,15)	1	0,43
Kernkraftwerk Obrigheim	6	< 0,17 (< 0,09 - < 0,26)	3	0,15 (0,13 - 0,17)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	5	< 0,18 (< 0,12 - < 0,27)	5	< 0,05 (0,01 - 0,12)
Kernkraftwerk Philippsburg	5	< 0,08 (< 0,02 - < 0,23)	1	0,20
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	9	< 0,12 (0,05 - < 0,20)	5	0,05 (0,05 - 0,06)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	5	< 0,19 (< 0,08 - < 0,34)		
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	1	< 0,29	1	0,07
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	2	< 0,10 (< 0,10 - < 0,10)	2	0,07 (0,07 - 0,07)

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
		Cs-137		Sr-90
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	11	< 0,12 (< 0,04 - 0,30)	3	0,05 (0,04 - 0,08)
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	2	< 0,12 (< 0,12 - < 0,12)		
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	7	< 0,03 (< 0,02 - 0,06)	7	0,05 (0,01 - 0,25)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	16	< 0,13 (< 0,03 - 0,99)	11	0,05 (0,02 - 0,14)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> UAG Gronau	2	Fluor (mg/kg TM) < 0,95 (< 0,5 - 1,4)	2	Uran (Bq/kg TM) < 0,23 (< 0,23 - < 0,23)
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	7	Cs-137 < 0,04 (< 0,03 - 0,05)	7	Sr-90 0,02 (0,0 - 0,03)
<u>Sachsen</u> Rossendorf	2	< 0,06 (< 0,03 - < 0,08)	1	0,06
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	3	< 0,11 (< 0,10 - < 0,13)	2	0,02 (0,02 - 0,02)

Tabelle 4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Kartoffeln

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
		Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	4	< 0,08 (0,03 - < 0,15)	1	0,03
Kernkraftwerk Obrigheim	3	< 0,16 (< 0,08 - < 0,21)	3	0,05 (0,04 - 0,07)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	3	< 0,13 (< 0,10 - < 0,18)	3	0,05 (0,03 - 0,06)
Kernkraftwerk Philippsburg	1	< 0,07	1	0,04
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	5	< 0,14 (<0,11 - < 0,18)	3	0,11 (0,03 - 0,23)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	3	< 0,14 (< 0,09 - < 0,17)		
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Gundremmingen	2	< 0,30 (< 0,29 - < 0,31)	2	0,21 (0,18 - 0,24)
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1	< 0,07		

Fortsetzung Tabelle 4

Bundesland kerntechnische Anlage	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1	<0,13	1	0,02
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1	< 0,04	1	0,04
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	2	< 0,06 (< 0,05 - < 0,07)	2	< 0,03 (0,02 - < 0,04)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	1	< 0,02	1	0,20
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	2	< 0,02 (0,02 - < 0,03)	2	0,06 (0,05 - 0,06)

1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen

Die für das Jahr 1998 ermittelten Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind in den Abschnitten II 1.2 bzw. II 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.

1.5.1 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 ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen aufgrund 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. Bei der Berechnung dieser Werte wurden die in Anlage XI StrlSchV genannten Expositionspfade und die Lebensgewohnheiten der Referenzperson, die ungünstige Ernährungsgewohnheiten und Aufenthaltszeiten beinhalten, berücksichtigt.

Tabelle 1 Strahlenexposition im Jahr 1998 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert

(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 Mikrosievert und die Schilddrüsendosis höchstens 900 Mikrosievert pro Jahr betragen)

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

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 der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 1998 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 μ Sv (rund 1 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 7 μ Sv (rund 2 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 μ Sv (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 μ Sv (entsprechend ca. 0,1 % des Grenzwertes) bei den Standorten der Kernkraftwerke Emsland, Neckar 1 und Neckar 2.

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 μ Sv für Erwachsene und Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personengruppen 0,3 bzw. 0,4 μ Sv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,1 μ Sv und an der Donau bei 0,4 μ Sv. 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 1998 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in Mikrosievert

(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 Mikrosievert pro Jahr betragen)

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene	oberer Wert der effektiven Dosis für Kleinkinder
Kahl	< 0,1	< 0,1
Gundremmingen B und C	0,2	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
Neckar 1 und 2	0,4	0,4
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
Hamm-Uentrop	< 0,1	< 0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	< 0,1
Emsland	0,4	0,4
Rheinsberg a)	0,1	0,1
Greifswald a)	0,1	< 0,1

a) Bei der Berechnung der Strahlenexposition konnte 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 und aus zusätzlichen Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich,

Rosendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 1998 als höchsten Wert 3,3 µSv (rund 1 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 5,5 µSv (rund 2 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 8,1 µSv (rund 1 % des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich aus den jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rosendorf und Jülich obere Werte für die effektive Dosis im Jahr 1998 von 17, 12 bzw. 2 µSv.

Tabelle 3 Strahlenexposition im Jahr 1998 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert *)

(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 Mikrosievert und die Schilddrüsendosis höchstens 900 Mikrosievert pro Jahr betragen)

	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis		der Schilddrüsendosis
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Forschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	1,5	2,4	2,8
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	3,3	5,5	8,1
Forschungszentrum Rosendorf (FZR)	0,3	0,5	0,5
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,8	1,3	1,4
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,1	0,2	0,2

*) Entnommen den Jahresberichten 1998 sowie nach Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rosendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin

Für die **kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe** in Hanau, Karlstein, 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 0,3 µSv (0,1 % des Grenzwertes), der höchste Wert der Lungendosis für Kleinkinder 0,7 µSv (rund 0,1 % des Grenzwertes).

Tabelle 4 Strahlenexposition im Jahr 1998 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert

(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis höchstens 300 Mikrosievert und die Lungendosis höchstens 900 Mikrosievert pro Jahr betragen)

Betrieb	Oberer Wert		
	der effektiven Dosis		der Lungendosis
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	0,3	0,3	0,7
SIEMENS AG			
Brennelementewerk Hanau			
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	<0,1	<0,1	<0,1
Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein 1)	-	-	-
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

1) Nach Freimessung am 23.09.1997 ist der Betrieb der nach § 7 AtG genehmigten Lüftungsanlagen eingestellt

Die durch die Ableitungen von α-Strahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung kernbrennstoffverarbeitender 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 1998 in der Umgebung kernbrennstoffverarbeitender Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in Mikrosievert
(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis höchstens 300 Mikrosievert pro Jahr betragen)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder
NUKEM GmbH Hanau (einschließlich HOBEK)	< 0,1
SIEMENS AG	
Brennelementewerk Hanau	
Betriebsstil MOX-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsstil Uran-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsstil Sonderfertigung Karlstein	< 0,1
ANF GmbH (Lingen)	-
URENCO D (Gronau)	< 0,1

Die Strahlenexposition infolge 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 1998 0,3 µSv, für Kleinkinder 0,5 µSv; dies sind ca. 0,1 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Lungendosis errechnete sich zu 1,5 µSv für Erwachsene und 3,0 µSv für Kleinkinder (ca. 0,2 bzw. 0,3 % des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 1998 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 6 Strahlenexposition im Jahr 1998 in der Umgebung des Endlagers Morsleben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser in Mikrosievert
(Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis höchstens 300 Mikrosievert und die Lungendosis höchstens 900 Mikrosievert pro Jahr betragen)

	Abluft		Abwasser
	Oberer Wert		Oberer Wert
	der effektiven Dosis	der Lungendosis	der effektiven Dosis
Erwachsene	0,3	1,5	<0,1
Kleinkinder	0,5	3,0	<0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Abschnitt II 1.1, Tabelle 4) führte 1998 unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 5 µSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 10 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 im Jahr 1998 Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

1.5.2 Bewertung

Die für 1998 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 in den meisten Fällen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 1998 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

2 RADIOAKTIVE STOFFE AUS URAN-BERGBAUANLAGEN

2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben

Im Jahr 1998 wurden die Sanierungsbetriebe Ronneburg und Seelingstädt zusammengeführt, so dass seitdem nur noch drei Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH existieren. In diesen drei Betrieben Königstein, Aue und Ronneburg wurden im Jahr 1998 die Arbeiten fortgesetzt. Auch 1998 wurden dabei mit behördlicher Genehmigung radioaktive Stoffe mit der Abluft oder den Abwettern bzw. mit den Schacht- oder Abwässern an die Umwelt abgeleitet.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe (Emissionsüberwachung) erfolgte durch die Sanierungsbetriebe unter Kontrolle der zuständigen Behörden der Bundesländer Sachsen und Thüringen mit dem Ziel, die Einhaltung der behördlich genehmigten Ableitungswerte nachzuweisen. Die Messungen zur Emissionsüberwachung wurden durch Messungen in der Umgebung der Betriebe (Immissionsüberwachung) ergänzt, die ebenfalls von der zuständigen Behörde kontrolliert wurden.

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben enthalten vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe. In den Abwettern und in der Abluft sind Radon und langlebige α -Strahler von besonderer Bedeutung, bei den Schacht- und Abwässern dagegen Uran und Radium. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenen jährlichen Abgabemengen als auch einzuhaltenen Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

In der Tabelle 1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 1998 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei den Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und der Abluft ergaben sich 1998 keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Die Ableitungen mit Abwetter- bzw. Abluft sind bei allen Sanierungsbetrieben im Vergleich mit dem Vorjahr relativ konstant geblieben oder haben sich verringert.

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe in den Abwettern bzw. der Abluft in die Atmosphäre 1998 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)

Sanierungsbetrieb	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen in $10^9 \text{ m}^3/\text{a}$	Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Rn-222 in TBq/a		langlebige α -Strahler in MBq/a	
Schlema/Alberoda	1	1,994 (-)	395	(840)	3,5	(32)
Pöhla	2	0,912 (-)	0,5	(1,5)	0,9	(2,0)
Dresden-Gittersee	1	0,084 (-)	0,1	(1,6)	0,1	(1,6)
Königstein	8	16,3 (-)	260,6	(315)	20,3	(88,5)
Ronneburg	4	2,756 (4,7)	8,5	(43)	6,1	(12)
Seelingstädt	2	0,080 (0,3)	0,014	(0,04)	0,38	(1,0)

In der Tabelle 2 wurden die im Jahr 1998 insgesamt in die Flusssysteme abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern wurden die Jahresgenehmigungswerte eingehalten.

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer 1998 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)

Sanierungsbetrieb	Abwassermenge in 10 ⁶ m ³ /a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a		Ra-226 in GBq/a	
Einleitung in Zwickauer Mulde,	3,179	(-)	0,953	(3,956)	0,163	(0,644)
davon: Schlema/Alberoda	1,35	(-)	0,817	(3,781)	0,111	(0,381)
Crossen	1,66	(-)	0,13	(-)	0,048	(-)
Pöhla	0,169	(-)	0,0064	(0,175)	0,0046	(0,263)
Einleitung in Elbe,	4,41	(-)	1,702	(3,2)	4,26	(11)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	4,41	(-)	1,702	(3,2)	4,26	(11)
Einleitung in Pleiße						
Ronneburg	2,799	(3,524)	0,556	(1,123)	0,334	(0,6002)
Einleitung in Weiße Elster,	4,284	(11,07)	0,566	(4,51)	0,054	(2,507)
davon: Ronneburg	0,544	(6,00)	0,207	(3,00)	0,052	(1,500)
Seelingstädt	3,740	(5,07)	0,359	(1,51)	0,002	(1,007)

2.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe

Im Jahr 1998 wurden der Wismut GmbH insgesamt 536 Genehmigungen zur Realisierung von Sanierungsarbeiten erteilt und es wurden 494 neue Genehmigungsanträge bei den zuständigen Behörden der Freistaaten Sachsen und Thüringen eingereicht. Im Jahr 1998 kamen die untertägigen Verwahrungs- und Sanierungsarbeiten – mit Ausnahme des Sanierungsbetriebes Königstein im Wesentlichen zum Abschluss, so dass sich der Schwerpunkt nach Übertage verlagerte. Die standortspezifischen Sanierungskonzepte wurden zu ca. 45 % erfüllt.

Schwerpunkte der Sanierungsarbeiten waren beispielsweise:

- die Fortführung der Verfüllung des Tagebaurestloches Lichtenberg durch Abtrag von ca. 10 Mio. m³ Material der Absetzer- und Nordhalde,
- der Beginn der Flutung des Grubengebäudes im Sanierungsbetrieb Ronneburg,
- der Abtrag der Halde Drosen und deren Anlagerung an die Halde Beerwalde,
- die Fortsetzung der Profilierungsarbeiten an der Halde 366 in Aue-Alberoda und
- die weitere Reduzierung der Flächen der Industriellen Absetzanlagen durch Reduzierung der Freiwassermenge zur Ermöglichung von deren In-Situ-Verwahrung.

Zusätzlich zum Basismonitoring wurden sanierungsbegleitende Überwachungsmaßnahmen in den entsprechenden Umweltmedien durchgeführt. Dazu wurden mehr als 900 000 Einzelwerte erfasst und in der Datenbank gespeichert.

Im Rahmen der Immissionsüberwachung von Wässern wurden Oberflächenwässer, Sickerwässer und Grundwässer regelmäßig beprobt und untersucht.

Die Überwachung der Radionuklidkonzentrationen in den Oberflächengewässern erfasst alle Gewässer, die durch radioaktive Ableitungen betroffen werden, nicht nur die in der Tabelle 2 genannten Hauptvorfluter. In wichtigen Vorflutern wurden die in Tabelle 3 angegebenen Radionuklidkonzentrationen bestimmt. In den übrigen durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe betroffenen Vorflutern liegen die Uran- und Radiumkonzentrationen in den gleichen Konzentrationsbereichen.

Tabelle 3 Mittlere jährliche Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 1998 (Messwerte der Landesmessstellen)

Betrieb	Probenahmestelle	Uran mg/l	Radium-226 mBq/l
Sächsische Bergbaubetriebe			
Königstein	Elbe Schmilka	0,002	4
	Elbe Dresden	0,004	6
	Elbe Rathen	0,005	20
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,012	11
	Kaitzbach nach Einleitung	0,058	14
Aue	Mulde in Aue	0,003	20
	Mulde bei Hartenstein	0,004	16
Pöhl	Luchsbach vor Schachtanlage	< 0,001	7
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,019	14
Crossen	Mulde Wehr Mühlgraben	0,004	17
	Mulde Brücke Schlunzig	0,017	21
	Helmsdorfer Bach	0,12	26
	Zinnborn	1,0	120
Thüringer Bergbaugebiete			
Seelingstädt	Culmitschbach	0,207	9
	Weißer Elster am Pumpwerk Berga	0,002	12
	Weißer Elster unterhalb Berga	0,005	14
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,185	19
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,007	11
Ronneburg	Wipsemündung	0,042	39
	Weißer Elster Milbitz	0,006	11
	Sprotte Weilmühlenwehr	0,053	28

Die Radionuklidkonzentrationen in den Hauptvorflutern sind gering, und die natürlicherweise in diesen Gewässern auftretenden Radionuklidkonzentrationen wurden durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe nicht wesentlich verändert. In den Hauptvorflutern vorangehenden kleineren Gewässern, die durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe aber in stärkerem Maße beeinflusst werden, treten vor allem im Thüringer Raum auf Grund der geringen Abflussmengen höhere Radionuklidkonzentrationen auf, jedoch resultiert daraus keine Gefährdung, da diese Gewässer nicht genutzt werden.

Zur Überwachung des Luftpfades wurden Messstellen zur Ermittlung der **Radon-222**-Konzentration der bodennahen Atmosphäre, zur Ermittlung der Konzentration langlebiger α -Strahler im Staub und zur Ermittlung der **Radium-226**-Konzentration im Niederschlag 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. Bei den Sanierungsarbeiten werden aber auf der Grundlage behördlicher Anordnungen noch zusätzliche Messungen und Untersuchungen durchgeführt, so z. B. zur Überwachung der Staubverfrachtung an Be- und Entladeplätzen bei Umlagerungen von Halden oder zur Überwachung der Grundwassersituation während der Flutung.

Die aus den bergbaulichen Außenanlagen (vor allem Industrielle Absetzanlagen und Halden) freigesetzte Radonmenge kann aus der bekannten Ra-226-Konzentration der Materialien berechnet werden. Für die Beurteilung der Gesamtstrahlenexposition in der Umgebung der Bergbauanlagen sind aber nicht nur die genehmigten Ableitungen von Radon zu betrachten, sondern ebenfalls das aus den deponierten Materialien freigesetzte Radon. Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrates ($1 \text{ Bq Rn-222/m}^2 \cdot \text{sec pro Bq Ra-226/g Material}$) ergibt sich eine theoretisch mögliche Ra-

dondfreisetzung von ca. $2 \cdot 10^{15}$ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde; 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 1998 fortgeführt. In Tabelle 4 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 4 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ / bergbaulich beeinflusste Messstellen
(Winter 1997/98 und Sommer 1998; Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³
Winter 1997/98				
Schlema/Alberoda	55	10	30	15
Pöhla	23	21	2	0
Seelingstädt	30	22	8	0
Crossen	40	17	23	0
Königstein	16	11	1	1
Gittersee	25	24	1	0
Ronneburg	58	50	8	0
Sommer 1998				
Schlema/Alberoda	48	7	24	17
Pöhla	15	10	4	1
Seelingstädt	29	19	10	0
Crossen	30	9	19	2
Königstein	12	6	5	1
Gittersee	17	3	14	0
Ronneburg	61	34	27	0

In Tabelle 5 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 5 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ / bergbaulich nicht beeinflusste Messstellen
(Mittelwerte 1991 – 1998 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre);
Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Winter			Sommer		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 1998	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 98
Schlema/Alberoda	25	39	30	27	39	33
Pöhla	14	27	21	20	28	24
Seelingstädt	18	39	26	19	37	25
Crossen	19	36	27	17	34	23
Königstein	14	31	21	17	36	26
Gittersee	21	33	26	24	43	32
Ronneburg	19	39	27	20	36	28

In der Tabelle 6 sind die vom BfS durchgeführten Untersuchungsergebnisse zur Langzeit-Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre 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 und Johanngeorgenstadt gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 6 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten in Bq/m³ (Winter 1997/ Sommer 1998; Messergebnisse des Bundesamtes für Strahlenschutz)

Gebiet	Anzahl der Messungen	Minimum	Maximum	Medianwert
Annaberg-Buchholz	60	4	34	14
Aue/Schlema	55	6	204	22
Crossen	66	8	25	14
Dittrichshütte	22	5	35	12
Freiberg	62	6	20	11
Freital	49	8	31	16
Gottesberg	11	10	51	28
Johanngeorgenstadt	99	6	474	18
Königstein	27	5	18	10
Lengsfeld	56	7	90	19
Mansfeld	47	6	23	10
Marienberg	68	4	42	11
Mechelgrün-Zobes	12	7	14	10
Ronneburg	46	10	29	16
Seelingstädt	42	10	40	14
Zwickau	12	8	28	16

Um den natürlichen Radonkonzentrationspegel in den Bergbaugebieten zu ermitteln und auf diese Weise den Einfluss der Radonfreisetzungen aus den bergbaulichen Anlagen auf die Strahlenexpositionssituation in den Bergbaugebieten besser abschätzen zu können, wurde in Gebieten, in denen der Einfluss des Bergbaus auf den Radongehalt in der bodennahen Luft ausgeschlossen werden kann und in denen oberflächennah sehr ähnliche geologische Formationen vorkommen, eine Bestimmung der natürlichen Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führen zu dem Schluss, dass die natürlichen Konzentrationen in derartigen Gebieten im Jahresmittel einen Wert von 80 Bq/m³ nicht überschreiten.

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

2.3 Strahlenexposition durch die Ableitungen und Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben

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 Radonkonzentrationen unterhalb des Wertes verursacht werden, der bei Annahme realistischer Aufenthaltszeiten und -bedingungen und bei Anwendung der von der ICRP empfohlenen Dosiskonvention einer Strahlenexposition von 1 mSv entspricht.

Unter Verwendung der mittleren Abflusswerte der Vorfluter (MQ-Werte) lässt sich die aus der Ableitung resultierende Konzentration radioaktiver Stoffe in den Vorflutern berechnen. Sie liegt im Jahr 1998 bei Uran im Konzentrationsbereich < 1 bis $20 \mu\text{g/l}$ und bei Radium-226 zwischen < 1 und 6 mBq/l .

Da das Wasser der Vorfluter nicht direkt zur Trinkwassergewinnung dient, sondern nur aufbereitetes Wasser oder Uferfiltrat gewonnen wird, können aus den Ableitungen keine Expositionen aus realen Nutzungen abgeschätzt werden.

Aus der Überwachung von Trinkwasser aus Brunnen und von Wasserwerken mit Uferfiltratentnahme durch die unabhängigen Messstellen lassen sich innere Strahlenexpositionen durch Verzehr von Trinkwasser abschätzen, die unterhalb von $0,3 \text{ mSv/a}$ liegen. Bei diesen Berechnungen wurden alle Radionuklide der U-238- und der U-235-Zerfallsreihe berücksichtigt, obwohl nur für Uran und Ra-226 Messwerte vorlagen. Aus der Annahme eines Gleichgewichtes zum jeweiligen Mutternuklid resultiert in der Regel eine Dosisüberschätzung.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, und vom Institut für angewandten Strahlenschutz, Berlin

1. PERSONENDOSISMESSUNGEN

1.1 Vorbemerkungen

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 aufgrund von § 62 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) oder von § 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-, Betastrahlen) oder an besonders exponierten Körperstellen (z.B. den Fingern) erforderlich.

1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen

Die Zahlenangaben in den Tabellen 1 bis 4 beruhen auf den 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 Personen eine deutlich geringere Anzahl natürlicher Personen entspricht, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind.

Tabelle 1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 1998, Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich

Bundesland	Überwachte		Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Brandenburg	5165	4283	397	309
Berlin	16959	13142	1199	906
Baden-Württemberg	49300	32155	4056	3269
Bayern	57470	41021	4583	3925
Bremen	3225	2611	284	227
Hessen	26664	18136	1950	1513
Hamburg	12952	6656	850	590
Mecklenburg-Vorpommern	5485	3719	350	270
Niedersachsen	29058	21928	2543	2129
Nordrhein-Westfalen	70555	56674	6185	5283
Rheinland-Pfalz	14677	11914	1078	938
Schleswig-Holstein	12464	8749	1082	928
Saarland	4671	4157	468	401
Sachsen	10719	8498	827	604
Sachsen-Anhalt	6626	5562	478	341
Thüringen	5375	4756	377	309
Summe 1998	331365	243961	26707	21942
Anteil Medizin		73,6%		82,2%
Summe 1997	339395	242701	26774	21959
Anteil Medizin		71,5%		82,0%
Änderung	-2,4%	0,5%	-0,3%	-0,1%

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 Überwachtetenzahl - bei 0,1 Promille.

Tabelle 2 Anzahl von Personendosisfeststellungen mit Messwerten oberhalb von Grenzwerten nach § 49 StrlSchV und § 31 RöV im Jahr 1998

Bundesland	Personendosis >25 mSv / Vierteljahr			Personendosis >50 mSv/ Jahr		
	Arbeitsbereich			Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin
Baden-Württemberg	9	6	3	0	0	0
Bayern	8	5	3	0	0	0
Berlin	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	0	0	0	0	0	0
Bremen	3	3	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	0	0	0
Hessen	0	0	0	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	6	3	3	2	1	1
Nordrhein-Westfalen	5	5	0	1	1	0
Rheinland-Pfalz	1	1	0	0	0	0
Saarland	0	0	0	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	1	1	0	0	0	0
Summe 1998	33	24	9	3	2	1
Bezogen auf Überwachtetenzahl 1998 (in Promille)	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01
Summe 1997	26	16	10	7	5	2
Bezogen auf Überwachtetenzahl 1997 (in Promille)	0,08	0,07	0,10	0,02	0,02	0,02

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. 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 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 Tabelle 3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die relative Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres keine Personendosis 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 14 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen verteilte.

Tabelle 3 Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 1998

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	243961	896	104	62	43	22	10	1,8	0,4
Nichtmedizin	87404	775	225	166	139	96	63	24	7
Gesamt	331365	864	136	90	68	42	24	8	2,0
		Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		>15 mSv	>20 mSv	>25 mSv	>30 mSv	>35 mSv	>40 mSv	>45 mSv	>50 mSv
Medizin		0,13	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01
Nichtmedizin		2,1	0,66	0,18	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01
Gesamt		0,6	0,24	0,10	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01

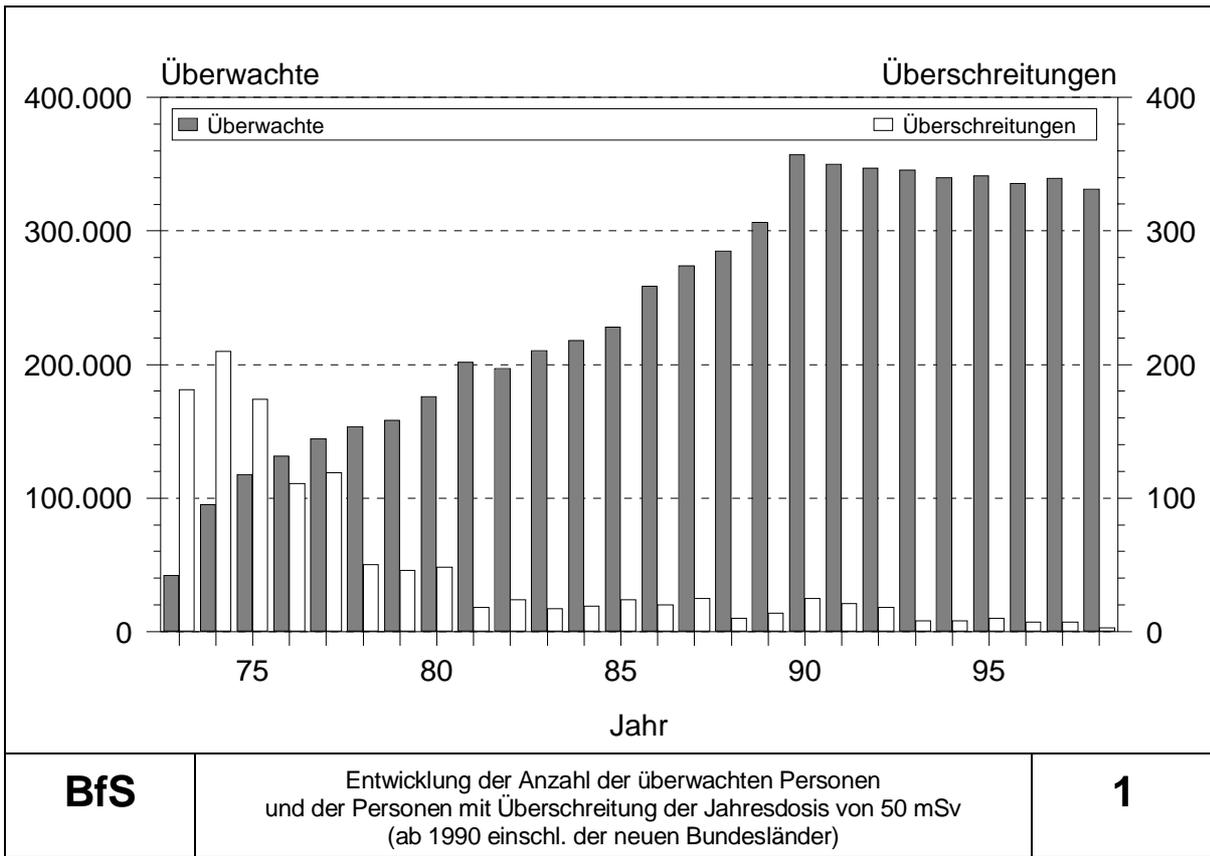
Die Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte werden zur Berechnung zweier Kenngrößen der beruflichen Strahlenexposition herangezogen. Tabelle 4 enthält für die letzten Jahre Angaben über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis betrug 1998 0,19 Millisievert. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte für den medizinischen Bereich 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 Jahrespersonendosen oder das Produkt aus mittlerer Jahresdosis und Anzahl der Überwachten. Die Jahreskollektivdosis betrug 1998 höchstens 62,3 Personen-Sv. Da Personen mit wechselndem Arbeitsplatz häufig mit mehr als einem amtlichen Personendosimeter ausgestattet werden, ist die Summe der festgestellten Dosen eines Jahres höher als die eigentliche 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 1998 auf weniger als 0,01 Millisievert.

Tabelle 4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen

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
1991	0,11	25	0,89	103	0,36	127
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

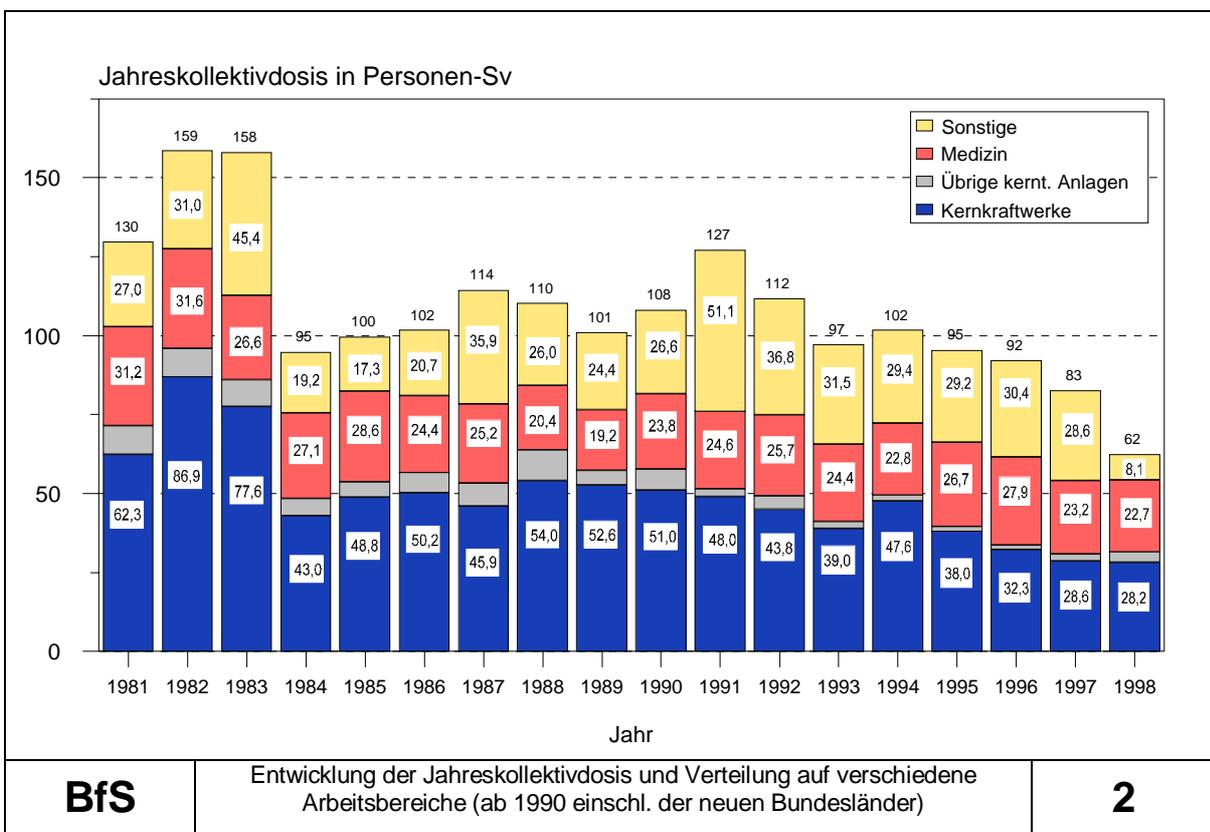
Die Entwicklung der Zahl der Überwachten ist in Abbildung 1 dargestellt. In der Abbildung ist für jedes Jahr auch die Zahl der festgestellten Personendosen oberhalb von 50 mSv im Jahr eingetragen. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Beiträge aus den wichtigsten Arbeitsbereichen zur Kollektivdosis.



BfS

Entwicklung der Anzahl der überwachten Personen und der Personen mit Überschreitung der Jahresdosis von 50 mSv (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer)

1



BfS

Entwicklung der Jahreskollektivdosis und Verteilung auf verschiedene Arbeitsbereiche (ab 1990 einschl. der neuen Bundesländer)

2

1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen

Dieser Übersicht liegen Ergebnisse der regelmäßigen Erhebung über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen durch den BMU und die zuständigen obersten Länderbehörden zugrunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Versuchs- und Prototypreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung geben Tabellen 5 bis 7 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie die Kollektivdosiswerte.

Tabelle 5 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv)	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	20	33666	27906	48,0	38,5
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	24

Tabelle 6 Berufliche Strahlenexposition bei der Brennelementherstellung und Wiederaufarbeitung

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	6	4024	2479	2,0	0,7
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

Tabelle 7 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Versuchs- und Prototypreaktoren

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv)	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	8	1586	687	0,3	0,2
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

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Angewandten Strahlenschutz

In den neuen Bundesländern wird 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 Tätigkeiten, 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 Tochternuklide des **Radon-222**, die α -Strahler **Polonium-218** und **Polonium-214**. Falls die Arbeitsplatzkonzentrationen der potentiellen α -Energie 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.

1998 wurde diese Überwachung bei ca. 2 400 Personen vorgenommen, von denen ca. 80 % in den Betrieben der Wismut GmbH Sanierungsarbeiten ausführten. Mehr als ein Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurde 1998 mit personengebundenen Geräten (am Körper getragene spezielle Messgeräte mit akkumulatorgetriebener Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren) zur Messung der Strahlenexposition überwacht. Für alle anderen überwachten Personen werden die Strahlenexpositionen entweder von den individuell ermittelten Expositionen für Personen mit vergleichbaren Arbeiten abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Konzentrationsmessungen an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten an diesen Arbeitsplätzen bestimmt.

Die Entwicklung der Anzahl der überwachten beruflich durch Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen seit 1975 ist in Abbildung 1 dargestellt. Die unter Berücksichtigung der ICRP 32 vom Dezember 1981 ermittelte Kollektivdosis betrug 1998 einschließlich der Exposition durch langlebige α -Strahler und äußere Bestrahlung ca. 4,8 Personen-Sv. Bei Berechnung der Dosen gemäß ICRP 65 reduzieren sich diese - in Abhängigkeit vom jeweiligen Anteil der durch langlebige α -Strahler und äußere Bestrahlung bedingten Exposition - um ungefähr den Faktor 1,5 bis 2. Danach würden sich für die Kollektivdosis nur noch 3,2 Personen-Sv ergeben. Im nachfolgenden Text werden die auf dieser Grundlage berechneten Dosisangaben in eckige Klammern gesetzt. Auf die Beschäftigten der Wismut GmbH entfielen 3,5 Personen-Sv [2,5 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 Bergbaubetrieben außerhalb der Wismut GmbH 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 1998 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchste ermittelte effektive Jahresdosis eines einzelnen Beschäftigten betrug 25,8 mSv [12,9 mSv].

Die mittlere effektive Jahresdosis aller überwachten Personen, die durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponiert waren, betrug 2,04 mSv [1,34 mSv] und lag damit weit unter dem 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 Jahresdosis ergab sich für die Beschäftigten bei Förderung und Sanierung im Nichturanbergbau mit 3,9 mSv [1,9 mSv], gefolgt von den Beschäftigten in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 3,8 mSv [1,9 mSv], in einer wissenschaftlichen Einrichtung und in einem Radiumbad (Arbeitsbereichskategorie Sonstige) mit 3,0 mSv [1,5 mSv], in der Wismut GmbH mit 1,9 mSv [1,3 mSv], in Wasserwirtschaftsbetrieben mit 1,8 mSv [0,9 mSv], in Bergsicherungsbetrieben mit 1,3 mSv [0,6 mSv] und in Schachtbaubetrieben mit 0,7 mSv [0,4 mSv].

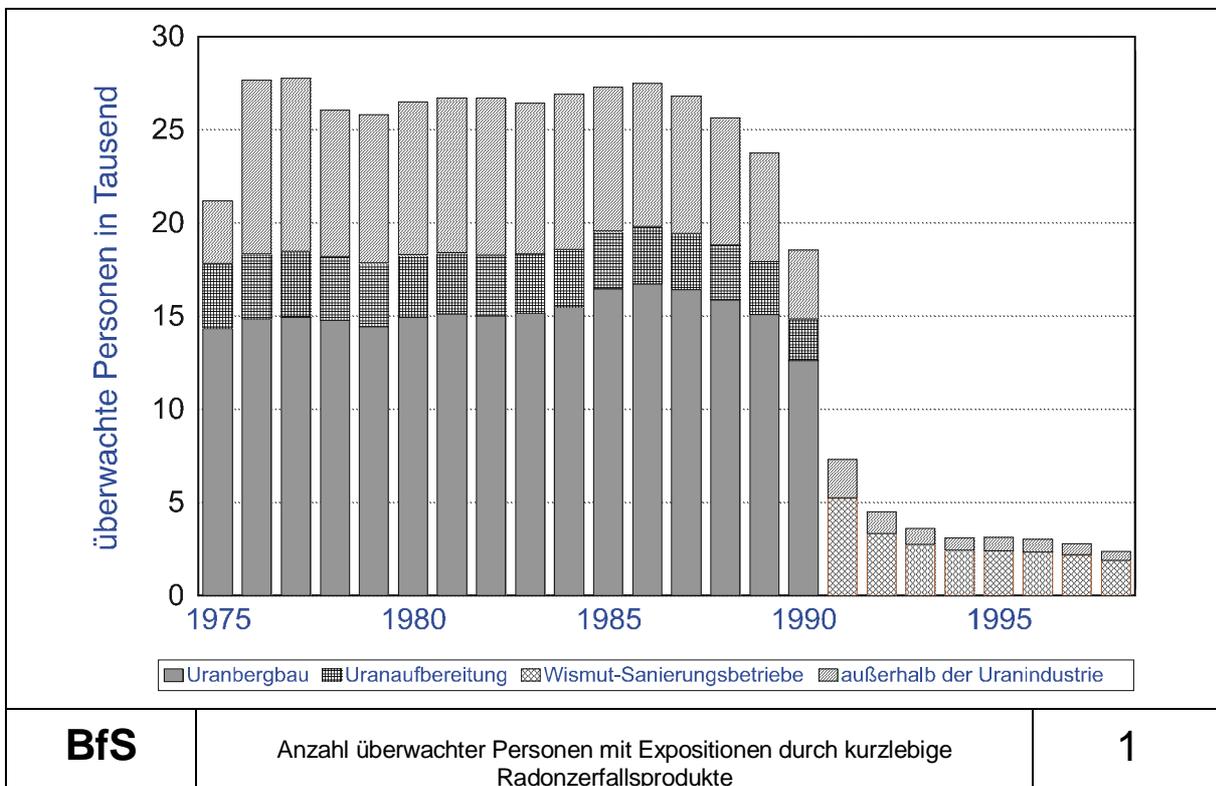
Bemühungen der Strahlenschutzverantwortlichen/Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörden um eine ständige Verbesserung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz finden seit Jahren ihren Ausdruck in den sinkenden Tendenzen der Kollektivdosis und der mittleren effektiven Jahresdosis, wie sie

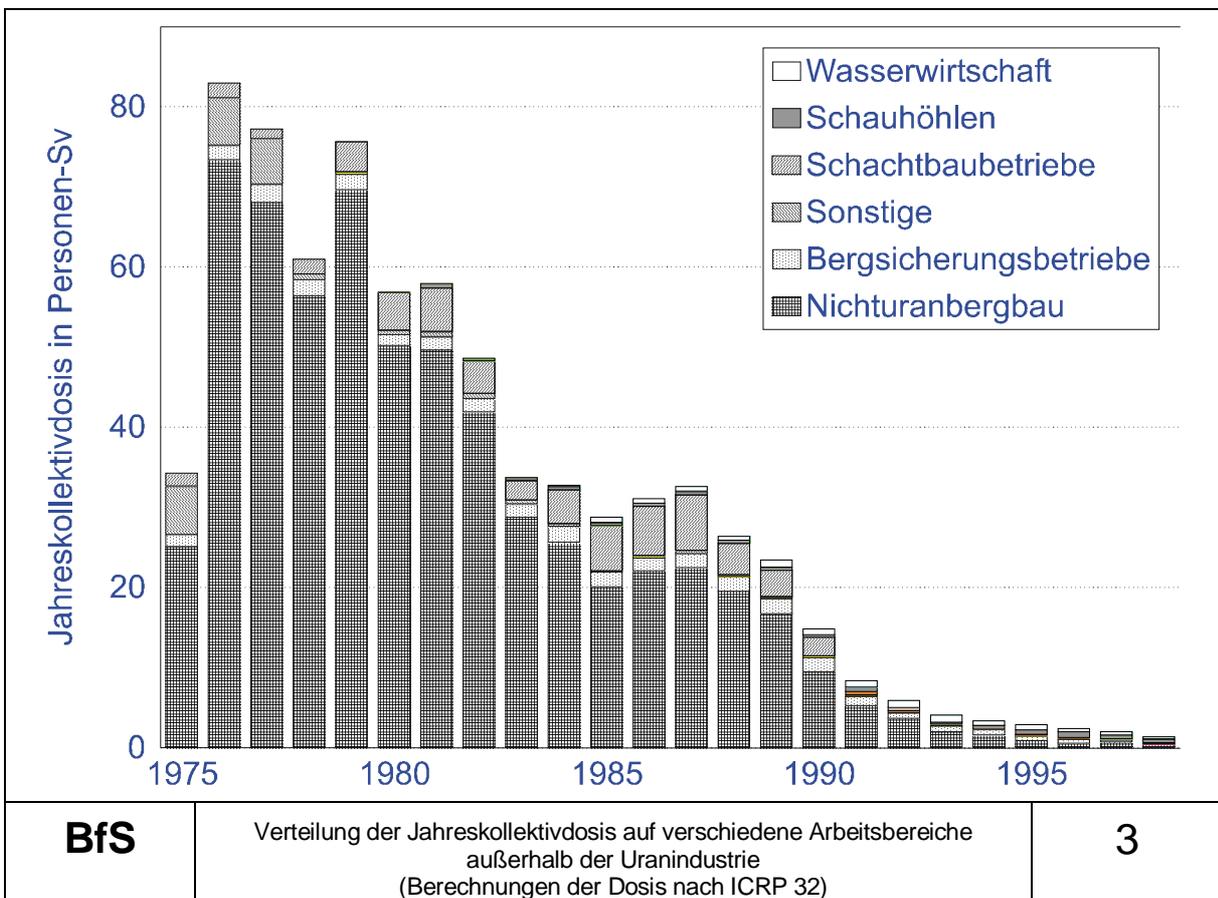
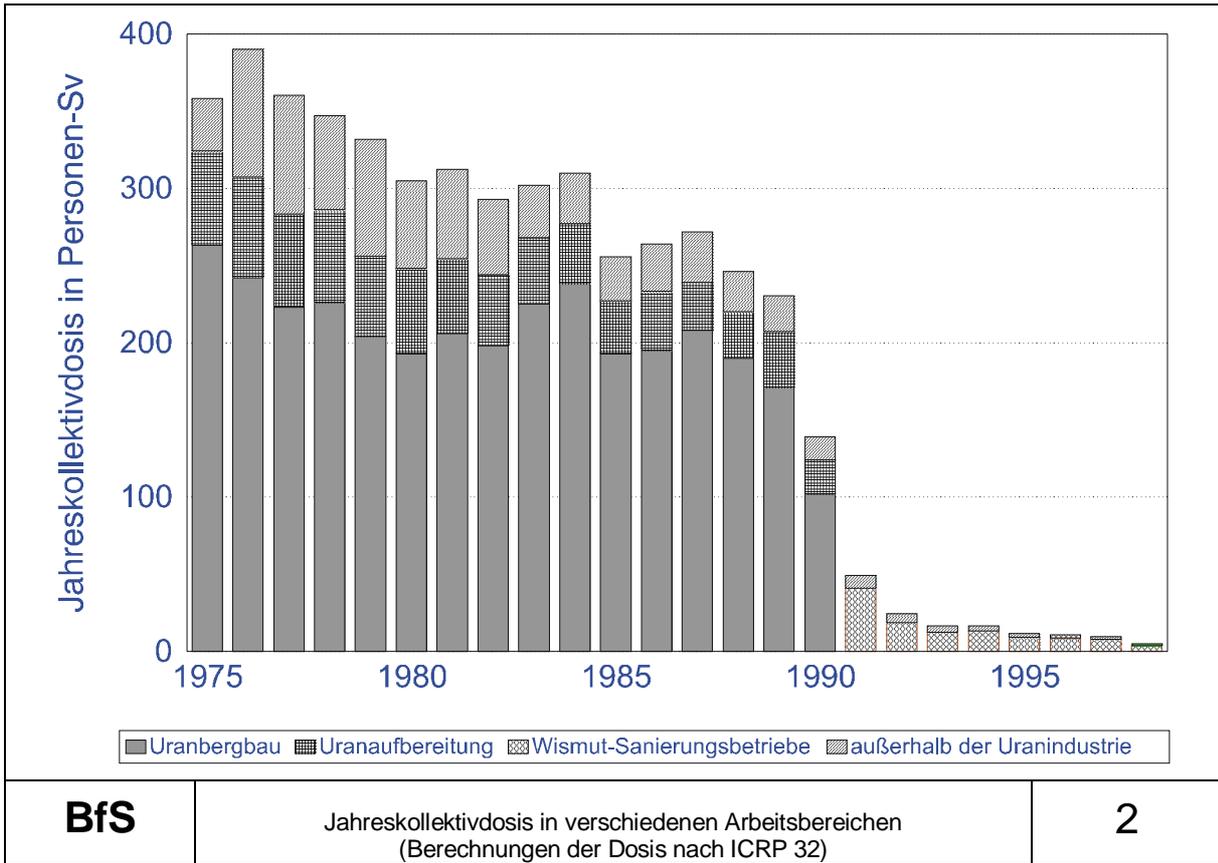
aus den Abbildungen 2 - 5 zu entnehmen sind. Das im Vergleich zu den mittleren Dosen bei Tätigkeiten außerhalb der Uranindustrie insgesamt höhere Dosisniveau bei Tätigkeiten in der Uranindustrie war auf die hier vorliegenden spezifischen Expositionsverhältnisse zurückzuführen (siehe Abbildung 4). Erst nach der Einstellung der Uranförderung (1990) und -aufbereitung (1991) kam es zu einer Angleichung der Dosisniveaus. Die Verminderung der mittleren Dosis in Tätigkeitsbereichen 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 Tätigkeitsbereichen 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 Wasserwirtschaftsbetrieben ab 1984 haben inzwischen zu einer Angleichung der mittleren effektiven Jahresdosis der hier beruflich exponierten Personen an das Niveau in den übrigen Tätigkeitsbereichen geführt.

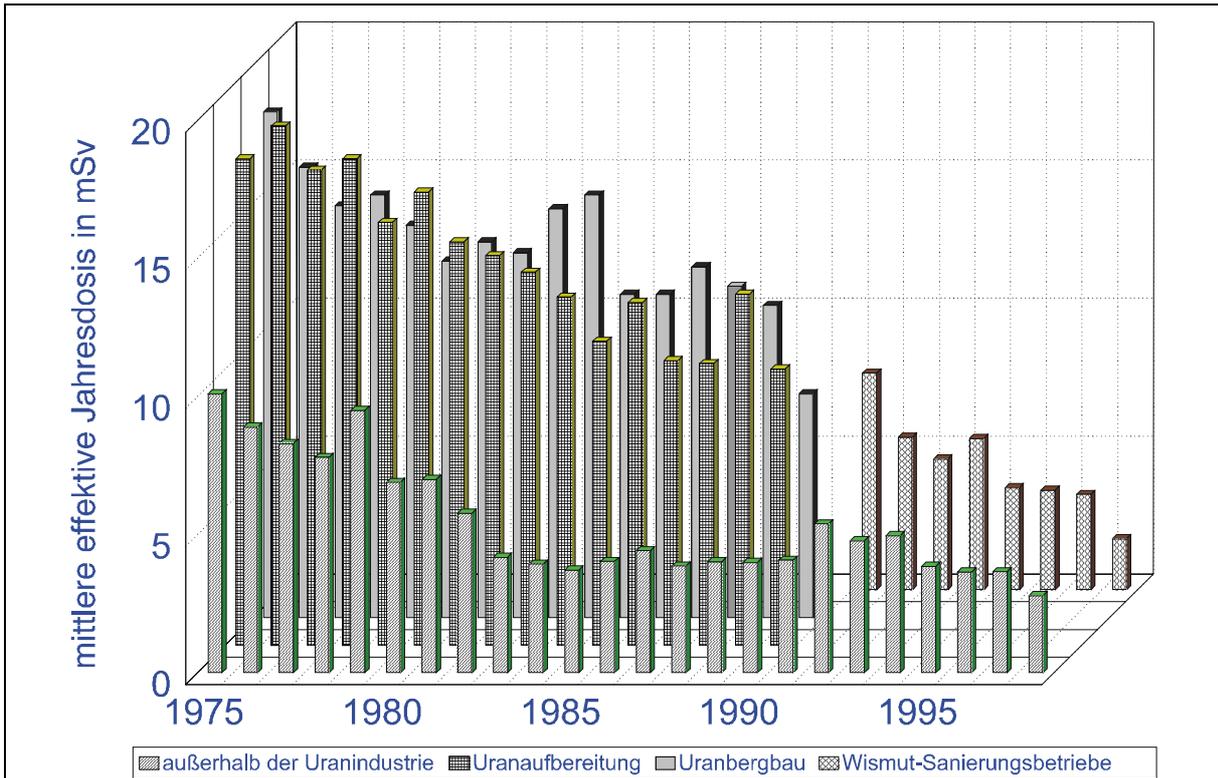
Insbesondere nach 1990 spielte bei der Reduktion der Kollektivdosis allerdings auch die stark fallende Anzahl überwachter Personen mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte eine wesentliche Rolle (s. Abbildungen 1, 2 und 3).

Der Anteil von Strahlenexponierten mit einer individuellen effektiven Jahresdosis von mehr als 15 mSv (Grenzwert für strahlenexponierte Personen der Kategorie B) betrug 1998 in den Wismut-Sanierungsbetrieben 1,2 % und außerhalb der Uranindustrie 3,0 %. Die insgesamt 36 derartig exponierten Beschäftigten (1,5 % aller Überwachten) lieferten einen Beitrag von 13,9 % zur Kollektivdosis. Die insgesamt 44 Beschäftigten (1,9 %) mit einer nach ICRP-65 ermittelten 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) lieferten einen Beitrag von 11,7 % zur Kollektivdosis. Weitere Einzelheiten über die entsprechenden Anteile in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen sind den Abbildungen 6 und 7 zu entnehmen.

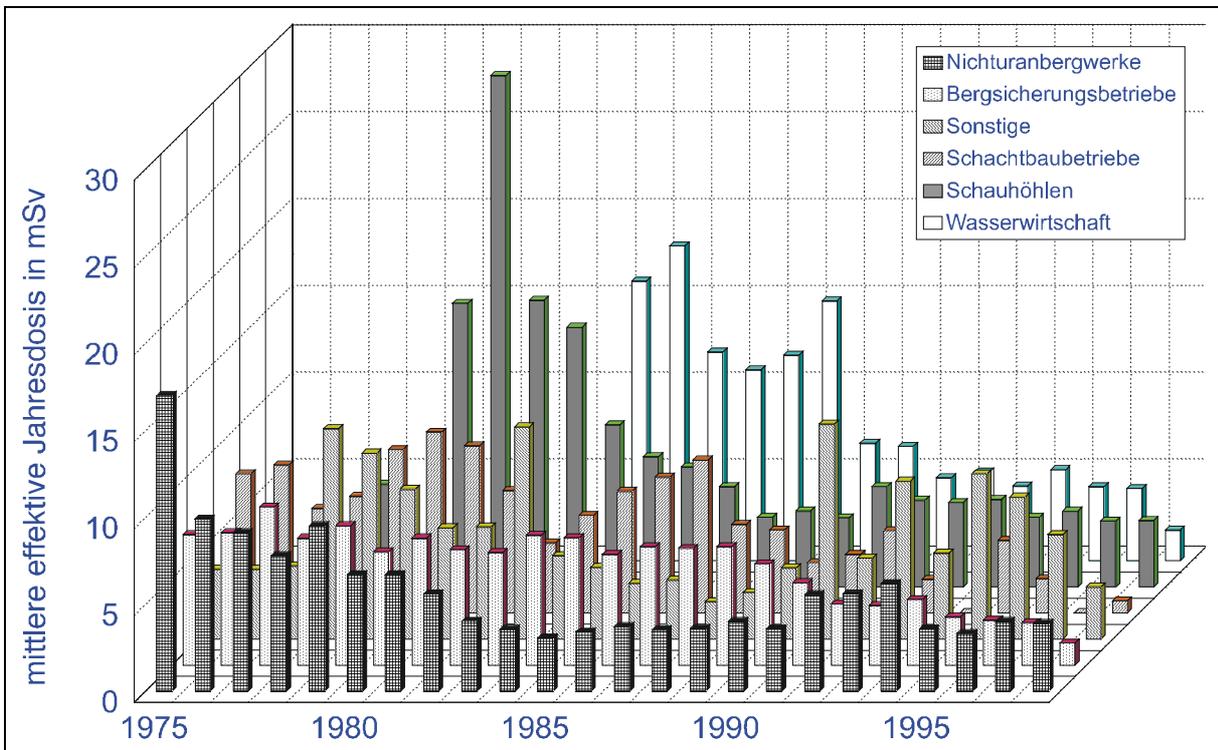
Den Übersichten liegen für die Jahre vor 1990 die entsprechenden Datensammlungen des ehemaligen Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR bzw. der SDAG Wismut zugrunde.



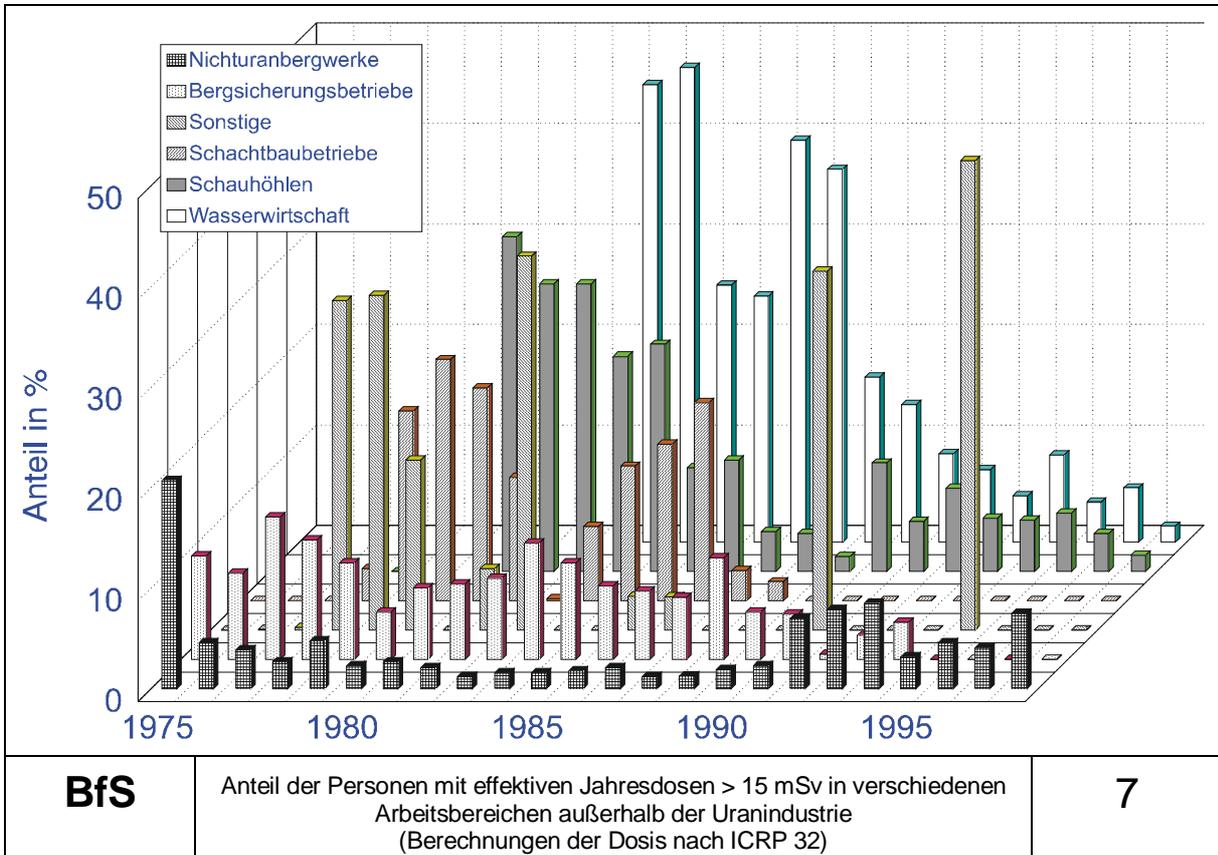
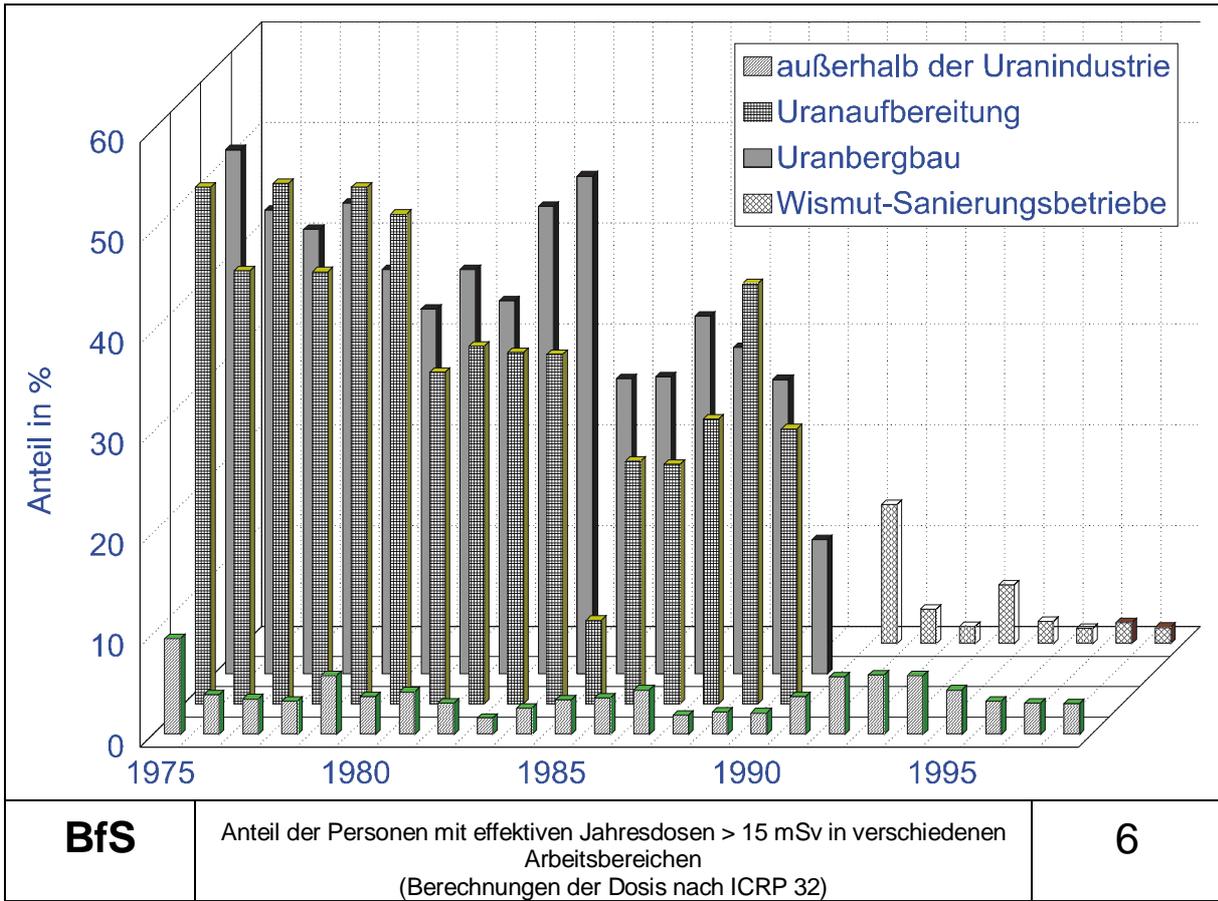




BfS	Mittlere effektive Dosis in verschiedenen Arbeitsbereichen (Berechnungen der Dosis nach ICRP 32)	4
------------	---	----------



BfS	Mittlere effektive Dosis in verschiedenen Arbeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie (Berechnungen der Dosis nach ICRP 32)	5
------------	--	----------



1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Angewandten Strahlenschutz, Berlin und Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Kosmische Strahlung erzeugt in den äußeren Luftschichten der Erde hochenergetische Sekundärstrahlung. Ihr Beitrag zur gesamten natürlichen Strahlenexposition, in Meereshöhe etwa 0,3 mSv von im Mittel jährlich etwa 2,4 mSv, nimmt mit steigender Höhe zu. Flugpersonal ist deshalb einer höheren Strahlenexposition als Personen am Boden ausgesetzt. Die Strahlenexposition hängt, neben der Flugdauer, von der Reiseflughöhe, der geomagnetischen Breite und der Sonnenaktivität ab.

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 nur 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.

Das durch die galaktische kosmische Strahlung verursachte Strahlungsfeld in Reiseflughöhen zwischen 10 km und 14 km ändert sich nur langsam; während der Dauer eines Fluges kann das Strahlungsfeld insgesamt, von selten auftretenden solaren Teilchenereignissen abgesehen, als konstant angesehen werden. Die Ortsdosisleistung kann sich je nach Höhe bis zu einem Faktor 2 innerhalb einiger Jahre ändern.

Die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ schätzt die effektive Dosis im Flugzeug konservativ ab und wird als Messgröße verwendet. Von 0° bis 50° geomagnetischer Breite nimmt $H^*(10)$ bei gleicher Höhe kontinuierlich zu und ist dann konstant. Für die folgende Abschätzung der Strahlenexposition werden Flüge auf der Nordatlantik-Route zugrundegelegt. Flüge auf dieser Route finden fast ausschließlich in geomagnetischen Breiten oberhalb von 50° statt und führen damit zur höchsten Strahlenexposition. Man erhält als obere Abschätzung für die Jahresdosis des fliegenden Personals einen Wert von etwa 8 mSv, wenn man annimmt, dass die Flüge ausschließlich auf der Nordatlantik-Route zur Zeit des Sonnenfleckenminimums stattfinden und die maximal zulässige Summe der Blockzeiten von 1000 Stunden voll ausgenutzt wird. Bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel sind unter sonst gleichen Annahmen die Jahresdosen um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Eine Abschätzung der maximalen Jahresdosis für das fliegende Personal der Lufthansa bei Flügen auf der Nordatlantik-Route ergab einen Wert von etwa 4 mSv.

Die bisherigen 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.

Aufgrund der Kenntnis des Strahlungsfeldes in Reiseflughöhen ist nicht zu erwarten, dass sich die Expositionsbedingungen des fliegenden Personals unerkannt verändern. Sowohl der Jahresgrenzwert der effektiven Dosis von 50 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen als auch der von der ICRP vorgeschlagene Grenzwert von 20 mSv pro Jahr, gemittelt über fünf Jahre, wird beim fliegenden Personal deutlich unterschritten.

2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, 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 den §§ 63 und 63a der Strahlenschutzverordnung (Berechnungsgrundlage) angegeben.

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

3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSE

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 1998 enthält Tabelle 1. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen 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 gewonnen 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 beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 1998

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
12.01.98	Aufenthalt eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum einer Klinik beim Einschalten eines medizinischen Beschleunigers für eine Testbestrahlung	Unachtsamkeit	Strahlenexposition des Mitarbeiters ca. 0,1 mSv	Zusätzliche Belehrung
12.01.98	Störung im Sicherheitskreis eines medizinischen Beschleunigers (Symmetrie Interlock)	Lose Arretierungsbolzen zur Fixierung des Kollimators	Keine; Gerät schaltete bestimmungsgemäß ab	Fehlerbehebung durch Servicefirma
13.01.98	Fund radioaktiver Stoffe (Ra-Standard 25 MBq, in 6 cm 15 µGy/h) in einer Universität bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering; keine Kontamination	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.01.98	Störung bei der Strahlerrückführung (Ir-192: 500 GBq) an einem Afterloadinggerät	Unebenheit im Bereich der Verbindung von Speicherschlauch und Anschlussrohr	Keine	Konstruktive Verbesserung durch den Hersteller
14.01.98	Fußbodenkontamination (Ac-228 max. 6,6 kBq/m ² , Pb-212 u. Tl-208 max. 1,4 kBq/m ²) bei Löschung eines Filterbrandes in der Gasglühstrumpffertigung in einem Fertigungsraum (Verarbeitung von Thorium)	Brand durch fehlerhafte Installation der Filterkühlung	Keine Gefährdung der Umwelt; keine Inkorporationen	Dekontamination des Fertigungsraumes, technische Änderungen der Filterkühlung
15.01.98	Fund von 8 Prüfstrahlern (7 Cs-137-Strahler je 74 - 85 kBq, 1 Sr-90/Y-90-Strahler; 820 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.01.98	Störung der Strahlerrückführung beim Testen eines Afterloadinggerätes	Beschädigter Stecker	Keine; inaktiver Strahler verwendet	Stecker repariert und mit Rammschutz versehen
21.01.98	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241; 29,6 kBq) in einer Schule	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Installation von mechanischen Diebstahlsicherungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
30.01.98	Aufenthalt eines Handwerkers bei Kalibrierarbeiten im Bestrahlungsraum eines medizinischen Beschleunigers	Unzureichende Kontrolle; unterlassene Belehrung des Handwerkers	Strahlenexposition des Handwerkers ca. 0,13 mSv	Strengere Zutrittsbeschränkungen ; Nachrüstung mit einem Quittierschalter
19.02.98	Verlust von 6 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 37 kBq) in einem Hotel	Diebstahl	Keine	Ionisationsrauchmelder wieder aufgefunden und ordnungsgemäß entsorgt
20.02.98	Fund eines Prüfstrahlers (Co-60; 180 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.02.98	Fund von 3 Prüfstrahlern (2 Ra-226-Strahler 460 kBq, 1 Sr-90/Y-90-Strahler; 800 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.98	Verlust von 19 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 156 kBq) in einem Firmengebäude	Brand	Keine, spezifische Aktivität des Bauschutts lag unter dem Freigabewert	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.03.98	Fund einer Sonde mit Strahler (Cs-137 ca. 70 MBq, an Sondenoberfläche max. 6,8 mSv/h, an Strahleroberfläche 150 mSv/h) eines Füllstandsmessgerätes in einer Schrottlieferung in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.03.98	Fund einer Präzisionswaage mit 2 radioaktiven Strahlern (Ra-226 je 74 kBq) im Keller eines Labors	Unzulässige Lagerung	Keine	Sicherstellung, Rücknahme durch Herstellerfirma
10.03.98	Verlust des Strahlers einer Schulvorrichtung (Ra-226; 48 kBq)	Unbemerktetes Herauslösen des Strahlers aus dem Strahlerhalter	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos; Überprüfung der Bauart
11.03.98	Fund von 2 Schulquellen (Cs-137; 101 kBq, Kr-85; 41,5 kBq) in einem Park	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
12.03.98	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts einer Mitarbeiterin im Bestrahlungsraum	Unzureichende Kontrolle, Unachtsamkeit	Mitarbeiterin betätigte sofort den Notausschalter; ihr Dosimeter zeigte keine Dosis an	Kameraüberwachung verbessert
18.03.98	Fund eines Strahlers (Cs-137; 222 MBq) aus einer in Deutschland genutzten radiometrischen Messeinrichtung bei einem Schrotthändler im Ausland	Mangelnde Kontrolle und unterlassene Information der die Demontage durchführenden Fremdfirma	Keine, Strahler verblieb in der Abschirmung	Festlegung: Strahler künftig auch unter Isolierungen als radioaktiv kennzeichnen; radiometrische Messeinrichtungen in Verfahrensbildern deutlich kennzeichnen; Strahler zwischenzeitlich in Deutschland entsorgt
19.03.98	Fund von 4 Ionisationsrauchmeldern (2 Stück Pu-239 je 4,2 MBq, 2 Stück Kr-85 je 18,5 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
20.03.98	Feststellung einer Kontamination innerhalb eines Messkopfes (2 Strahler Sr-90/Y-90; 460 und 451 MBq) einer Dichtemess-einrichtung	Undichtheit der Strahlenquellen durch Mikrorisse infolge hoher mechanischer Beanspruchung	Keine; außerhalb des Messkopfes keine Kontamination festgestellt	Organisatorische Maßnahmen (u. a. Kontaminationskontrollen) bis zur Umsetzung konstruktiver Änderungen
23.03.98	Fund von kontaminiertem Klinikmüll (Re-186 und Sr-89) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Lokale Kontamination durch Beschädigung der Verpackung; geringfügige Strahlenexpositionen für einige Beschäftigte	Organisatorische Maßnahmen
01.04.98	Fund eines Metallbehälters mit einem Radium-Trinkbecher (Ra-226; 150 kBq) in einer Müllumladestelle	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
01.04.98	Verlust von 8 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 29,6 kBq) in einer Fabrik	Brand	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung des Brandschutts
02.04.98	Fund von 2 Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 je 1 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.04.98	Fund eines mit Strahlenzeichen gekennzeichneten Bleibehälters mit 4 Schulquellen (Po-210, 3 Ra-Quellen max. je 370 kBq) bei einem Abfallentsorger	Unzulässige Entsorgung durch eine Schule	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungsverfahren
03.04.98	Fund eines Behältnisses mit radioaktiven Stoffen (Cs-137; 1,9 MBq) bei Aufräumarbeiten in einer Fabrik	Unterlassene Entsorgung durch ehemaligen Betriebsinhaber	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.04.98	Verlust eines Kleintransporters, in dem radioaktive Stoffe transportiert wurden	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Radioaktive Stoffe wurden unversehrt wiedergefunden
16.04.98	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90; 800 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.04.98	Fund eines Prüfstrahlers (Co-60; 860 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.- 06.05.98	Feststellung einer Inkorporation (Pu-238/239/240/241, Am-241) bei einem Mitarbeiter durch routinemäßige Ausscheidungsanalyse in einem Forschungslabor	Vermutlich Perforation eines Schutzhandschuhs	Effektive Dosis von 1,6 mSv und Knochenoberflächendosis von 31 mSv	Arbeits- und Sicherheitsanalyse
06.05.98	Fund von 44 Ionisationsrauchmeldern (42 Stück Kr-85 je 18,5 MBq, 2 Stück Am-241; 560 kBq und 30 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.05.98	Fund von 2 Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 je 800 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
20.05.98	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, an Behälterwand 10 µSv/h) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.05.98	Feststellung erhöhter Dosisleistung (6 µSv/h) an einem Fahrzeug beim Transport einer Füllstandsmesseinrichtung (Co-60; 18 MBq) bei einem Zollamt	Unzureichende Transportverpackung	Dosisleistung am Fahrersitz 1,3 µSv/h	Sicherstellung; staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren
25.05.98	Verkehrsunfall bei der Beförderung radioaktiver Präparate (4 x Mo-99/Tc-99m; 66 GBq, 15 GBq, 2 x 11 GBq; 1 x Tl-201; 1 GBq) für medizinische Zwecke	Fahrfehler	Keine; Verpackungen nicht beschädigt	Kontaminationskontrolle
27.05.98	Einschalten eines medizinisch genutzten Beschleunigers während des Aufenthalts von 2 Mitarbeitern im Bestrahlungsraum	Unachtsamkeit	Keine Strahlenexposition anhand Dosimeterauswertung	Installation von Bewegungsmeldern im Bestrahlungsraum vorgesehen
27.05.98	Fund von 500 g Thoriumnitrat mit Beimengungen von Uran in einer Flasche (Th-232; 1,2 kBq/g, U-238; 0,24 kBq) in der Lagerhalle einer Firma	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
29.05.98	Verkehrsunfall eines LKW mit radioaktiven Versandstücken (I-125 200 kBq)	Missglücktes Ausweichmanöver	Keine, Versandstücke nicht beschädigt	
03.06.98	Verlust eines Prüfstrahlers (Cs-137; 3,7 MBq) in einer Arztpraxis	Vermutlich mit Müll abgegeben	Gefährdungspotential gering	Befestigung des Prüfstrahlers mit langem Draht am Lagerbehälter
06.06.98 und 08.06.98	Feststellung der Inkorporation (Pu-238/239/240/241, Am-241) bei einem Mitarbeiter durch routinemäßige Ausscheidungsanalyse in einem Forschungslabor	Defekt an Schutzkleidung, Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Effektive Dosis von 11,4 mSv und Knochenoberflächendosis von 213 mSv	Einstellung der Arbeiten; Arbeits- und Sicherheitsanalyse; Tragen zusätzlicher Handschuhe aus Leder angeordnet; Maßnahmenkatalog für Rückbauarbeiten
06.06.98	Fund radioaktiver Stoffe (2360 g metallisches Uran, 200 g Thoriumnitrat, 75 g Uranylacetat, Ra-226; 5,7 MBq in offener und 300 kBq in umschlossener Form, Uran 1 MBq in offener Form, Uranminerale) in einem Privathaus	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering, keine Kontaminationen	Ordnungsgemäße Entsorgung bzw. Übergabe an Nachnutzer
08.06.98	Freisetzung von Radioaktivität in die Raumluft und in angrenzende Kellerräume in einem Forschungslabor	Unterlassene Errichtung einer Schutzvorrichtung, Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Inkorporation (Pu-238-241, Am-241) bei 5 Mitarbeitern; effektive Dosen von 6,6; 2,6; 0,8; 0 mSv und Knochenoberflächendosen von 125; 48; 15; 0 mSv; Exposition der 5. Person siehe Vorkommnis 06.06. und 08.06.98	Einstellung der Arbeiten; Arbeits- und Sicherheitsanalyse; Maßnahmenkatalog für Rückbauarbeiten

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
11.06.98	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90; 160 kBq) und einer Visiereinrichtung (Pm-147; 300 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.06.98	Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226 je 2,2 kBq) in einem Krankenhaus	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
17.06.98	Fund eines mit radioaktiver Leuchtfarbe kontaminierten Rohrs (max. 20 µSv/h) bei einer Metallrecyclingfirma	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.06.98	Personen- und Fußbodenkontamination (H-3 ca. 90 kBq) beim innerbetrieblichen Transport tritiummarkierter Zellkulturen (Gesamtaktivität 450 kBq)	Unachtsamkeit	Abschätzung der Hautdosis der betroffenen Person max. 50 µSv	Personen- und Raumdekontamination
18.06.98	Brand in einer Glashütte mit radiometrischen Messanlagen (3 Sr-90-Strahler; 5 GBq, 9 GBq, 13 GBq und 3 Am-241-Strahler je 3,7 GBq)	Brandursache unbekannt	Strahlenexposition der Mitarbeiter durch die Bergung der Strahler 0,15 mSv, Strahler waren unversehrt	Sicherstellung der Strahler
24.06.98	Verlust von 9 Ionisationsrauchmeldern (Am-241) in einem Wohnhaus	Vermutlich Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
03.07.98	Fund radioaktiver Stoffe (Aktivitäten im Bereich einiger Freigrenzen) bei Aufräumarbeiten in einer Universität	Unzulässige Lagerung	Keine; äußere Exposition und Kontaminationen ausgeschlossen	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.07.98	Verkehrsunfall bei der Beförderung eines Tc-99m-Generators (Restaktivität)	Auffahrunfall	Keine; Ladung nicht beschädigt	
08.07.98	Beschädigung eines Bahncontainers (Öffnung der Nähte der Blechbeplankung über 60 cm) mit radioaktiven Abfallgebinden beim Umladen vom Eisenbahnfahrzeug auf ein Straßenfahrzeug	Zusammenstoß des Ladegeschirrs des Entladefahrzeugs mit Container infolge ungenügender Abstützung des Fahrzeugs	Keine; Abfallgebinde blieb innerhalb des Containers unbeschädigt	
09.07.98	Fund eines Strahlers (Ra-226; 400 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.07.98	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Ra-226; 2,22 kBq) in einer Berufsschule	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
16.07.98	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts einer Mitarbeiterin im Bestrahlungsraum	Unzureichende Kontrolle, Unachtsamkeit	Dosimeterauswertung der Mitarbeiterin ergab eine Dosis von 22,8 mSv (Grenzwertüberschreitung)	Ärztliche Untersuchung; Installation von Bewegungsmeldern vorgesehen
23.07.98	Aufenthalt einer Reinigungskraft im Bestrahlungsraum eines medizinischen Beschleunigers während des Vorbereitungsbetriebes	Unzureichende Kontrolle, unterlassene Belehrung des Reinigungspersonals	Abschätzung der Strahlenexposition der Reinigungskraft <50 µSv	Strengere Zutrittsbeschränkungen; Nachrüstung mit Quittierschalter

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
29.07.98	Bestrahlung von 13 Mitarbeitern von Fremdfirmen bei der Errichtung von 3 radiometrischen Füllstandsmessanlagen (Cs-137; 11 GBq und 2 x 0,55 GBq) in einer Firma	Selbstständiges Lösen einer Rasterverbindung, unterlassene Messungen nach Ausbau des Quellenhalters	Dosisabschätzungen ergaben für die 2 am stärksten exponierten Personen jeweils eine Dosis von ca. 4 mSv	Ärztliche Untersuchung; Rasterverbindung durch Hersteller verbessert
August 98	Feststellung des Verlusts eines Strahlers (Co-57; 1,1 MBq) in einem Krankenhaus bei behördlicher Kontrolle	Unterlassene Anzeige des Verlusts des Strahlers vor 10 Jahren	Gefährdungspotential gering	Belehrung der Mitarbeiter
01.08.98	Fund radioaktiv markierter Messinstrumente (Ra-226 2,3 MBq) in einer alten Fluginstrumententafel eines Sammlers	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.08.98	Fund von 24 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 29,6 kBq) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung durch den Verursacher
12.08.98	Fund von radioaktiven Stoffen (I-125 mit Datum 11/92; 100g Uranylнитrat) bei einer Stadtreinigungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.08.98	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90; 50 kBq) in einer Aluminiumschrottlieferung bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.08.98	Fund radioaktiv kontaminierter Schlauchstücke (Ra-226 max. 5 MBq) in einem Schrottcontainer bei einem Schredderwerk	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential für Personal des Schredderwerkes gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.98	Fund einer Präzisionswaage mit 2 Strahlern (Ra-226 je 74 kBq) in einer Universität	Unzulässige Aussonderung von Geräten	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.98	Verlust eines Kampfstoffdetektors mit Strahler (Am-241 925 kBq) während der Übung einer ausländischen Armee	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering	Suche auf dem Übungsgelände erfolglos
27.08.98	Fund von kontaminiertem Abfall aus der Nuklearmedizin (I-131, an Containeroberfläche max. 1 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Rücktransport zum Verursacher
27.08.98	Lagerung eines Statik-Eliminators mit 2 Strahlern (Po-210 je 200 MBq) außerhalb des diebstahl- und brandgeschützten Lagerbehälters in einer Lackierhalle, in der ein Brand ausbrach	Verstoß gegen Bestimmungen der Bauartzulassung	Keine Freisetzung von Radioaktivität	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
31.08.98	Fund von 2 Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 je 600 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
01.09.98	Fund von kontaminiertem Abfall aus der Nuklearmedizin (I-131, an Containeroberfläche max. 7 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Rücktransport zum Verursacher
01.09.98	Verlust von 2 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 29,6 kBq) bei Baumaßnahmen in einem Theater	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
04.09.98	Fund von Bruchstücken ehemaliger Fliegerabwehraketen mit radioaktiv markierten Anzeigeelementen (Ra-226; 40 Bq/cm ² , max. 5,5 µSv/h) im Metallschrott bei einer Schrotthandels-gesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.09.98	Störung der automatischen Strahlerrückführung an einem Afterloadinggerät nach einer Patientenbe-strahlung	Gebrochene Feder im Endschalter	Keine; Strahler manuell in Endposition zurückgezogen	Reparatur durch Servicefirma
22.09.98	Fund einer Radiumkom- presse im Schrott (am Blei- mantel 10 µSv/h) bei einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering; Kom- presse befand sich im Blei- mantel	Ordnungsgemäße Ent- sorgung; Ermittlungs- verfahren
22.09.98	Fund einer Gasuhr, mit einem Strahler (Ra- 226; 37 kBq) bei einer Schrott- handelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.09.98	Fund eines Strahlers (Ra-226; 2,2 MBq) bei Aufräumarbeiten in einem Halbleiterwerk	Herkunft unbekannt	Strahlenexposition für Mitarbeiter max. 1,5 mSv	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.09.98	Strahlenexposition eines Mitarbeiters durch eine Füllstandsmesseinrichtung (Cs-137; 1,11 GBq)	Nicht geschlossener Strahlengang	Abgeschätzte Strahlen- exposition des Mit- arbeiters ca. 100 µSv	Ärztliche Untersuchung
06.10.98	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90; 18,5 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.98	Unbeabsichtigte Änderung der Isodosenverteilung bei der Therapie von Patienten mit einem Afterloadinggerät (Ir-192; 555 GBq)	Verwendung eines zu kurzen neuen Ausfahr-schlauchs für Cervicalstifte	Veränderte Isodosenverteilung bei der Therapie von 4 Patienten	Verstärkte regelmäßige Kontrollen angeordnet
15.10.98	Fund von 3 Transportbe- hältern mit 28 Strahlern (19 Pm-147-Strahler, 2 x 20 MBq, 5 x 110 MBq, 4 x ca. 230 MBq, 8 abgeklungene Strahler; 9 Kr-85-Strahler, 3x100 MBq, 1 x 440 MBq, 5 x 570 MBq) in einer Wertstoffsortieranlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering; Transportbe- hälter und Strahler un- versehrt	Sicherstellung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
16.10.98	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts einer Mitarbeiterin im Bestrahlungsraum (Bestrahlungsdauer 30 Sekunden)	Unzureichende Kontrolle	Abschätzung der Strahlenexposition: Kopfhöhe 0,7 mSv; Brusthöhe 0,75 mSv; Ovarienhöhe 1,35 mSv durch Streustrahlung	Verbesserung durch zusätzliche akustische Anzeige der Betriebsbereitschaft
17.10.98	Verkehrsunfall eines Fahrzeuges mit radioaktiven Versandstücken (2 Mo-99-Generatoren mit je 68 MBq)	Unbekannt	Keine; Versandstücke blieben unversehrt	Transport wurde fortgesetzt
19.10.98	Fund eines perlenförmigen radioaktiven Teiles (Ra-226 Gesamtaktivität 30 kBq) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.10.98	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241; 37 kBq) in einem Hotel	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
21.10.98	Fund eines Ra-226-Emanators (1,3 MBq) und kontaminierter Schrotteile (Co-60; 24 kBq, Cs-137; 40 kBq, Ra-226; 66 kBq) bei einem Schrotthändler in einer Lieferung aus dem Ausland	Unzulässige Einfuhr	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.10.98	Feststellung des Bruchs von 6 Glasflaschen mit C-14 Lösung (888 kBq)	Unzureichende Transportsicherung	Keine Kontamination, C-14-Lösung war bereits verdampft	
29.10.98	Fund von 2 Strahlern (Cs-137 je 370 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.10.98	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241; 29,6 kBq) in einer Brauerei	Unbekannt	Gefährdungspotential gering	Diebstahl wird ausgeschlossen
03.11.98	Verlust von 28 gasgefüllten H-3-Lichtquellen (3 Stück je 120 GBq, 25 Stück je 13 GBq)	Absturz eines unbemannten Such- und Bordhubschraubers ins Meer	Keine	7 der insgesamt 35 im Hubschrauber befindlichen H-3-Lichtquellen geborgen; innere Schutzhülle war dicht
09.11.98	Hängen bleiben des Strahlers (Ir-192; 393 GBq) im Ausfahrtschlauch eines Afterloadinggerätes	Unzulässige Zeitabweichung zwischen den das Gerät kontrollierenden elektronischen Uhren durch äußere elektromagnetische Störung	Keine, Bergung der Patientin erfolgte unverzüglich	Organisatorische Maßnahmen; Austausch defekter Teile; Sachverständigenprüfung
12.11.98	Verlust von 2 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226 je 2,22 kBq) bei Umbauarbeiten in einem Gebäude eines Hauptschulzweckverbandes	Ionisationsrauchmelder vermutlich mit dem Bauschutt abtransportiert	Gefährdungspotential gering	
14.11.98	Abgabe von Behältern mit kontaminierten Klinikabfällen (I-131, an Behälteraußenseiten max. 200 µSv/h)	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering	Disziplinarische Maßnahmen, behördliche Auflagen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
16.11.98	Verkehrsunfall eines Fahrzeuges mit radioaktiven Versandstücken (13 x Mo/Tc; max. 21,5 GBq, 4 x In-111; max. 122 MBq, 1 x Ga-67; 82 MBq, 7 x Tl-201; max. 1,11 GBq, 4 x I-131; max. 1,04 GBq, 1 Fass Y-90; max. 3,7 GBq)	Fahrfehler	Kontaminationen auf Fahrbahn und Seitenstreifen, da Versandstücke überrollt	Fahrbahn dekontaminiert; ordnungsgemäße Entsorgung des kontaminierten Erdreichs und der Versandstücke
20.11.98	Fund eines Strahlers (Co-60; 50 MBq) im Abwassersystem eines Keller- raumes während der Freimessung einer Therapie- anlage	Verlust des Strahlers vor 10 Jahren	Keine; der Raum wurde nur kurzzeitig zu Kontrollzwecken betreten	Ordnungsgemäße Bergung und Entsorgung
20.11.98	Fund eines Statikelimi- nators mit Strahler (Ra- 226, an Geräteoberfläche max. 30 mSv/h, an Con- taineroberfläche max.180 µSv/h) im Metallschrott bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsor- gung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.11.98	Ausfall der Zeitschaltuhr und Störung der automa- tischen Rückführung des Strahlers an einem After- loadinggerät	Technischer Fehler am Bedienpult	Strahlenexposition der Patientin betrug weniger als 5 % der geplanten Dosis	Strahler konnte durch den Notausschalter am Gerät zurückgeführt werden; Austausch des Bedienpultes; Sach- verständigenprüfung
23.11.98	Verlust eines Schulquellen- satzes (Co-60; 167 kBq; Kr-85; 167 kBq; Na-22; 185 kBq; Pu-238; 37 kBq) in einer Schule	Vermutlich Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos
23.11.98	Einschalten eines medizi- nischen Beschleunigers während des Aufenthalts einer Reinigungskraft im Labyrinth des Bestrah- lungsraums einer Klinik	Unzureichende Be- lehrung der Reini- gungskraft; unter- lassene Kontrolle	Abschätzung der Strahlenexposition der Reinigungskraft von max. 0,14 µSv	Festlegung von Maß- nahmen zur Ver- meidung derartiger Vorkommnisse
24.11.98	Fund eines Behälters mit 3 Strahlern (Cs-137; 100 GBq, 10 GBq, 100 MBq) im Schrott bei einem Stahlwerk	Unzureichende Räum- ung einer ehemals militärisch genutzten Liegenschaft	Gefährdungspotential gering; Strahler inner- halb Aufbewahrungs- behälter	Sicherstellung
25.11.98	Fund von kontaminiertem Abfall (I-131, an Container- oberfläche max. 7 µSv/h) bei einer Müllverwertungs- firma	Unzulässige Entsor- gung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.11.98	Verlust eines Ionisations- rauchmelders (Am-241; 29,6 kBq) in einer Schule	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Installation von mecha- nischen Diebstahlsiche- rungen
26.11.98	Radiojodtherapie (I-131; 3,7 GBq) einer Patientin in der 6. Schwangerschafts- woche	Schwangerschaft ver- schwiegen oder nicht bekannt	Dosis am Uterus 200 mSv, Risiko für Schädigung des Fötus auf 10 % geschätzt	Medizinisches Gut- achten
26.11.98	Fund radioaktiver Stoffe (La-138, Th-227, Ra-223, Pb-211, Bi-211; 600 - 700 Bq/kg) im Keller eines Wohnhauses	Unzulässige Lagerung	Keine	Ordnungsgemäße Ent- sorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
27.11.98	Kontamination (Tc-99m) der Hände und der Kleidung einer Assistentin während ihrer Ausbildung in der Nuklearmedizin	Unachtsamkeit	Sehr geringfügige Hautdosis der betroffenen Person (weniger als 1 µSv)	Dekontamination der Hände und der Kleidung
02.12.98 (Nachtrag)	Fund von thorium- und uranhaltigen Substanzen (Aktivität z.T. ca. 10fache Freigrenze) auf mehreren Grundstücken	Unzulässige Lagerung, ungenehmigter Umgang mit radioaktiven Stoffen	Kein Hinweis auf Freisetzung radioaktiver Stoffe	Ordnungsgemäße Entsorgung, staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren
07.12.98	Personenkontamination und Kontamination (Co-57) des Laborbereichs einer Zyklotronanlage sowie Verschleppung der Kontamination in eine Privatwohnung	Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Inkorporation von ca. 30 kBq Co-57 (0,2 mSv)	Anordnung von Schutzmaßnahmen; weitere Untersuchungen
08.12.98	Fund von kontaminiertem Abfall (Tl-201, an Containeroberfläche max. 2 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.12.98	Fund von 17 Strahlern (Cs-137; Gesamtaktivität 3 GBq) in Originalbehältern im verschlossenen Stahlschrank bei einer Firma	Übernahme der Strahler 1988; Strahler in Vergessenheit geraten	Gefährdungspotential gering, da zugriffssicher gelagert	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.12.98	Feststellung des Verlusts von 2 Pm-147-Strahlern (Aktivität abgeklungen) und 4 Kr-85-Strahlern (je 500 MBq) bei der nachträglichen Bestandskontrolle in einem stillgelegten Betrieb	Unterlassene Entsorgung bei Betriebsstilllegung; unzureichende Kontrolle	Gefährdungspotential gering	Übrige Strahler aus dem Bestand des früheren Betriebes in Transportbehältern vorgefunden
14.12.98	Verlust einer Schulquelle (Ra-226; 3,7 kBq)	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering	Suche nach dem Strahler ergebnislos
15.12.98	Überflutung von Kellerräumen eines Universitätsgebäudes, in denen schwach radioaktive Abfälle (I-125 und P-32) lagerten	Rohrbruch der Warmwasserleitung	Keine; Radioaktivität nicht ausgetreten	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.12.98	Brand im Physiksaal eines Gymnasiums, in dem radioaktive Stoffe (Sr-90, Ra-226, Th-232, Am-241; Gesamtaktivität 200-fache der Freigrenze) gelagert wurden	Vermutlich technischer Defekt an einem Elektrogerät	Keine; Schulquellen befanden sich im Tresor	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.12.98	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241; 29,6 kBq) in einer Stiftung	Melder vermutlich versehentlich zerstört und in den Müll gegeben	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
31.12.98	Verlust des H-3-Detektors (7,4 GBq) eines Gas-Chromatographen nach Räumung des Labors	Unzulässige Lagerung, unterlassene Kontrolle	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
31.12.98	Verlust einer Schulquelle (Ra-226; 48 kBq)	Unsachgemäße Kontrolle	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos

TEIL IV

STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

1. RÖNTGENDIAGNOSTIK

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik ergibt sich aus der Untersuchungsfrequenz und der Dosis bei den einzelnen Untersuchungsarten.

Untersuchungsfrequenzen

Das Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz hat in früheren Jahren (ISH-Heft 54/84 und 104/87) und seit 1991 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durchgeführt. Für den Bereich der kassenärztlichen Ambulanz liegen genaue Angaben über die Untersuchungsfrequenzen in den einzelnen Quartalen der Jahre 1988 bis 1994 und in der kassenzahnärztlichen Ambulanz für die Jahre 1990 und 1991 in den alten Bundesländern vor, so dass für den Bereich kassenärztlicher Ambulanz auch ein Trend ermittelt werden konnte (vergl. Tab. 2). Für den Bereich Privatambulanz, stationäre Krankenversorgung und sonstige Anwender liegen Hochrechnungen aufgrund von Stichproben für das Jahr 1990 vor. Für die neuen Bundesländer konnten aus Angaben für die beiden ersten Quartale 1994 aus 4 Ländern Daten hochgerechnet werden. Aus diesen Daten und unter der Annahme, dass der Trend im ambulanten und stationären Bereich der Gleiche ist, wurde für 1994 die Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen abgeschätzt und in gerundeten Zahlen in Tabelle 1 dargestellt. Daten für die Jahre 1995 bis 1998 liegen noch nicht vor.

Tabelle 1 Jährliche Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1994 in Deutschland (81,44 Mio. Einw.), aufgliedert nach Untersuchungsarten und Anwenderbereichen

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär		Sonstige	Gesamt	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in % a)	in Tausend	Anteil in % a)	in Tausend		
Brustkorb	11050	14,3	10600	46,0		21650	266
Gliedmaßen	21630	28,0	3350	14,6		24980	307
Wirbelsäule	11110	14,4	1200	5,2		12310	151
Becken	3210	4,2	570	2,5		3780	46
Hüfte	3830	5,0	480	2,1		4310	53
Schädel	10200	13,2	1050	4,6		11250	138
Bauchraum (leer)	1870	2,4	720	3,1		2590	32
Speiseröhre/Magen	750	1,0	110	0,5		860	11
Dünndarm	140	0,2	10	< 0,1		150	2
Dickdarm	210	0,3	80	0,3		290	4
Galle	120	0,2	100	0,4		220	3
Harntrakt	1600	2,1	680	3,0		2280	28
Arteriendarstellung	410	0,5	1030	4,5		1440	18
Venendarstellung	420	0,5	260	1,1		680	8
Mammographie	5240	6,8	300	1,3		5540	68 b)
CT-Schädel	850	1,1	810	3,5		1660	20
CT-Sonstige	2150	2,8	1420	6,2		3570	44
Knochendichtemessung	1090	1,4	?	-		1090	13 c)
Sonstige	1380	1,8	250	1,1	1990 d)	3620	44
Zwischensumme	77260	≈ 100	23020	≈ 100	1990	102270	1256
Zahnuntersuchungen	22510		10			22520	277
Gesamt	99770		23030		1990	124790	1533

- a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen
b) = 157 je 1000 Frauen im Alter über 15 Jahre
c) nur Ambulanz
d) nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen

Tabelle 2 Vergleich der jährlichen Häufigkeit von ambulanten Röntgenuntersuchungen bei Kassenpatienten im Jahr 1988 und 1994
(ohne Knochendichtemessung und ohne Zahnmedizin)

Organ/Untersuchung	1988	1994	Änderung in % pro Jahr
	Absolutzahlen in Tausend		
Brustkorb	6479	6480	+/- 0
Gliedmaßen	13018	15160	+ 2,7
Wirbelsäule	6592	7767	+ 3,0
Becken	1707	2159	+ 4,4
Hüfte	2299	2987	+ 5,0
Schädel *	3034	2559	- 2,6
Bauchraum (leer)	1566	1548	- 0,2
Speiseröhre/Magen	1159	594	- 8,1
Dünndarm	216	110	- 8,2
Dickdarm	259	163	- 6,2
Galle	154	78	- 8,2
Harntrakt	1012	1088	+/- 0
Arteriendarstellung	108	279	+ 26,4
Venendarstellung	163	273	+ 11,2
Mammographie	2535	3962	+ 9,4
CT-Schädel	346	600	+ 12,2
CT-Sonstige	651	1635	+ 25,2
Sonstige	1325	1162	- 2,1
Gesamt	42623	48604	+ 2,34

* ohne kassenzahnärztliche Schädelübersichts- und -teilaufnahmen

Es zeigte sich gegenüber den früheren Erhebungen in den alten Bundesländern ein weiterer Anstieg der Gesamtzahl von Untersuchungen. Für Deutschland ergibt sich eine Gesamtzahl von fast 125 Millionen Untersuchungen pro Jahr, was einer relativen Häufigkeit von 1533 Röntgenuntersuchungen pro 1000 Einwohner im Jahr entspricht. Die Daten sind in der Tabelle 1 als jährliche Häufigkeit, aufgegliedert nach ambulanter und stationärer Krankenversorgung und nach Untersuchungsarten, in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1000 Einwohner dargestellt. 80 % aller Röntgenuntersuchungen werden danach ambulant durchgeführt. Am häufigsten sind Röntgenuntersuchungen der Extremitäten, des Thorax (Brustkorb) und der Zähne.

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 (46 %), während in den Arztpraxen das Skelett mit fast 2/3 (64,8 %) das bei weitem am häufigsten untersuchte Organsystem ist.

Die Trendermittlung, die auf den Daten für die Kassenambulanz in den alten Bundesländern beruht, zeigt eine Zunahme von durchschnittlich 2,34 % pro Jahr. Am stärksten haben die Computertomographien (CT), ausgenommen CT-Schädel, zugenommen (+ 25 %/Jahr), die eine sehr hohe diagnostische Aussagekraft haben, und die Gefäßuntersuchungen, zu denen auch die therapeutischen Maßnahmen der interventionellen Radiologie gerechnet werden (+ 26 %/Jahr). Ein Rückgang ist bei der konventionellen Röntgendiagnostik des Bauchraums zu beobachten, wobei die Diagnostik des Magen-Darm-Kanals sowie Leber, Galle und Niere zunehmend mittels alternativer bildgebender Untersuchungsverfahren durchgeführt wird, bei denen ionisierende Strahlung nicht zur Anwendung kommt. Ergänzende, noch unvollständige Daten deuten auf einen insgesamt stärkeren Anstieg für 1995 im ambulanten Bereich hin.

Bei den alternativen Untersuchungen steht neben der Endoskopie die Sonographie, eine Untersuchungsmethode, die auf der Anwendung von Ultraschall beruht, im Vordergrund. Die MR-Tomographie, bei der die magnetische Kernspinresonanz zur Bildgebung ausgenutzt wird, spielt zahlenmäßig noch eine untergeordnete Rolle, die Steigerungsrate ist jedoch mit + 180 % pro Jahr von 1990 - 94

erheblich. Sie hat vor allem infolge schnellerer Datentechnik und damit kürzeren Untersuchungszeiten in fast allen Bereiche der bildgebenden Diagnostik Einzug gehalten. Die Anwendung der MRT ist einerseits hauptsächlich durch die hohen Kosten und damit die Verfügbarkeit und andererseits durch Angstzustände der Patienten in der „engen Röhre“ begrenzt. Die jährliche Häufigkeit alternativer Untersuchungsverfahren - die häufigste ist die Sonographie - wurden aus den Daten der Kassenambulanz abgeschätzt. Es wurde wie in der Diagnostischen Radiologie angenommen, dass die Steigerungsrate von 1990 auf 1994 ambulant und stationär gleich ist, dass die Privatpatienten etwa 10 % der Kassenpatienten ausmachen und dass das Verhältnis zwischen den alten und neuen Bundesländern ambulant und stationär gleich ist. Die Daten sind in Tabelle 3 unter obigen Annahmen berechnet und die Summen wegen der Schätzung gerundet.

Tabelle 3 Jährliche Häufigkeit von alternativen Untersuchungsverfahren im Jahr 1994 in Deutschland (81,4 Mio. Einw.), aufgegliedert nach Untersuchungsarten und Anwendungsbereichen

Untersuchungsart	in Tausend			je 1000 Einw.
	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-/Gastrosk.	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

Die Altersverteilung der Patienten, der aus strahlenhygienischen Gründen eine große Bedeutung zukommt, ist aus Datenschutzgründen nur schwer zu ermitteln, da hierfür eine Einsicht in Krankenakten erforderlich ist. Daten zur Altersverteilung von Röntgenuntersuchungen liegen vorerst nur aus Krankenhäusern vor (Tabelle 4). Sie zeigen, dass dort fast die Hälfte (45,4 %) der Röntgenuntersuchungen bei Patienten ab dem 65. Lebensjahr und ein Drittel (32,1 %) bei Patienten im Alter von 41 - 64 Jahren durchgeführt werden.

Tabelle 4 Jährliche Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen an stationären Patienten in Akutkrankenhäusern mit >50 Betten im Jahr 1990, aufgegliedert nach den Altersklassen von UNSCEAR

Altersklasse	Anzahl (in Tausend)	Anteil in %	Anzahl je 1000 Pers. in der Altersklasse
0-5 Jahre	230	1,6	56
6-15 Jahre	440	2,9	70
16-40 Jahre	2690	18,0	112
41-64 Jahre	4780	32,1	245
65 und älter	6760	45,4	694
Gesamt	14900	100,0	234

Qualitätssicherung

Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV), die am 1. Januar 1988 in Kraft getreten ist, hat eine Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik bewirkt. Die jetzt festgeschriebene Pflicht zur Befragung der Patienten nach früheren Röntgenuntersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze hilft, und die Pflicht der leihweisen Weitergabe von Röntgenbildern an nachbehandelnde Ärzte andererseits, führt 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 Computertomographie (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 RöV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität.

Eine weitere Maßnahme der Qualitätskontrolle ist die Einführung von diagnostischen Referenzwerten, die aufgrund der Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom bis zum Jahr 2000 erfolgt sein soll. Es handelt sich hierbei nicht um Grenzwerte, sondern sie dienen dazu, systematische Fehler bei denjenigen Ärzten herauszufinden, deren Patientendosiswerte beständig über dem Referenzwert liegen. Das BfS hat bereits mehrere Expertengespräche durchgeführt, um die Einführung der diagnostischen Referenzwerte vorzubereiten.

Die digitale Technik bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z.B. durch Vermeidung von Fehlaufnahmen bei der digitalen Luminiszenzradiographie (DLR) 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. 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 gar 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 gelöst.

Trotz 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.

Strahlenexposition

Der größte Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland resultiert aus medizinischen (in der Hauptsache röntgendiagnostischen) Maßnahmen. Die über die Bevölkerung gemittelte effektive Dosis aus medizinischen Maßnahmen beträgt ca. 2/3 der natürlichen Strahlenexposition. Die aus der Nuklearmedizin stammenden Beiträge zur strahlenhygienisch relevanten Bevölkerungsdosis sind im Vergleich zur Röntgendiagnostik als gering

anzusehen. Der im Abschnitt "Zusammenfassung" genannte Wert für die mittlere effektive Dosis von 1,5 mSv pro Einwohner und Jahr, der im Wesentlichen durch die Röntgendiagnostik bedingt ist, kann allenfalls als qualitative Aussage gewertet werden, da der Mittelwert sowohl die Expositionen bei den Untersuchungen, aber auch die Häufigkeit der Untersuchungen enthält.

Nach Ergebnissen von Untersuchungen in den alten Bundesländern zeichnet sich ab, dass die röntgendiagnostisch bedingte Strahlenexposition bei 2 mSv liegen dürfte. Die Ursache liegt einmal in der Zunahme der Untersuchungsfrequenzen, aber auch in der Zunahme dosisintensiver Untersuchungen, wie z.B. CT.

Dieser Wert ist jedoch nicht geeignet, um daraus ein mittleres Strahlenrisiko für einen "Durchschnittsbürger" zu errechnen, da sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition extrem ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt mit wenigen stark Exponierten und einer großen Zahl wenig oder gar nicht exponierten Personen und zudem ältere Personen viel stärker betroffen sind als jüngere. Die aus medizinischen, hier **röntgendiagnostischen** Maßnahmen resultierende Strahlenexposition bleibt grundsätzlich auf die betroffene **Einzelperson** - den Patienten - beschränkt. Es handelt sich dabei um Kranke, bei denen das mögliche Risiko aus der Strahlenanwendung abzuwägen ist gegenüber dem medizinischen Nutzen durch die Gewinnung einer Diagnose.

Bei der interventionellen Radiologie, also vorwiegend der Behandlung von Gefäßkrankheiten und bösartigen Tumoren, gilt, dass davon einerseits meist ältere Patienten betroffen sind, und andererseits risikoreiche Therapiemaßnahmen entfallen können. Mit zunehmendem Alter sinkt jedoch das Strahlenrisiko, während gleichzeitig das Risiko durch eine sonst notwendige Operation einschließlich Narkose ansteigt. Daher ist es nicht sinnvoll, die Anzahl der ärztlich indizierten Maßnahmen zu verringern, sondern wichtiger, den organisatorischen und technischen Strahlenschutz zu verbessern. Unter Mitwirkung des BfS hat die Strahlenschutzkommission (SKK) hierzu eine ausführliche Empfehlung erarbeitet. [SSK: *Interventionelle Radiologie; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Bundesanzeiger Nr. 164 vom 3.9.98*]

Besonders viele und zum Teil auch dosisintensive Röntgenuntersuchungen werden gerade bei Schwer- und Schwerstkranken notwendig, Patienten, die wegen ihrer Erkrankung oder Verletzung eine kürzere Lebenserwartung haben. Diejenigen, die innerhalb von 10 Jahren sterben, erleben keine strahlenbedingte Krebserkrankung. Es ist daher falsch, wenn der aus diesen Untersuchungen resultierende Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Risikoabschätzungen zur strahlenbedingten Krebsmortalität einbezogen wird.

In noch viel stärkerem Maße ist diese Feststellung auch auf die in den folgenden Kapiteln dargestellte Nuklearmedizin und vor allem Strahlentherapie übertragbar.

Bei der Wertung der Strahlenexposition durch röntgendiagnostische Maßnahmen ist also zu berücksichtigen, 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.

Mittlere Dosiswerte häufiger Röntgenuntersuchungen sind in Tabelle 5 angegeben. Es handelt sich dabei um Dosen, wie sie vom Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz bei Patienten in Krankenhäusern und Arztpraxen gemessen wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten "Normalpatienten". Die Mitglieder der Expertenkommission "Medizinische Strahlenhygiene" und der dazu einberufenen Arbeitsgruppe haben weitere Daten von Messungen an Patienten in ihren eigenen Kliniken eingebracht, so dass neue Abschätzungen aus einem großen realistischen Datenmaterial durchgeführt werden konnten.

Die Unsicherheit bei der Erfassung der Strahlenexposition erklärt sich aus der regional schwankenden Untersuchungsfrequenz, der regional unterschiedlichen Altersstruktur der Bevölkerung sowie der erheblichen Streubreite bei den Dosiswerten je Untersuchung, die von den Körpermaßen des Patienten, der Schwierigkeit des Einzelfalls und der individuellen Anwendungstechnik von Seiten des Untersuchers abhängt.

Tabelle 5 Gerundete Mittelwerte der effektiven Dosis bei häufigen Röntgenuntersuchungen aus Messungen an Patienten

Organ/Untersuchung	Effektive Dosis (mSv)
Brustkorb	0,3
Gliedmaßen	0,06
Halswirbelsäule	0,2
Brustwirbelsäule	0,7
Lendenwirbelsäule	2,0
Becken	1,0
Hüfte	0,5
Schädel	0,03
Bauchraum (Übersicht)	1,2
Magen	9
Dünndarm	16
Dickdarm	20
Harntrakt	5
Schlagaderdarstellung	20
Venendarstellung (Bein)	2
Mammographie	0,5
Zahnaufnahme	0,01
Knochendichtemessung	0,001
Computertomographie-Kopf	2,5
Computertomographie-Brustraum	20
Computertomographie-Bauchraum	30
Computertomographie-Wirbelsäule	9

2. STRAHLENTHERAPIE

In der Strahlentherapie muss angestrebt werden, dass der zu bestrahlende Tumor die therapeutisch erforderliche Strahlendosis erhält, das umgebende gesunde Gewebe aber möglichst geschont wird. Dies ist nur in Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten und Medizinphysikern möglich. Ständige Qualitätssicherung und -kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung. Die dabei erforderliche Überwachung der Therapieanlagen ist in der „Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin,“ (RdSchr. des BMU vom 14.10.92, GMBI 1992, Nr. 40, Seite 991) beschrieben.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, Medizinischen Strahlenphysik, Strahlenbiologie und Informatik sowie dem Zusammenwirken dieser Bereiche. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata (z.B. kombinierte Radiochemotherapieansätze) stellt neue Herausforderungen an eine interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene. Diese kommt sowohl der Teletherapie als auch der Brachytherapie zugute.

Folgende gerätetechnische Ausstattung einer Strahlentherapieabteilung kann als Standard bezeichnet werden:

- Hochvoltgeräte (z.B. Linearbeschleuniger), die es ermöglichen, hohe Tumordosen gezielt zu applizieren bei gleichzeitig verbesserter Schonung des umgebenden gesunden Gewebes;
- Einrichtungen zur Röntgenweichstrahlbehandlung und Brachytherapie;
- Therapiesimulatoren zur exakten Lokalisation des bestrahlenden Volumens sowie
- computergestützte Bestrahlungsplanungssysteme, welche die Möglichkeit einer individualisierten Strahlentherapie bieten.

Eingeführte Verfahren der morphologischen Bildgebung wie Sonographie, Computertomographie und Magnetresonanztomographie werden zunehmend ergänzt durch neuartige Techniken der funktionellen Bildgebung und tragen damit wesentlich zu einer optimierten Detektion und Charakterisierung des zu bestrahlenden Tumors bei und damit zu einer optimierten Bestrahlungsplanung.

Wesentlich für eine kritische Bewertung des Erfolges einer Strahlentherapie ist insbesondere auch die sorgfältige Durchführung und Koordination der Nachsorge.

3. NUKLEARMEDIZIN

Häufigkeit diagnostischer nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland und die damit verbundene Strahlenexposition

1994 wurden etwa 2,8 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen in Deutschland durchgeführt. Diese Zahl entspricht ungefähr 34 nuklearmedizinischen Untersuchungen pro 1.000 Einwohnern. Am häufigsten wurden 1994 Szintigraphien der Schilddrüse (50 %) und des Skeletts (26 %) durchgeführt.

Die Gesamthäufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen pro 1.000 Einwohnern in den neuen Bundesländern betrug 1994 ca. 84 % der Untersuchungen in den alten Bundesländern. Am häufigsten wurden nuklearmedizinischen Untersuchungen der Schilddrüse (62,5 % und 57,4 %) und des Skeletts (24 % und 14,4 %) sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländer durchgeführt. Eine unterschiedliche Verteilung der Häufigkeiten folgt für die weiteren Organgruppen: in den alten Bundesländern: das Herz (6,3 %), die Niere (3,3 %), die Lunge (2 %) und in den neuen Bundesländern: die Niere (11,6 %), das Herz (9,2 %) und die Gefäße (1,8 %).

Tabelle 1 zeigt, dass die mit einer nuklearmedizinischen Untersuchung verbundene effektive Dosis durchschnittlich 2,7 mSv betrug (gewichteter Mittelwert). Bezieht man die kollektive Dosis von rund 7.700 Personen-Sv auf die Gesamtzahl der Einwohner der Bundesrepublik (81,5 Millionen - Statistisches Jahrbuch 1994), so ergibt sich eine jährliche effektive Dosis per caput von 0,095 mSv durch nuklearmedizinische Untersuchungen.

Betrachtet man den Beitrag der einzelnen diagnostischen Untersuchungen zur kollektiven Dosis durch nuklearmedizinische Verfahren in der BRD im Jahr 1994, so ist festzustellen, dass die Myokardszintigraphie (46 %) den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis lieferte, gefolgt von der Skelettszintigraphie (33 %), während die Schilddrüsenszintigraphie nur rund 11 % beitrug. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Myokardszintigraphie konservativ von einer ²⁰¹Tl-Applikation ausgegangen ist, dieses Radiopharmakon jedoch zunehmend durch andere ersetzt wird, die eine geringere Strahlenbelastung verursachen.

Tabelle 1 Häufigkeit und effektive Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen in der BRD

Organ/ Untersuchung	Gesamthäufigke it 1994 (in 1.000)	Radiopharmakon	applizierte Aktivität (MBq)	eff. Dosis pro Unters. (mSv)	kollektive eff. Dosis Personen-Sv
Gehirn	40	^{99m} Tc-HMPAO	700	6,5	260
Lunge	210	^{99m} Tc-MAA	100	1,1	231
Herz	210	²⁰¹ Tl-Chlorid	75	17	3570
Gefäße	16	^{99m} Tc-Ery	700	0,6	74
Niere	130	^{99m} Tc-DMSA	75	0,65	85
Skelett	730	^{99m} Tc-Phosphonat	600	3,5	2555
Schilddrüse	1400	^{99m} Tc-Pertechnetat	50	0,6	840
Leber/Galle	8	^{99m} Tc-HIDA	150	2,3	18
Rest	37	Verschiedene		2,4	89
Summe	2800			2,7	7722

4. HERZSCHRITTMACHER

Im Jahr 1998 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 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: 31.12.1998

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12 a)
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
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
Gesamt	284	256

a) 1 HSM ist in Kambodscha verschollen

5. MEDIZINISCHE FORSCHUNG

Im Jahr 1988 ist die neue Röntgenverordnung (RöV) und 1989 die Neufassung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Kraft getreten. In § 24 Abs. 2 RöV sind Röntgenuntersuchungen und in § 41 StrlSchV die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung 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 Anwendung von Röntgenstrahlen sind die Vorschriften sinngemäß anzuwenden.

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. Die Gutachtergruppe hat 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. 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.

5.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung

Eine Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an gesunden Probanden erfolgt in der Regel im Rahmen der klinischen Prüfung vor der Zulassung eines Arzneimittels. Hierbei wird das zu prüfende **radioaktiv markierte Arzneimittel** 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).

Eine Erläuterung für Forscher und Behörden zur Durchführung des § 41 StrlSchV ist als „Grundsätze nach § 41 StrlSchV“ von der Strahlenschutzkommission veröffentlicht worden [*Grundsätze für die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung, Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK), Heft 15 1998*].

In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die genehmigten bzw. durchgeführten klinischen Prüfungen von **mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln** am Menschen gegeben. Dem Bundesamt für Strahlenschutz sind keine Überschreitungen der Dosisgrenzwerte bekannt geworden.

Tabelle 1 Zusammenstellung genehmigter bzw. durchgeführter klinischer Prüfungen von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln

Jahr	Zahl der Gutachten	Zur Markierung verwendete Nuklide	Bereich der applizierten Aktivitäten (MBq pro Proband)	Gesamtzahl der Probanden
1976	1	C-14	3,7	6
1977	3	C-14	3,0 - 3,7	21
1978	4	C-14	3,7	26
1979	3	H-3	1,85 - 3,7	16
	3	C-14	3,7	24
1980	6	C-14	3,7 - 11	29
	1	S-35	3,7	7
1981	1	H-3	3,7	5
	4	C-14	3,7 - 5,1	25
	1	S-35	3,7	7
1982	1	H-3	8,2	6
	6	C-14	3,7 - 5,5	37
1983	5	C-14	1,85 - 11	30
1984	4	H-3	3,33 - 14,8	25
	3	C-14	0,37 - 3,7	21
1985	4	H-3	5,5 - 16,7	20
	5	C-14	3,7 - 7,4	36
1986	2	H-3	3,7 - 13,1	14
	8	C-14	2,8 - 7,4	72
1987	14	C-14	1,6 - 7,4	118
1988	4	C-14	3,7 - 11,1	34
1989	2	C-14	2,8 - 3,45	10
	1	S-35	0,74	4
1990	7	C-14	1,85 - 4	46
	1	H-3	1,85	6
	1	Tc-99m	7,4	12
	1	S-35	0,44	4
1991	4	C-14	1 - 7,4	32

Fortsetzung Tabelle 1

Jahr	Zahl der Gutachten	Zur Markierung verwendete Nuklide	Bereich der applizierten Aktivitäten (MBq pro Proband)	Gesamtzahl der Probanden
1992	2	H-3	1 - 7,2	30
	9	C-14	1,85 - 7,4	60
	1	Cr-51	3,7	18
1993	6	C-14	3 - 7,2	34
	2	Tc-99m	1 - 16,5	20
	1 *	In-111	0,006	6 *
1994	7	C-14	0,912 - 4	39
1995	1	C-14	4	6
	1	Cr-51	1,85	12
1996	1	H-3	3,7	6
1997	0	-	-	-
1998	2	C-14	1,3 - 4	13

* bei Tc-99m enthalten

5.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patienten in der medizinischen Forschung

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 hier 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 gutachtlichen Stellungnahmen zur Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. ionisierender Strahlen an Patienten ist jeweils einzugehen auf das Studienziel bzw. 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.

Im Jahr 1998 wurden dem Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt 54 Anträge auf Anwendung radioaktiver Stoffe (**radioaktive Arzneimittel**) bzw. ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung zur Begutachtung nach § 41 StrlSchV vorgelegt.

5.3 Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung

Seit Inkrafttreten der neuen 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. Die Genehmigungen werden in der Regel auf der Grundlage des § 17 AtG unter denselben Voraussetzungen erteilt wie bei der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 41 StrlSchV.

Dies bedeutet, dass für Genehmigungen nach § 24 Abs. 2 RöV ein Gutachten des Bundesamtes für Strahlenschutz eingeholt werden muss. Darin ist u.a. die voraussichtliche Bedeutung der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der geplanten Studie für die Heilkunde und die medizinische Wissenschaft zu prüfen. Zu prüfen ist ferner, ob die Anwendung von Röntgenstrahlen nicht durch andere, weniger strahlenintensive oder alternative - also ohne ionisierende oder Röntgenstrahlen durchzuführende - Untersuchungsarten ersetzt werden kann, und ob die damit verbundene Strahlenexposition der Probanden ärztlich vertretbar ist.

Im Jahr 1998 wurden wiederum hauptsächlich Anträge zur Knochendichtemessung, z.T. mit gleichzeitiger Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule gestellt. (s. Tabelle 3). 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 1998 sind in Tabelle 3 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 3 Gutachten des BfS gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) über Anträge auf Genehmigung der Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung

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

Forsetzung Tabelle 3

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv)
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
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 Skelettszintigramm (§ 41 StrlSchV)	4,1	200	0,82
	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

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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

1. EIN- UND AUSFUHR VON RADIOAKTIVEN STOFFEN

1.1 Einleitung

Nach § 3 des Atomgesetzes (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 Ausfuhrgenehmigungen 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.

Ein umfassender Erlass über die Verfahren zur Genehmigung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen ist 1996 erarbeitet worden und befindet sich in der Erprobungsphase, um voraussichtlich im Jahr 2000 unbefristet in Kraft gesetzt werden.

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren

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 10⁸-fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 11 Abs. 1 StrlSchV), oberhalb dieser Freigrenze genehmigungspflichtig (§ 12 Abs. 4 StrlSchV)

Die Ein- und Ausfuhr **radioaktiver Abfälle unterliegt immer der Genehmigungspflicht**; eine solche Genehmigung darf zudem nur erteilt werden, wenn hierfür ein Bedürfnis besteht (§ 14 Abs. 3 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 der europäischen Binnenmarktes am 1. Januar 1993 entfiel bei der Verbringung radioaktiver Stoffe innerhalb der Mitgliedsstaaten die zollamtliche Abfertigung; daher ist die entsprechende Ein- bzw. Ausfuhranzeige innerhalb einer Woche nach Verbringung direkt dem BAFA zu übersenden.

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Außenwirtschaftsrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein- und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Abweichungen werden

vermerkt. Bei groben Verstößen werden die Sendungen zurückgewiesen. Das BAFA erhält eine Durchschrift mit dem entsprechenden Zollvermerk.

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

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

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht

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

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

Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juni 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (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 Ein-, Aus- und Durchfuhr radioaktiver Abfälle, sie entspricht den deutschen Ein- und Ausfuhrregelungen im Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung. Sie soll diese letztlich ersetzen.

Eine Richtlinie des Rates ist zunächst nicht direkt in den Mitgliedstaaten geltendes Recht; sie muss erst von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden. Wegen einer fehlenden Ermächtigungsgrundlage konnte die Umsetzung in der Bundesrepublik Deutschland zunächst nicht erfolgen, sie wurde allerdings ersatzweise durch eine entsprechende Verwaltungsvorschrift vorweggenommen.

Atomrechtlichen 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 der 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 dem In-Kraft-Treten 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

Im Jahr 1998 wurden vom BAFA folgende Genehmigungen und Anzeigen erteilt bzw. bearbeitet:

83*	Einfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
6	Einfuhrgenehmigungen für radioaktive Abfälle gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (radioaktive Abfälle)
95	Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
9	Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)
16	Ausfuhrgenehmigungen für radioaktive Abfälle gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (radioaktive Abfälle)
145512	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 1 u. 2 StrlSchV
23553	Ausfuhranzeigen nach § 12 Abs. 4 StrlSchV
68	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 3 StrlSchV

* Hiervon waren 5 Genehmigungen für kernbrennstoffhaltige Abfälle mit mehr als 3 g Kernbrennstoff pro 100 kg Abfall erteilt worden; 2 davon wurden auch genutzt.

Die Zahl der bearbeiteten Anzeigen erhöhten sich damit um 2,9 % von 164288 im Jahr 1997 auf 169133 im Jahr 1998.

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1983 - 1998 geben die Tabellen 1 und 2.

Die **Gesamteinfuhr** an Radionukliden (ohne radioaktive Abfälle) in Gigabecquerel (GBq) ging wieder zurück wegen der gefallenen Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq und die ebenfalls zurückgegangene Einfuhr von Bestrahlungsproben (wie z.B. aktivierte Anlagenteile), während bei den offenen und umschlossenen Radionukliden ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq ein Anstieg auf gut das Doppelte zu beobachten ist.

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen (inkl. kleinster Mengen bestrahlten Materials) ist ein weiterer leichter Anstieg zu verzeichnen.

Die **Gesamtausfuhr** von Radionukliden (ohne radioaktive Abfälle) in GBq stieg im Jahr 1998 leicht an, im Wesentlichen verursacht durch die deutliche Zunahme bei den offenen und umschlossenen Radionukliden ohne Quellen ab 1850 GBq. Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden wieder in signifikanten Mengen ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt und bestrahlt) und den Ausgangsstoffen ist gegenüber dem Vorjahr wieder eine leichte Abnahme festzustellen.

Tabelle 1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (z.B. aktivierte Anlagenteile) (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamteinfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt und bestrahlt) (kg)
1983	7 847 009	52 978	66 356 400	74 256 387	2 603 434
1984	5 042 270	179 114	14 976 319	20 197 703	3 030 916
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

Tabelle 2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt u. bestrahlt) (kg)
1983	2 468 045	25	5 343 000	7 811 270	3 319 953
1984	1 743 212	54	2 820 000	4 563 266	2 169 361
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

1.4 Einfuhrstatistik

1.4.1 Einfuhr offener und umschlossener Radionuklide (ohne Strahlenquellen ab 1850 Gigabecquerel)

Tabelle 4 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq, Bestrahlungsproben und radioaktive Abfälle. Die Gesamteinfuhr hat sich gegenüber dem Vorjahr mit 3 254 186 GBq gut verdoppelt, im Wesentlichen durch hohe Tritiumzufuhren vor allem aus Kanada.

Auffällige Zuwächse sind des Weiteren bei **Kohlenstoff-14**, **Selen-75** und **Krypton-85** zu verzeichnen.

Deutliche Rückgänge sind im Wesentlichen nur bei **Kobalt-60** festzustellen. **Schwefel-35** war 1998 nicht mehr mit relevanten Aktivitäten vertreten, während **Rhenium-186** dazukam.

**Tabelle 3 Aktivität der 1998 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide
(ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)**

Versenderland	Aktivitäten in GBq									
	H-3	C-14	P-32	Co-60	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	I-123
Frankreich	518	9	0	269	0	86	1	1804	141782	0
Belgien/Luxemb.	83	299	424	7809	0	22	3	114	133318	171
Niederlande	0	0	117	6	0	3	0	723	176980	2121
Italien	0	0	0	112	0	129	0	0	15914	0
Großbritannien	36715	744	546	0	2	1807	470	1307	89465	0
Norwegen	2059	0	0	0	4240	0	0	0	0	0
Schweiz	53537	0	0	855	322	107	282	903	0	0
USA	3707	6301	0	2435	3	821	160	20	0	0
Kanada	1847400	0	0	1	0	3	3	9	0	0
Japan	1	2	0	0	0	3	6	0	0	0
Ungarn	2	0	125	0	117	2	0	0	0	0
Russland	13	6802	38	0	4155	7446	222	37	0	0
Tschechien	0	0	0	3	1414	0	3016	0	688	0
Slowakei	0	0	0	10	935	0	0	0	0	0
Polen	0	0	0	4	2	0	1	0	0	0
Südkorea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taiwan	0	0	0	0	2567	6	0	0	0	0
Verein. Arab. Emirate	0	0	0	0	855	0	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tunesien	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
Indonesien	0	0	0	0	2144	0	0	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	740	0	0	0	0	0
Sonstige	740	0	0	6	278	743	16	0	0	0
Summe 1998	1944775	14157	1250	11510	17774	11193	4180	4917	558147	2292
Summe 1997	54342	5092	1325	201811	8471	3401	3058	4254	551707	1123
Änderungen %	+3479	+178	-6	-94	+110	+229	+37	+16	+1	+104

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	48	358	0	1244	7	682	852	2203	11	573	150447
Belgien/Luxemb.	168	216286	1595	5	0	1	13635	5935	18	316	380202
Niederlande	0	18639	81	11	0	532	284829	3769	4	755	488570
Italien	85	30	0	1	15	0	6	0	22	30	16344
Großbritannien	394	6	853	5202	0	0	6056	0	6910	1875	152835
Norwegen	1	0	0	63	0	0	205	483	370	6	6944
Schweiz	41	0	0	448	20952	0	7148	0	8	175	84778
USA	901	0	0	2098	315	119	46887	0	779	1131	65677
Kanada	446	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1847864
Japan	6	0	0	0	26	0	3987	0	0	185	4216
Ungarn	6	2035	0	0	0	0	2193	0	0	59	4539
Russland	0	0	0	56	0	0	140	0	664	500	20073
Tschechien	0	0	0	1424	0	0	626	0	3212	0	10383
Slowakei	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	1058
Polen	0	0	0	63	0	0	1880	0	111	27	2088
Südkorea	0	0	0	0	0	0	1328	0	0	0	1328
Taiwan	0	0	0	0	0	0	308	0	0	11	2892
Verein. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	0	455	0	0	0	1310
Kuwait	0	0	0	0	0	0	1370	0	0	0	1370
Tunesien	0	0	0	0	0	0	1075	0	0	4	1094
Indonesien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2144
Malaysia	0	0	0	0	0	0	418	0	0	0	1158
Sonstige	215	0	0	483	343	0	2602	0	1227	219	6872
Summe 1998	2311	237354	2529	11098	21658	1334	376113	12390	13336	5868	3254186
Summe 1997	2450	209894	2997	14968	19724	-	429456	11075	10190	5534	1541873
Änderungen %	-6	+13	-16	-26	+10	-	-12	+12	+31	+6	+111

Tabelle 4 Einfuhr von offenen und umschlossenen radioaktiven Stoffen ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq (einschließlich der Bestrahlungsproben und radioaktiver Abfälle) im Jahr 1998 nach Verbrauchergruppen geordnet

Verbrauchergruppe	Aktivität in GBq	Anteil in % (gerundet)
Handelsfirmen	465069	14,1
Kliniken, Ärzte, Apotheken	479544	14,6
medizin. Forschungsinstitute	10782	0,3
Naturwissenschaftl. Institute, Schulen, Messstellen, Ämter u. Verbände	36872	1,1
Chemische und pharmazeutische Industrie, Mineralölwirtschaft	12034	0,36
Maschinen-, Apparate-, Geräte- u. Fahrzeugbau	343821	10,5
Nahrungs- u. Genussmittelindustrie	6	0
Bergbau, Hüttenwerk	0	0
Elektroindustrie, Feinmechanik/Optik, Photoindustrie u. sonstige Industriezweige	57500	1,7
Reaktoren, Sammelstellen, Atomkraftwerke	1883246	57,3

1.4.2 Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 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 1998 im Vergleich zum Vorjahr etwas abgenommen; die Gesamtaktivität betrug im Jahr 1997 79 215 145 GBq und 59 959 336 GBq in 1998 bei allerdings höherer Stückzahl (1997: 319, 1998: 585). Während 1997 der größte Einzelposten mit 87,2 % der Gesamtaktivität bei Cs-137 lag, hatte 1998 Co-60 mit 96,1 % den größten Anteil.

Tabelle 5 Aktivität der 1998 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Frankreich	5024300	0	0	0	5024300
Belgien/Luxemburg	0	0	0	21821	21821
Niederlande	320100	0	0	1850	321950
Großbritannien	4688000	0	1196200	21900	5906100
Italien	87100	0	40000	0	127100
Schweiz	77200	0	0	0	77200
USA	12958800	0	0	444256	13403056
Kanada	33958000	0	109400	0	34067400
Russland	3854000	605538	0	0	4459538
Mazedonien	18400	0	0	0	18400
Polen	0	3000	0	0	3000
Albanien	26100	0	0	0	26100
Summe 1998	61012000	608538	1345600	489827	63455965
Stückzahl	188	178	40	179	585
Summe 1997	9400674	420259	69078700	313612	79215145
Änderungen %	+549	+45	-98	+56	-20

Tabelle 6 Einfuhr von Strahlenquellen ab 1850 bis 37000 GBq und ab 3777 GBq im Jahr 1998

Nuklid	ab 1850 - 37000 GBq		ab 37000 GBq	
	Aktivität/GBq	Anzahl	Aktivität	Anzahl
Co-60	465800	20	60546200	168
Se-75	608538	178	-	-
Cs-137	165900	23	1179700	17
Ir 192	489827	179	-	-
gesamt	1730065	400	61725900	185

1.4.3 Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen

Tabelle 7 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 1998 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier ein weiterer leichter Anstieg um 7,8 % zu festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wieder bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10 % **Uran-235**. An bestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen wurden 1998 13 kg eingeführt.

Tabelle 7 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 1998 in kg

Versenderland	abger. Uran	Natur-uran	mit U-235 angereichertes Uran			Plutonium	Thorium	Summe
			bis 3 %	3 - 10 %	10 - 20 %			
Frankreich	4079	479906	0	108801	46	1	1573	594406
Belgien/Luxemb.	32011	10420	0	1009	0	2488	0	45928
Niederlande	280	1501	12735	59932	0	0	0	74448
Großbritannien	67	863129	0	77939	0	0	0	941135
Spanien	0	1427	0	17722	0	0	0	19149
Schweden	1550	0	0	49780	0	0	0	51330
Österreich	1	3	0	0	0	0	2	6
Schweiz	0	0	0	0	33	0	0	33
USA	0	698	3924	83255	0	0	5	87882
Russland	0	425051	22365	102848	0	0	0	550264
Südafrika	0	94478	0	0	0	0	0	94478
Kanada	0	226140	0	0	0	0	0	226140
Summe 1998	37988	2102753	39024	501286	79	2489	1580	2685199
Summe 1997	42035	1859912	15893	568614	46	1969	1698	2490169
Änderungen %	-10	+13	+146	-12	+72	+26	-7	+8

1.5 Ausfuhrstatistik

1.5.1 Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr (Tabelle 8) nahm von 392 404 GBq (1997) hauptsächlich wegen der auf jeweils etwa das Zweifache gestiegenen Ausfuhr von **Tritium**, **Kobalt-60**, **Selen-75** und **Americium-241** sowie aufgrund der gut 100 000 GBq mehr ausgeführten **Iridium-192** bei gleichzeitigem Nachlassen von **Kohlenstoff-12-** und **Nickel-63-**Ausfuhren deutlich zu um 40.3 % auf 550.637 GBq (1998). Mit 86 % bilden die fünf Radionuklide H-3, Se-75 und **Molybdaen-99**, **Jod-131** und Ir-192 bereits den größten Anteil der insgesamt ausgeführten Aktivität, wobei der größte Einzelposten wieder Ir-192 ist. **Strontium-90** hingegen wurde im Berichtszeitraum nicht mehr in relevanten Aktivitäten ausgeführt.

1998 ist wieder erheblich mehr H-3 in Form von Gaslichtquellen ausgeführt worden, nämlich mit 45 939 GBq gegenüber 19 904 GBq im Jahr 1997 mehr als das Doppelte, wobei der größte Anteil mit 25 158 GBq in die USA geliefert worden ist. An Leuchtmassen war es 1998 mit 8 895 GBq fast das Dreifache von 1997 (3000 GBq), wobei wieder ausschließlich nach Schweden verbracht worden ist.

Tabelle 8 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 1998

Verbraucherland	Aktivitäten in GBq							
	H-3	C-14	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Mo-99	I-123
Frankreich	966	1	214	12	0	260	1542	202
Belgien/Luxemb.	34	0	1497	6	0	36	1847	0
Niederlande	0	12	16	7	0	57	0	0
Italien	925	0	5321	38	126	255	2514	402
Großbritannien	6877	10	1291	53	3145	712	10304	0
Irland	0	0	1	2	0	156	0	0
Dänemark	1695	0	9	14	0	0	0	0
Schweden	9048	0	21	62	0	181	0	0
Österreich	51	0	21	15	0	281	0	962
Spanien	203	0	27	38	0	54	0	0
Portugal	93	0	0	1	0	34	0	0
Schweiz	7763	1	1	7	0	296	0	0
Norwegen	120	0	4	4	3330	46	0	0
USA	26338	4240	317	700	0	599	0	0
Australien	120	0	0	1	0	70	0	0
Japan	0	1	5	0	0	318	0	0
Türkei	5	0	23	3	0	6	0	0
Tschechien	5	19	0	6	4181	9	5319	14
Slowakei	5	0	2	1	0	20	2198	5
Polen	32	0	0	1	0	108	9131	0
Ungarn	20	0	1	1	0	11	0	0
Russland	0	0	9	0	20787	1784	0	0
Slowenien	0	0	0	1	0	0	0	0
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0
Verein. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	0	0	0
Ägypten	681	0	6	1	0	0	0	0
Südkorea	0	0	6	2	0	29	0	0
Brasilien	0	0	1375	0	1700	17	0	0
Singapur	0	0	24	0	0	2	0	0
Israel	0	0	1	5	0	89	0	0
Indien	0	0	206	1	0	11	0	0
Südafrika	1376	0	230	0	0	46	0	0
Taiwan	0	0	23	0	0	21	0	0
Sonstige	2729	3	3384	7	0	279	21	0
Summe 1998	59086	4287	14035	989	33269	5787	32876	1585
Summe 1997	27587	11728	7053	1619	18023	4841	33070	1358
Änderungen %	+114	-63	+99	-39	+85	+20	-1	+17

Fortsetzung Tabelle 8

Verbraucherland	Aktivitäten in GBq						
	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonstige	Summe
Frankreich	12	1181	11	13755	491	24	18671
Belgien/Luxemb.	744	929	1	0	107	172	5373
Niederlande	10985	16	27	88393	30	29	99572
Italien	1948	538	70	3886	39	268	16330
Großbritannien	51241	3584	6003	1983	830	103	86136
Irland	0	1	2	867	0	0	1029
Dänemark	0	16	0	123	47	2	1906
Schweden	16	18	31	5243	28	37	14685
Österreich	651	3333	71	5529	41	216	11171
Spanien	18	25	9	1110	397	107	1988
Portugal	4	27	0	13677	0	2	13838
Schweiz	0	211	18	12103	36	348	20784
Norwegen	0	382	89	1632	1039	3	6649
USA	0	1289	5194	268	1596	398	40939
Australien	0	2	0	1786	13	0	1992
Japan	0	0	30	17206	4	4	17568
Türkei	17	212	50	845	18	1	1180
Tschechien	3554	21	0	28844	3006	218	45196
Slowakei	174	1255	0	842	1039	11	5552
Polen	0	415	4	38	410	150	10289
Ungarn	285	0	13	10854	118	2	11305
Russland	0	0	0	0	692	4	23276
Slowenien	0	0	0	4995	0	1	4997
Kuwait	0	13	0	39595	0	0	39608
Ver. Arab. Emir.	0	32	25	4249	2	0	4308
Ägypten	0	132	0	1400	78	5	2303
Südkorea	0	1710	25	5688	1385	457	9302
Brasilien	0	1480	25	2834	59	10	7500
Singapur	0	61	837	1744	0	0	2668
Israel	0	96	25	1200	0	0	1416
Indien	0	164	37	830	675	36	1960
Südafrika	0	78	0	1351	23	5	3109
Taiwan	0	39	25	848	284	3	1243
Sonstige	17	1386	164	6721	1976	107	16794
Summe 1998	69666	18646	12786	280439	14463	2723	550637
Summe 1997	66977	17611	11872	180260	7327	1720	392404
Änderungen %	+4	+6	+8	+56	+97	+58	+40

1.5.2 Umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr von umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq (Tabelle 9) nahm um 9 % leicht zu von 2 146 212 GBq (1997 = 184 Stück) auf 2 333 673 GBq (1998 = 296 Stück). Das Verhältnis von Aktivitäten zu Stückzahlen hat sich bei Cs-137 etwas vergrößert und bei Ir-192 leicht verkleinert (auch in der Endsumme).

Tabelle 9 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 1998

Verbraucherland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Frankreich	91000	0	0	0	91000
Großbritannien	0	2479	0	2200	4679
Niederlande	0	0	0	125745	125745
Finnland	0	0	81400	0	81400
Belgien/Luxemburg	0	0	0	1900	1900
Dänemark	0	47437	0	0	47437
Schweden	1900	0	0	6512	8412
Portugal	0	0	0	2000	2000
Italien	2800	1850	0	0	4650
Norwegen	0	29750	0	0	29750
Schweiz	0	8251	0	60286	68537
USA	826100	0	1900	0	828000
Neuseeland	0	0	3700	0	3700
Japan	0	0	325600	0	325600
Türkei	0	2960	0	13357	16317
Südkorea	0	0	1900	0	1900
Tschechien	0	24026	0	121804	145830
Mazedonien	0	0	0	3700	3700
Bosnien-Herzeg.	0	0	0	7400	7400
Slowakei	0	2701	88800	0	91501
BR Jugoslawien	112000	0	0	0	112000
Polen	0	5217	0	0	5217
Tunesien	0	0	0	20110	20110
Ungarn	0	2960	0	0	2960
Ägypten	0	2701	0	12700	15401
Ver. Arabische Emirate	0	6327	0	21843	28170
Brasilien	0	7141	0	0	7141
Kamerun	0	2960	0	3700	6660
Syrien	0	0	0	2146	2146
Kuwait	0	0	0	4200	4200
China	0	0	0	3552	3552
Taiwan	0	41551	5700	64342	111593
Indonesien	0	10915	0	0	10915
Russland	0	10640	0	0	10640
Malaysia	0	13579	0	8600	22179
Argentinien	0	2553	0	0	2553
Südafrika	0	0	33400	0	33400
Chile	0	19604	0	7285	26889
Israel	0	4662	0	0	4662
Indien	0	0	5550	0	5550
Sonstige	0	0	1900	6377	8277
Summe 1998	1033800	250264	549850	499759	2333673
Stückzahl	18	85	17	176	296
Summe 1997	1424491	161424	251300	308997	2146212
Änderungen %	-27	+55	+118	+62	+9

Tabelle 10 Ausfuhr von Strahlenquellen ab 1850 bis 37000 GBq und ab 37000 GBq im Jahr 1998

Nuklid	ab 1850 - 37000 GBq		ab 37000 GBq	
	Aktivität/GBq	Anzahl	Aktivität	Anzahl
Co-60	4700	2	1029100	16
Se-75	250264	85	0	-
Cs-137	61450	11	488400	6
Ir 192	499759	176	0	-
gesamt	816173	274	1517500	22

1.5.3 Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 11 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es erfolgte eine leichte Abnahme der Ausfuhrmenge von 3 199 036 kg (1997) um 6 % auf 3 020 821 kg (1998). Der mengenmäßig größte Anteil liegt vorwiegend wieder bei abgereichertem Uran, aber auch bei den Ausgangsstoffen und angereichertem Uran mit 3 - 10%-igen Anteil U-235 sind größere Posten festzustellen. Uran mit 20 - 85 % und über 85 % U-235 war 1998 nicht mehr vertreten; Plutonium und Thorium sind wie im Vorjahr in kleineren Mengen ausgeführt worden. Material der Anreicherung von 10 - 20 % U-235 war auch 1998 nicht dabei.

Tabelle 11 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1998 in kg

Verbraucherland	abger. Uran	Ausgangs - stoffe	Natur-uran	mit U-235 angereichertes Uran		Plutonium	Thorium	Summe
				bis 3 %	3 - 10 %			
Frankreich	251196	6009	185	7	57087	293	1	314778
Belgien/Luxem.	1	0	42	0	9096	0	0	9139
Niederlande	279	0	0	0	12888	0	0	13167
Großbritannien	134293	28490	381	0	33417	0	0	196581
Spanien	3	30819	0	0	21977	0	0	52799
Schweden	1	0	989	173	24151	0	1	25315
Finnland	0	0	0	0	25349	0	0	25349
Schweiz	10	0	0	0	20307	0	0	20317
Österreich	0	0	0	0	0	0	4	4
Polen	34	0	0	0	0	0	0	34
USA	0	0	0	26	134984	0	0	135010
Kanada	0	0	77	0	0	0	0	77
Rusland	2228125	0	0	0	0	0	0	2228125
Japan	0	0	0	0	0	0	9	9
Indien	62	0	0	0	0	00	1	63
Sonstige	45	0	0	0	0	0	9	54
Summe 1998	2614049	65318	1674	206	339256	293	25	3020821
Summe 1997	2811022	38254	1500	7808	339642	203	478	3199036
Änderungen %	-7	+71	+12	-97	-0,1	+44	-5	-6

1.5.4 Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 12 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt. Die insgesamt ausgeführte Menge ist von 351 101 kg im Jahr 1997 um 68 % auf 112 375 kg im Jahr 1998 gefallen. Material der ursprünglichen Anreicherungsgebiete "bis 3 % U-235" sowie "3 - 10 % U-235" bildet dabei erwartungsgemäß mit 95 % den Hauptanteil und stellt auch den Grund für den Gesamtrückgang dar. Die überwiegende Menge wurde auch 1997 nach Frankreich verbracht, nahezu der gesamte Rest nach Großbritannien. Die Lieferungen sehr kleiner Mengen in die Schweiz stellen Ausnahmen zu Messzwecken etc. dar. Der Rückgang erklärt sich wie auch die relativ geringe Nutzung der erteilten Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG durch die zwischenzeitliche Aussetzung der Transporte für bestrahlte Brennelemente, welche ansonsten zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien verbracht worden wären.

Tabelle 12 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1998 in kg

Verbraucherland	Natur-uran	mit U- 235 angereichertes Uran		Plutonium	Summe
		bis 3 %	3 - 10 %		
Frankreich	3039	0	74639	132	77810
Schweiz	28	10	0	1	39
Großbritannien	2036	22433	9972	85	34526
Summe 1998	5103	22443	84611	218	112375

2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE

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

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 1998 wurden insgesamt 196 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

1998 wurden insgesamt 525 Transporte von Kernbrennstoffen durchgeführt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 1998 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)

Inlandtransporte	
Schiene /bestrahltes Material	2
Schiene /Reststoffe und Abfall	0
Straße /unbestrahltes Material	115
Straße /bestrahltes Material	1
Straße /Reststoffe und Abfall	8
insgesamt	126
Grenzüberschreitende Transporte a)	
Luft /unbestrahltes Material	30
Luft /bestrahltes Material	0
See /unbestrahltes Material	93
See /bestrahltes Material	1
See /Reststoffe und Abfall	19
Schiene /unbestrahltes Material	15
Schiene /bestrahltes Material	23
Schiene /Reststoffe und Abfall	0
Straße /unbestrahltes Material	210
Straße /bestrahltes Material	3
Straße /Reststoffe und Abfall	5
insgesamt	399

- a) Bei kombinierten Transporten wurden folgende Festlegenden gewählt:
 Straßen- oder Schienen-/Seetransport: als Seetransport
 Straßen-/Schienenstransport: als Schienentransport
 Straßen-/Lufttransport: als Lufttransport
 Straßen-/Schienen-/Seetransport: als Schienentransport

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

Mit der Privatisierung sowohl der Deutschen Bundesbahn als auch der Deutschen Reichsbahn und Zusammenführung in die Deutsche Bahn AG wurde mit Wirkung vom 1. Januar 1994 das **Eisenbahn-Bundesamt (EBA)** als selbständige, dem Bundesministerium für Verkehr, jetzt Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) nachgeordnete Bundesoberbehörde errichtet [s. Art. 3, § 2 Abs. 1 des Eisenbahnneuordnungsgesetzes (ENeuOG) vom 27.12.1993]. Dabei fungiert das EBA als Aufsichts- und Genehmigungsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen sowie im Magnetschwebbahnverkehr gemäß § 24 in Verbindung mit § 19 AtG.

Die folgenden Zahlen für 1998 wurden dem Jahresbericht 1998 des EBA entnommen. Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Wagenladungssendungen radioaktiver Stoffe 1998 im Vergleich zu 1997. Die Summe des Transportaufkommens im Wagenladungsverkehr mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen ist 1998 im Vergleich zu 1997 stark zurückgegangen.

Der Rückgang lässt sich aus folgenden Ereignissen direkt ableiten:

1. Überschreitungen von Kontaminationsgrenzwerten bei der Beförderung von Brennelementbehältern und der damit bedingten Aussetzung dieser Transporte seit dem 14. Mai 1998
2. Einlagerungsstop für das Endlager Morsleben (ERAM) seit der 40. KW 1998.

Tabelle 3 zeigt eine detaillierte Aufteilung der Abfalltransporte über das Jahr hinweg.

Ab der 40. KW 1998 fanden aufgrund eines Gerichtsbeschlusses keine Einlagerungen im Endlager Morsleben (ERAM) mehr statt, dementsprechend liefen ab Oktober 1998 keine Transporte mehr nach ERAM. Bis dahin wurden noch insgesamt 163 Wagenladungen zum Endlager für radioaktive Abfälle nach Morsleben befördert.

Tabelle 2 Wagenladungssendungen der Deutschen Bundesbahn mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen im Jahr 1998

Art der Sendung	Anzahl der Wagen		Bruttogewicht der Ladung (t) (z.T. geschätzt)	Beförderte Gesamtaktivität (PBq = 10 ¹⁵ Bq) (Werte zum Teil geschätzt)
	1998	1997		
	1998	1997	1998	1998
Kernbrennstoffe				
Uran der natürl. Isotopenzusammensetzung oder angereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	19	17	877	0,012657
Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels)	4	2	105	-
Konditionierte Rückstände z.B. in 200 l-Metallfässern mit Zusatzabschirmung *)	-	2	-	-
Bestrahlte Brennelemente	35	102	3 494	6767,110
Sonstige radioaktive Stoffe				
Strahlenquellen, (Co-60, Cs-137, Am-241) sowie Geräte einschl. Strahlenquellen, Niobium-Konzentrate	14	-	906	4,216
Uranerze, Uranerzkonzentrate	14	41	390	0,005845
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z.B. in 200 l-Metallfässer *)	289	413	10 069	1,197188
Leere Verpackungen	8	-	322	-
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	32	101	2 689	0,118400
Summe	415	678	18 852	6772,660090

*) Es handelt sich um Transporte im Zusammenhang mit der Konditionierung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfallstoffe sowie den Transport radioaktiv kontaminierter Gegenstände

Tabelle 3 Aufteilung der Transporte im Jahr 1998 im Bereich der losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückstände zu folgenden Empfängern:

Monat	nach ERAM	nach Studsvik (Schweden)	nach Gorleben	nach Mitterteich	nach Duisburg (GNS)	nach Jülich (KFA)	zum Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)	zu sonstigen Stellen (z.B. Kernkraftwerke, etc.)
1	3	1	-	-	-	-	2	2
2	14	-	-	-	2	-	2	-
3	15	-	-	-	-	6	-	1
4	19	-	3	3	5	-	1	-
5	10	2	-	2	4	2	2	-
6	25	-	-	5	-	-	-	1
7	27	-	-	5	3	2	-	-
8	22	3	1	-	-	1	4	-
9	28	1	-	-	6	2	6	5
10	-	1	-	-	-	-	-	-
11	-	2	-	8	1	-	2	5
12	-	7	5	4	1	4	1	-
Σ^*	163	17	9	27	22	17	20	14

* Gesamtsumme aller Transporte loser und verfestigter schwachradioaktiver Rückstände beträgt 289, siehe Tabelle 2: Wagenladungssendungen 1998

2.3 Besonders erwähnenswerte Transporte

Vom 19. - 20. März 1998 fand der Transport von insgesamt 6 Brennelement-Behältern (Typ Castor) mit bestrahlten Brennelementen aus den deutschen Kernkraftwerken (KKW) Gundremmingen und Neckarwestheim zum Brennelement-Zwischenlager Ahaus (BZA) statt.

Auch 1998 kam es vor allem bei den empfangenden Stahlwerken vermehrt zu Feststellungen, dass Schrottsendungen eine erhöhte Radioaktivität aufwiesen, und dass die Stahlwerke die Annahme dieser Sendungen von den Zulieferern (Rohstoffhändlern) verweigerten. Aus diesem Grunde rüsteten sich die Stahlwerke und einzelne Rohstoffhändler mit entsprechenden Messanlagen aus. Bei Ansprechen der Messanlage (Rot-Ausleuchtung) erfolgt eine Nachprüfung mit Handmessgeräten. Bestätigt sich die erhöhte Ortsdosisleistung (ODL) an den Wagen, verständigen die Stahlwerke / Rohstoffhändler gemäss § 80 StrlSchV wegen „Fund radioaktiver Stoffe“ die zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der beim EBA eingegangenen Meldungen über erhöhte Radioaktivitäten in Schrottlieferungen für das Jahr 1998. In allen Fällen traten keine radiologischen Folgen auf.

Tabelle 4 Zusammenstellung der beim EBA eingegangenen Meldungen über erhöhte Radioaktivitäten in Schrottlieferungen 1998

Datum	Vorkommnis	Fundort	Herkunft des Schrotts bzw. Importweg	Ortsdosisleistung	Verbleib bzw. behödl. Entscheidung über weitere Verwendung des Schrotts
24.01.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Oberhausen	Abgangsort: Mülheim (Ruhr)	ODL: 1,5 µSv/h an der Wagenaußenfläche	Rückführung des Wagens zum Absender auf Anordnung des EBA Verbleib nach Anordnung der zuständigen atomrechtl. Aufsichtsbehörde des Landes
19.03.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Peine	Abgangsort: Peine	ODL: 8,01 µSv/h an der Wagenaußenfläche	(siehe oben) Meldung erfolgte auch durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Braunschweig
07.05.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit Eisenbahnwagen an 2 Containern in Köln und 1 Container in Braunschweig	Köln	Abgangsort: Russland	ODL: 0,11 µSv/h an der Außenseite der Container	Weiterbeförderung der Container zum Empfänger auf Anordnung des EBA Verbleib nach Anordnung der zuständigen atomrechtl. Aufsichtsbehörde des Landes
25.07.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Witten	Abgangsort: Mülheim (Ruhr)	ODL: 2,0 µSv/h in 0,7 m Abstand von der Wagenaußenfläche	Rückführung des Wagens zum Absender auf Anordnung des EBA Verbleib nach Anordnung der zuständigen atomrechtl. Aufsichtsbehörde des Landes
30.07.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Luxemburg	Abgangsort: Homburg	ODL: 0,42 µSv/h an der Wagenaußenfläche, 0,17 µSv/h in 1m Abstand von der Wagenaußenfläche	(siehe oben)
01.09.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Unterwellenborn	Zatec/ Tschechien	ODL: 45 µSv/h an der Wagenaußenfläche	Radioaktiv aktiviertes Schrott-Teil (660 µSv/h) wurde aus dem Wagen entfernt und vom Landesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin des Landes Thüringen (LAFAS) sichergestellt. Der Eisenbahnwagen wurde dem Stahlwerk Thüringen übergeben
15.09.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Luxemburg	Abgangsort: Karlsruhe	ODL: 1,5 µSv/h an der Wagenaußenfläche, 0,35 µSv/h in 1m Abstand von der Wagenaußenfläche	Rückführung des Wagens zum Absender auf Anordnung des EBA. Verbleib nach Anordnung der zuständigen atomrechtl. Aufsichtsbehörde des Landes
25.09.1998	Feststellung einer erhöhten Ortsdosisleistung bei einer Schrottsendung mit einem Eisenbahnwagen	Luxemburg	Abgangsort: Günzburg	ODL: 0,6 µSv/h an der Wagenaußenfläche, 0,2 µSv/h in 1m Abstand von der Wagenaußenfläche	(siehe oben)

3. UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN

Nach § 1 Abs. 1 der 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

In Tabelle 1 ist die Entwicklung der Anzahl der Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1992 bis 1998 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 verringert. Der höchste Anteil von 55,1 % ist auch im Jahr 1998 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 25,7 % der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 1998 den Angaben des Jahres 1997 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 1998 deutlich höher (Faktor 11 bis 15) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 1997 fiel die Gesamtzahl in diesem Bereich um 6 % jedoch die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung um 24 %.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach §§ 15 und 16 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1998 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 1997 und 1998. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine leicht fallende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 1998 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 81 % auf Umgang (§ 3 StrlSchV), zu ca. 4 % auf Beförderung (§ 8 StrlSchV) und zu 13 % auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20 StrlSchV). Nur ca. 0,3 % der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 1997 und 1998 erteilten Genehmigungen nach §§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 1997 nahm die Zahl der 1998 erteilten Genehmigungen um ca. 4 % zu.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1998 kann einer Übersicht in Tabelle 6 entnommen werden. Von den insgesamt 14593 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 32 Präparate (ca. 0,3 %) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, sofern gemeldet, u.a. 6 Americium-241-Quellen, 4 Strontium-90-Quellen und 3 Kobalt-90-Quellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 6 zu entnehmen.

Fortsetzung Tabelle 1

Tabelle 1 Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1993 - 1998

		1993	1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	2089	2010	1747	1804	1824	1814
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			467	454	433	481
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			344	378	409	285
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			904	935	972	1025
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			32	37	10	23
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1743	1811	1748	1781	1721	1742
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			385	376	376	382
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			203	200	188	195
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			1074	1112	1059	1074
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			86	93	98	91
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	691	718	1109	987	950	971
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			449	356	404	413
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			353	305	372	380
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			307	326	174	178
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			0	0	0	0
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	209	226	226	247	233	255
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			15	25	33	34
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			14	26	19	23
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			182	180	167	181
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			15	16	14	17
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	118	115	100	98	96	119
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			19	19	18	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			7	7	6	6
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			72	71	71	73
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			2	1	1	12
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	398	393	302	357	303	309
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			78	82	63	66
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			36	39	31	32
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			167	205	188	190
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			21	31	21	21
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	871	795	801	758	760	758
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			213	211	200	196
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			92	95	88	94
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			450	412	428	425
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			46	40	44	43
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	53	164	211	195	242	250
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			65	39	74	77
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			29	30	34	35
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			110	119	126	130
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			7	7	8	8
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1030	1145	1125	1015	1137	1051
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			274	206	239	234
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			134	113	134	123
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			706	679	746	663
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			11	17	18	31
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2125	2600	2814	2512	2545	1854
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			714	760	755	507
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			384	110	102	97
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			1716	1595	1636	1243
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			-	47	52	7
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	580	573	582	537	574	551
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			222	209	216	194
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			35	25	31	23
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft			231	220	249	266
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			94	83	78	68

Fortsetzung Tabelle 1

		1993	1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	100	100	97	93	82	80
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			29	29	26	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			61 5	57 5	53 1	48 2
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	389	446	575	588	586	621
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			87	95	98	111
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			160	170	162	173
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			180 148	170 153	169 157	178 159
Sachsen- Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	266	366	345	358	382	403
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			44	46	45	50
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			25	29	36	45
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			259 17	266 17	280 21	281 27
Schleswig- Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	415	410	406	418	436	436
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			109	113	119	119
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			33	33	34	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			237 27	245 27	256 27	256 27
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	237	241	217	224	243	243
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre			20	23	28	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin			10	11	11	11
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)			184 3	184 6	197 7	194 10
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	11314	12113	12405	11972	12114	11457
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre das entspricht			3190 25,7%	3043 25,4%	3127 25,8%	2948 25,7%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin das entspricht			1861 15,0%	1573 13,1%	1659 13,7%	1558 13,6%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft das entspricht			6840 55,1%	6776 56,6%	6771 55,9%	6405 55,9%
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden) das entspricht			514 4,1%	580 4,8%	557 4,6%	546 4,8%

1) ab 1995 neue Abfrage

Tabelle 2 Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 1997 und 1998

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von radioaktiven Stoffen		Von Spalte 2 entfallen auf:								Von Spalten 3-6 entfallen auf Verwender von ausschließlich umschlossenen radioaktiven Stoffen:								Sonstige	
			Medizin einschließlich med. Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbl. Wirtschaft		Sonstige		Medizin einschließlich med. Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbl. Wirtschaft		In Spalte 9 enthalten: zerstörungsfreie, ortsveränderliche Werkstoffprüfung			
1	2		3		4		6		6		7		8		9		10		11	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Baden-Württemberg	1824	1814	433	481	409	285	972	1025	10	23	98	99	66	60	779	796	22	29	5	13
Bayern	1721	1742	376	382	188	195	1059	1074	98	91	28	34	55	59	993	999	20	16	79	72
Berlin	950	971	404	413	372	380	174	178	0	0	85	103	15	16	122	223	84	12	0	0
Brandenburg	233	255	33	34	19	23	167	181	14	17	4	5	6	6	126	142	12	12	6	7
Bremen	96	119	18	28	6	6	71	73	1	12	0	10	1	5	42	48	4	2	1	7
Hamburg	303	309	63	66	31	32	188	190	21	21	6	3	12	14	142	140	8	9	11	14
Hessen	760	758	200	196	88	94	428	425	44	43	9	8	7	7	270	269	8	7	12	11
Mecklenburg-Vorpommern	242	250	74	77	34	35	126	130	8	8	12	17	5	5	106	107	8	7	2	1
Niedersachsen	1137	1051	239	234	134	123	746	663	18	31	58	81	43	51	646	588	27	32	12	14
Nordrhein-Westfalen	2545	1854	755	507	102	97	1636	1243	52	7	162	35	35	35	1116	985	54	46	7	2
Rheinland-Pfalz	574	551	216	194	31	23	249	266	78	68	2	10	15	16	200	196	8	8	5	7
Saarland	82	80	26	28	2	2	53	48	1	2	0	0	0	0	33	36	3	4	1	2
Sachsen	586	621	98	111	162	173	169	178	157	159	32	38	35	42	153	150	21	21	157	159
Sachsen-Anhalt	382	403	45	50	36	45	280	281	21	27	9	6	17	21	277	278	28	25	20	24
Schleswig-Holstein	436	436	119	119	34	34	256	256	27	27	13	13	4	4	219	19	8	7	11	11
Thüringen	243	243	28	28	11	11	197	194	7	10	6	6	3	2	148	154	10	10	3	2
Summe	12114	11457	3127	2948	1659	1558	6771	6405	557	546	524	468	319	343	5372	5130	325	247	332	346

Tabelle 3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 1997 und 1998 (§§ 15 und 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)	
1	2		3		4		5		6	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Baden-Württemberg	30	43	21	28	7	13	2	2	0	0
Bayern	55	40	31	17	19	18	4	5	1	0
Berlin	20	38	11	17	9	21	0	0	0	0
Brandenburg	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	10	10	4	4	3	3	2	2	1	1
Hessen	15	15	8	8	4	4	3	3	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	6	7	6	7	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	21	30	16	21	2	3	2	4	1	2
Nordrhein-Westfalen	58	53	45	42	8	6	4	5	1	0
Rheinland-Pfalz	6	13	5	12	1	1	0	0	0	0
Saarland	3	4	3	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	26	36	19	28	7	8	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	5	5	3	3	0	0	2	2	0	0
Schleswig-Holstein	10	13	10	13	0	0	0	0	0	0
Thüringen	5	6	5	6	0	0	0	0	0	0
Summe	277	320	194	217	60	77	19	23	4	3

Tabelle 4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen

	Umgang		Beförderung		Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen (§§ 15,16) ¹⁾		Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20) ¹⁾		Umgang nach § 9 AtG		Gesamtzahl	
	(§ 3) ¹⁾		(§ 8) ¹⁾									
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Baden-Württemberg	2638	2647	130	118	67	74	598	509	15	15	3448	3363
Bayern	1791	1829	66	63	60	47	641	725	19	19	2577	2683
Berlin	950	971	85	86	32	38	112	118	0	0	1179	1213
Brandenburg	276	285	17	15	5	5	25	27	0	0	323	332
Bremen	154	156	18	13	3	2	31	32	0	1	206	204
Hamburg	393	387	27	25	14	14	70	72	0	0	504	498
Hessen	1316	1313	17	16	33	35	312	308	7	7	1685	1679
Mecklenburg-Vorpommern	216	223	5	6	7	8	44	54	0	0	272	291
Niedersachsen	2889	2226	231	136	43	44	262	254	0	2	3425	2662
Nordrhein-Westfalen	7114	7300	403	423	121	144	684	546	17	17	8339	8430
Rheinland-Pfalz	594	575	37	37	9	11	113	106	0	0	753	729
Saarland	166	153	22	23	6	7	33	28	1	1	228	212
Sachsen	604	648	38	39	29	41	137	139	5	11	813	878
Sachsen-Anhalt	400	423	25	25	9	9	33	34	1	2	468	493
Schleswig-Holstein	774	773	31	29	12	15	170	169	0	0	987	986
Thüringen	295	305	10	9	8	10	17	20	1	1	331	345
Summe	20570	20214	1162	1063	458	504	3282	3141	66	76	25538	24998

1) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

**Tabelle 5 Übersicht über die 1997 und 1998 erteilten Genehmigungen
(§§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV, § 9 AtG)**

Land	Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)	
	1997	1998
Baden-Württemberg	396	432
Bayern	367	441
Berlin	338	146
Brandenburg	62	79
Bremen	50	52
Hamburg	246	258
Hessen	341	303
Mecklenburg-Vorpommern	62	41
Niedersachsen	356	441
Nordrhein-Westfalen	625	832
Rheinland-Pfalz	166	169
Saarland	76	78
Sachsen	246	254
Sachsen-Anhalt	183	177
Schleswig-Holstein	103	78
Thüringen	139	112
Summe	3756	3893

Tabelle 6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1998

BUNDESLAND	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:									Anzahl der bei den Prüfungen lt. Spalte 2 als undicht ermittelten Präparate	Von Spalte 12 entfallen auf:								
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonst. Nuklide		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonst. Nuklide
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Baden-Württemberg	1840	115	597	355	11	0	83	229	60	390	3	0	0	0	0	0	1	2	0	0
Bayern	2615	180	508	398	33	2	196	283	171	844	12	1	0	0	0	0	0	1	0	10 Ni-63
Berlin	421	54	126	163	4	0	6	29	12	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	589	63	13	368	2	0	4	60	42	37	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Bremen	91	24	9	13	1	0	0	29	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hamburg	175	35	57	17	0	0	5	28	5	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hessen	313	16	51	71	2	0	5	42	19	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	668	39	437	53	0	0	1	30	0	108	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	1714	241	203	447	42	1	96	207	93	384	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1 Ni-63
Nordrhein-Westfalen	2735	469	381	527	33	0	175	580	7	563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rheinland-Pfalz	375	17	106	67	7	0	31	111	1	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saarland	39	0	20	9	2	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sachsen	1633	281	149	763	7	0	5	204	102	122	5 ¹⁾									
Sachsen-Anhalt	667	38	8	473	0	0	1	40	59	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schleswig-Holstein	419	23	64	106	12	0	81	38	18	77	5	2	0	1	0	0	0	2	0	0
Thüringen	299	25	15	193	0	0	0	15	8	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	14593	1620	2744	4023	156	3	689	1928	605	2825	32	3	4	2	0	0	1	6	0	11

1) Keine Angabe der Radionuklide

3.2 Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen

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)

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)

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

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 wird, 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.

Aufgrund 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, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen solche Störstrahler nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen beruflich mit diesen Geräten umgehen.

3.3 Erhebung radioaktiver Reststoffe

Das BfS erhebt seit 1984 in jedem Jahr den Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen sowie den Bestand, Anfall, die Zwischenlagerung und den im Folgejahr zu erwartenden Anfall an konditionierten radioaktiven Abfällen.

Radioaktive Reststoffe fallen beim Betrieb von kerntechnischen Anlagen oder deren Stilllegung und Abbau sowie bei der Herstellung und Anwendung von Radioisotopen an. Soweit sie nicht schadlos verwertet werden können, müssen sie als radioaktive Abfälle geordnet und sicher beseitigt werden. Hierzu dient die Konditionierung (d. h. die Verarbeitung und/oder Verpackung) von Rohabfällen und Zwischenprodukten (d. h. vorbehandelten bzw. behandelten Rohabfällen). Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden grundsätzlich in

- vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle und
- wärmeentwickelnde Abfälle

eingeteilt. Zu den vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen zählen kontaminierte Metalle und Nichtmetalle, Filter und Filterhilfsmittel, leicht und schwer brennbare Stoffe, Kadaver, Chemieabwässer, Schlämme/Suspensionen, biologische Abwässer sowie Öle, Lösungsmittel und Emulsionen. Zu den wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen zählen das Spaltproduktkonzentrat, die Hülsen und Strukturteile und der Feedklärschlamm aus der Wiederaufarbeitung ausgedienter Brennelemente sowie die Brennelemente selbst, sofern sie nicht wiederaufgearbeitet, sondern als radioaktiver Abfall direkt endgelagert werden sollen.

Neben den Betriebsabfällen der Atomkraftwerke sind radioaktive Abfälle zu berücksichtigen, die in Anlagen zur Urananreicherung oder zur Brennelementherstellung anfallen. In Forschungszentren fallen radioaktive Abfälle beim Betrieb von Forschungsreaktoren wie auch bei der Durchführung von grundlagen- und/oder anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an. Radioaktive Abfälle, die bei Kleinverursachern wie Arztpraxen, Krankenhäusern, Universitäten, Forschungseinrichtungen und -instituten oder bei Firmen aus dem Bereich von Gewerbe und Industrie anfallen, werden an Landessammelstellen abgegeben und dort zwischengelagert. Neben den in Betrieb befindlichen kerntechnischen Einrichtungen sind eine Wiederaufarbeitungsanlage, mehrere Prototyp- und Leistungsreaktoren sowie verschiedene Anlagen der kerntechnischen Industrie abgeschaltet bzw. stillgelegt worden, die sich entweder in der Phase des sicheren Einschlusses befinden oder abgebaut und demontiert werden. Darüber hinaus fallen radioaktive Abfälle im Bereich der Bundeswehr und der pharmazeutischen Industrie an.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht über den Bestand radioaktiver Reststoffe am 31.12.1998 sowie angefallene und endgelagerte Gebindevolumina im Jahr 1998.

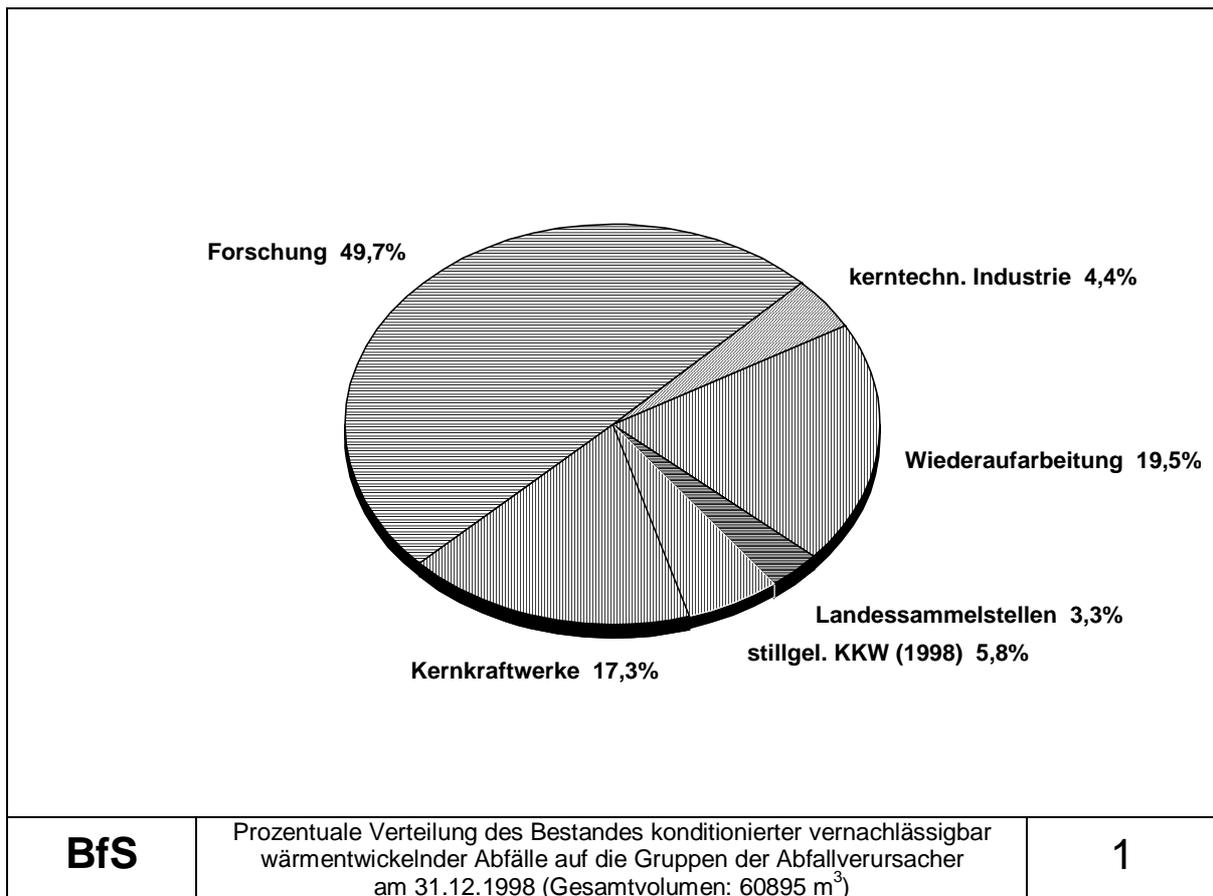
Tabelle 1 Übersicht über die Volumina radioaktiver Reststoffe, Angaben in m³ (ohne ausgediente Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren)

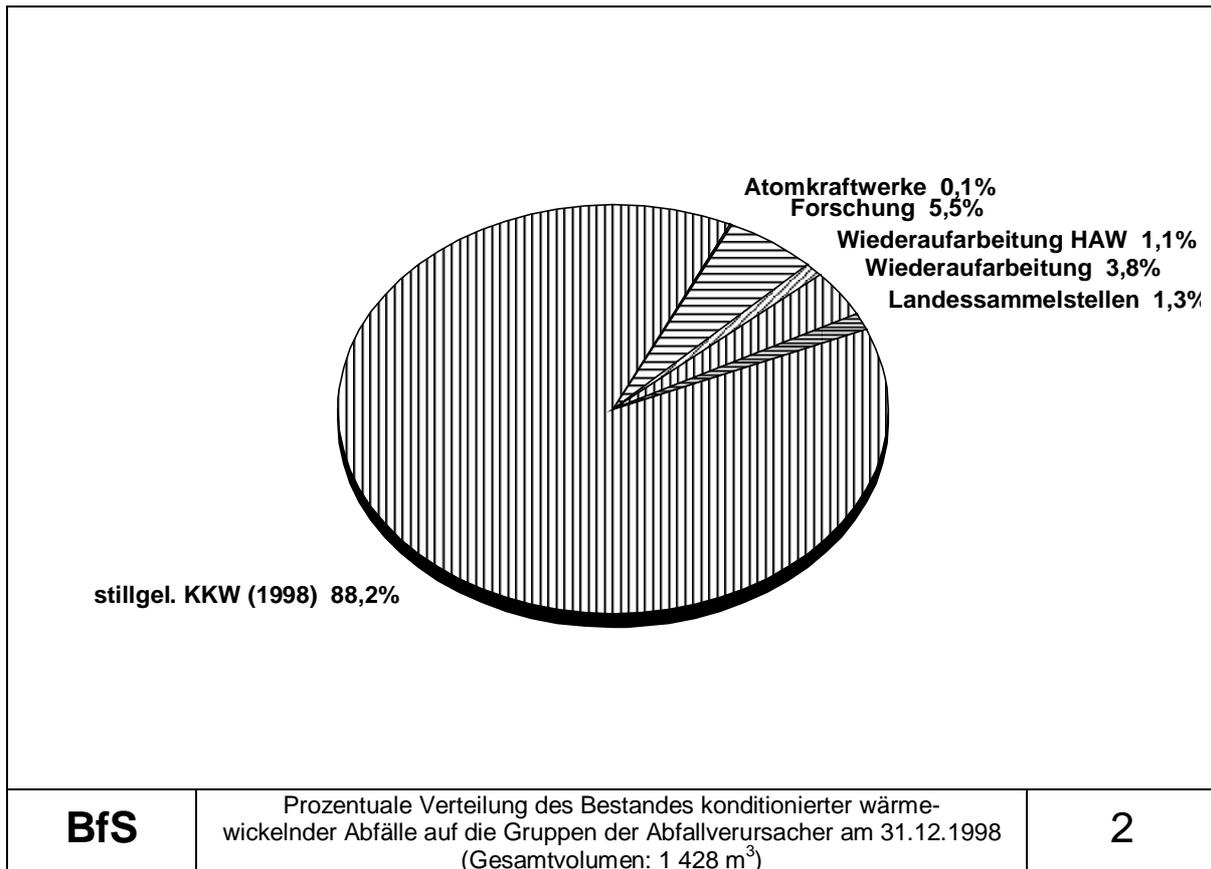
Reststoffart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) Bestand Ende 1998	33845	454
Zwischenprodukte Bestand Ende 1998	2550	-
Anfall 1998	1184	-
konditionierte Abfälle Bestand Ende 1998	60895	1428
Anfall 1998	6236	5
endgelagert (ERAM) 1998	6533	-

Am 31.12.1998 waren insgesamt 97290 m³ vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Reststoffe und 1882 m³ wärmeentwickelnde Reststoffe vorhanden.

Der Anfall konditionierter radioaktiver Abfälle im Jahr 1998 war etwas geringer als im Jahr 1997, jedoch weit höher als der bisherige durchschnittliche jährliche Anfall von ca. 4800 m³. Die Ablieferungspflichtigen hatten sich wieder verstärkt um eine Endlagerung ihrer Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) bemüht. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen hat sich gegenüber dem Vorjahr verringert. Es wurden mehr vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle im ERAM eingelagert als konditioniert. Seit dem 28. September 1998 werden im ERAM keine radioaktiven Abfälle mehr eingelagert.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Aufteilung des Bestandes auf die Gruppen der Abfallverursacher für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle sowie für wärmeentwickelnde Abfälle.





Da bis Anfang 1994 in Deutschland (alte Bundesländer) kein betriebsbereites Endlager zur Verfügung stand, mussten die endzulagernden radioaktiven Abfälle in betriebsinterne oder externe Zwischenlager verbracht werden. Die voraussichtliche Ausschöpfung der vorhandenen Zwischenlagerkapazitäten ist bei den einzelnen Abfallverursachern sehr unterschiedlich. Bei einigen ist ein baldiger Engpass zu erkennen. Aus der vorhandenen Zwischenlagerkapazität (ohne Berücksichtigung des Zwischenlagers Nord (ZLN) am Standort Lubmin) und dem Bestand an konditionierten Abfällen ergibt sich für Ende 1998 ein mittlerer integraler Gesamtausnutzungsgrad von 37 %. Darüber hinaus ist im ZLN ein Lagervolumen von ca. 200000 m³ vorhanden. Die Nutzung dieses Zwischenlagers beschränkt sich auf die Lagerung von Großkomponenten aus dem Abriss der Kernkraftwerke Greifswald und Rheinsberg. In den neuen Bundesländern wird es keinen Engpass bei der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle geben.

Für 1999 wurde von den Ablieferungspflichtigen ein Abfallgebundevolumen für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle von 6295 m³ prognostiziert.

Für Endlagerplanungsarbeiten ist es erforderlich, Prognosen über das zukünftige Abfallaufkommen zu erstellen. Dabei sind insbesondere die Nutzung der Kernenergie für die Stromerzeugung, die Brennelementherstellung und auch die Forschung von Bedeutung. Bei einer Betrachtung unterschiedlicher Betriebszeiten von Atomkraftwerken zwischen 25 und 50 Jahren wird bis zum Jahr 2080 ein kumuliertes Abfallgebundevolumen vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle von ca. 300000 bis 340000 m³ und ein kumuliertes Abfallgebundevolumen wärmeentwickelnder Abfälle (einschließlich ausgedienter Brennelemente) von ca. 27000 bis 48000 m³ abgeschätzt.

ANHANG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

1. ERLÄUTERUNG ZU DEN VERWENDETEN BEGRIFFEN

1.1 Strahlendosis und ihre Einheiten

Ionisierende Strahlung umfasst Teilchen- und Wellenstrahlung, die aufgrund ihres Energiegehalts beim Auftreffen auf Materie Elektronen aus den Atomhüllen herausschlagen kann und dadurch Ionen erzeugt. Zur quantitativen Beschreibung der Ursache einer Strahlenwirkung benutzt man den Begriff der Dosis. Da man diese Wirkung auf der atomaren, molekularen oder biologischen Ebene beschreiben kann, sind verschiedene Dosisbegriffe eingeführt worden.

Primär werden durch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie Ladungsträger (Ionen) erzeugt. Ein Maß für die erzeugte Ladung pro Masse ist die **Ionendosis**, die Einheit ist das Coulomb pro Kilogramm (C/kg). Eine alte Einheit dafür ist das Röntgen (R).

Die auf das Material übertragene Energie pro Masseneinheit wird als **Energiedosis** bezeichnet. Sie wird in der Einheit **Gray** (Gy) gemessen. 1 Gray ist die Energiedosis, die bei der Übertragung der Energie von 1 Joule auf eine Masse von 1 kg entsteht ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). Entsprechend ist die **Energiedosisleistung** eine Energiedosis pro Zeiteinheit und wird in Gray pro Sekunde 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

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

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 (Tab. 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

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 neue Definitionen von Dosisgrößen publiziert. Diese Empfehlungen fließen in die Rechtsetzung der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland sowie in Vorschriften und Normen ein.

1.4 Strahlenschutzmaßnahmen

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.

2. SI-EINHEITEN

2.1 Basiseinheiten

Die Basiseinheiten bilden ein System zusammenhängender Einheiten. Sie heißen nach den internationalen Empfehlungen SI-Einheiten (SI = Système International d'Unités).

Tabelle 1 Basiseinheiten

Einheiten	Kurzzeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampère	A	Stromstärke
Kelvin	K	Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

2.2 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

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

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

Phys. Größe	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

AMG	Arzneimittelgesetz
AtG	Atomgesetz
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift
BAnM	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
FM	Feuchtmasse
FFS	Fischereiforschungsschiff
FÜS	Nukleares Frühwarn- und Überwachungssystem
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
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 -

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 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr.20)
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 das Gesundheitseinrichtungen-Neuordnungsgesetz vom 24. Juni 1994 (BGBl. I S. 1416)
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 aufgrund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages vom 31. August 1990 in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag vom 23. September 1990 (BGBl. II S. 885, 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, anwesend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBI (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI (DDR) I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBI (DDR) 1990 Nr. 34)
9. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I, S. 114), zuletzt geändert durch VO vom 25. Juli 1996 (BGBl. I S. 1172)
10. Verordnung über den Schutz von Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl.1 S.1321, 1926), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. August 1997 (BGBl. 1 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 Deckungsvorsorge-Verordnung - AtDeckV) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
14. Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr. 20, S. 636)

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-StrahLe) 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, BAnz. Nr. 211a vom 9. November 1993
46. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Wasser, KTA-Regel 1504, BAnz Nr. 238a vom 20. Dezember 1994, Berichtigung BAnz. Nr. 216a vom 19. November 1996
47. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung gasförmiger, aerosolgebundener und flüssiger radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren, KTA-Regel Nr. 1507, BAnz. Nr. 1272a vom 15. September 1998
48. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)

49. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
50. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
51. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBI. 1982, S. 61)
52. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
53. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBI. 1983, S. 176)
54. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBI. 1989, S. 71)
55. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
56. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBI 2/90, S. 137)
57. 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

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	Silicium	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
		Xe-135	9,1 h	β^-, γ

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
54	Xenon	Xe-135m	15,3 min	R
		Xe-137	3,84 min	β^- , γ
		Xe-138	14,1 min	β^- , γ
55	Cäsium	Cs-134	2,06 a	β^- , γ
		Cs-137	30,2 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ
57	Lanthan	La-140	40,3 h	β^- , γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ
		Ce-144	285 d	β^- , γ
61	Promethium	Pm-147	2,6 a	β^- , γ
63	Europium	Eu-152	13,3 a	ϵ , β^+ , β^- , γ
		Eu-154	8,8 a	β^- , γ
64	Gadolinium	Gd-153	239 d	ϵ , R
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , R
81	Thallium	Tl-201	73 h	ϵ , R
82	Blei	Pb-210	22 a	β^-
		Pb-214	27 min	β^- , γ
83	Wismut	Bi-214	19,9 min	α
84	Polonium	Po-210	138 d	α
		Po-214	164 μ sec	α
		Po-218	3,05 min	α
		Po-219	3,96 sec	α , γ
86	Radon	Rn-220	55,6 sec	α
		Rn-222	3,8 d	α
		Rn-226	3,66 d	α , γ
88	Radium	Ra-224	3,66 d	α , γ
		Ra-226	1600 a	α , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
90	Thorium	Th-228	1,91 a	α , γ
		Th-230	$7,5 \times 10^4$ a	α
		Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ a	α
		Th-234	24,1 d	β^- , R
91	Protactinium	Pa-234	6,7 h	β^- , γ
92	Uran	U-233	$1,6 \times 10^5$ a	α
		U-234	$2,45 \times 10^5$ a	α
		U-235	$7,0 \times 10^8$ a	α , R
		U-238	$4,5 \times 10^9$ a	α
93	Neptunium	Np-239	2,35 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	α , R
		Pu-239	$2,4 \times 10^4$ a	α , R
		Pu-240	6563 a	α , R
		Pu-241	14,4 a	β^-
		Pu-244	80.000.000 a	α , R
95	Americium	Am-241	432 a	α , R
96	Curium	Cm-242	163 d	α , R
		Cm-244	18,1 a	α , R

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre

α = Helium-Kerne
 β^- = Elektronen
 β^+ = Positronen

ϵ = Elektroneneinfang
 γ = Gammastrahlung
R = Röntgenstrahlung

6. Messstellenverzeichnis

		05070	Chemisches Landes- und Staatliches Veterinäruntersuchungsamt, Nordrhein-Westfalen, Münster
01010	GKSS, Forschungszentrum GmbH, Abteilung Strahlenschutz, Geesthacht/-Tesperhude	05080	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Münster
01020	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Kiel	05091	Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Zentralabteilung Sicherheit und Strahlenschutz, Jülich
01051	Kernkraftwerk Krümmel, Informationszentrum, Geesthacht	05100	Staatliches Veterinäruntersuchungsamt, Detmold
01071	Kernkraftwerk Brunsbüttel, Informationszentrum, Brunsbüttel	05141	Kernkraftwerk Würgassen, Informationszentrum, Beverungen
01081	Kernkraftwerk Brokdorf, Informationsstelle, Brokdorf	05151	Kernkraftwerk Hamm-Uentrop, Kraftwerk Westfalen, Hamm
02010	Umweltbehörde der Freien und Hansestadt Hamburg, Amt für Umweltuntersuchungen, Hamburg	06010	Hessische Landesanstalt für Umwelt, Außenstelle Kassel - Dez IV/4 -, Kassel
02020	Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales der Freien und Hansestadt Hamburg, Hamburg	06020	Staatliches Medizinal-, Lebensmittel- und Veterinäruntersuchungsamt Südhessen, Wiesbaden
03010	Staatliches Lebensmitteluntersuchungsamt, Braunschweig	06040	Staatliches Medizinal-, Lebensmittel- und Veterinäruntersuchungsamt Mittelhessen, Gießen
03040	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hannover	06050	Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Darmstadt
03050	Staatliches Veterinäruntersuchungsamt Hannover, Hannover	06060	Hessische Landesanstalt für Umwelt, Außenstelle Darmstadt - Dez IV/4 -, Darmstadt
03060	Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Hildesheim	07010	Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, Mainz
03070	Landwirtschaftliche Umtersuchungs- und Forschungsanstalt der Landwirtschaftskammer Weser/Ems, Oldenburg	07020	Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
03080	Staatliches Lebensmitteluntersuchungsamt, Oldenburg	07030	Chemisches Untersuchungsamt, Speyer
03090	Staatliches Veterinäruntersuchungsamt für Fische und Fischwaren, Cuxhaven	07040	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Speyer
03151	Kernkraftwerk Stade, Bassenfleth	07050	Chemisches Untersuchungsamt, Trier
03171	Kernkraftwerk Grohnde, Emmerthal	07081	Kernkraftwerk Mühlheim-Kärlich, Informationszentrum, Mühlheim Kärlich
03191	Kernkraftwerk Emsland, Informationszentrum, Lingen	08010	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Immission-, Arbeits- und Strahlenschutz, Karlsruhe
04020	Universität Bremen, Landesmessstelle für Radioaktivität, Bremen	08020	Chemische Landesuntersuchungsanstalt, Stuttgart
05010	Staatliches Materialprüfungsamt des Landes Nordrhein-Westfalen, Dortmund	08041	Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hauptabteilung Sicherheit, Eggenstein-Leopoldshafen
05020	Landesumweltamt, Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf	08050	Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Augustenburg, Karlsruhe
05030	Landesamt für Arbeitsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf	08070	Chemische Landesuntersuchungsanstalt Offenburg, Außenstelle Freiburg, Freiburg

08101	Kernkraftwerk Obrigheim, Informationszentrum, Obrigheim	13010	Landesamt für Umwelt und Natur, Stralsund
08111	Gemeinschaftskraftwerk Neckar 1 + 2, Informationszentrum, Obrigheim	13020	Landes-Veterinär- und Lebensmitteluntersuchungsamt Rostock, Schwerin
08121	Kernkraftwerk Philippsburg 1 + 2, Informationszentrum Rheinschanzinsel, Philippsburg	14010	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Radebeul
09020	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, Kaulbachstraße	15010	Landesamt für Umweltschutz, Halle
09030	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, Lazarettstraße	15020	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
09040	Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Südbayern, Oberschleißheim	16010	Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena
09060	Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen, Nordbayern, Erlangen	16020	Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Gera
09070	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München	20040	Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg
09111	Technische Universität München, Institut für Radiochemie, Reaktorstation Gar- ching, Garching	20050	Bundesanstalt für Milchforschung, Institut für Chemie u, Physik, Kiel
09121	Kernkraftwerk Isar 1 + 2 GmbH, Informationszentrum, Essenbach	30011	Physikalisch Technische Bundesanstalt, Gruppe Radioaktivität, Braunschweig
09131	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld, Informationszentrum, Grafenrheinfeld		
09141	Kernkraftwerke Gundremmingen, Betriebsgesellschaft mbH, Gundrem- mingen		
09151	Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH, Kahl am Main		
09161	Siemens AG, UB KWU, Erlangen		
09171	Siemens AG, UB KWU, Informationszentrum Karlstein, Karlstein/Main		
10010	Staatliches Institut für Gesundheit und Umwelt, FB Strahlenschutz, Saarbrü- cken		
10030	Radioaktivitätsmessstelle der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar		
11010	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin		
11031	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin GmbH, Berlin		
12010	Landesumweltamt Brandenburg, Oranienburg		
12020	Landesumweltamt Brandenburg, Neuendorf am See		