



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung

Jahresbericht 1997



**Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht
1997**

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

Bonn, März 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	32
2.1 Radon in Gebäuden	32
2.2 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten	37
2.3 Terrestrische γ -Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden	40
2.4 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen	42
2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften	46
3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	48
3.1 Luft und Niederschlag	48
3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel	59
3.3 Gewässer	64
3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer	64
3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	79
3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)	97
3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser	97
3.4.2 Milch und Milchprodukte	99
3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer	102
3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung	109
3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe	118
3.5 Abwasser und Klärschlamm	119
3.6 Reststoffe und Abfälle	128
3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	131
3.8 Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	136
3.9 Kernwaffenversuche	137
Teil II RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAULANLAGEN	
1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTECHNISCHEN ANLAGEN	140
1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen	140
1.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft kerntechnischer Anlagen	145
1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen	153
1.4 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	155
1.4.1 Luft	155
1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch	158
1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer	166
1.4.4 Fische und Wasserpflanzen	173
1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser	175
1.4.6 Einzellebensmittel	177
1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen	181
2. RADIOAKTIVE STOFFE AUS URANBERGBAULANLAGEN	185
2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben	185
2.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung der Sanierungsbetriebe	186

2.3 Strahlenexposition durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben.....	190
Teil III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION	
1. PERSONENDOSISMESSUNGEN.....	192
1.1 Vorbemerkungen.....	192
1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen.....	192
1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen.....	196
1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern.....	197
1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung.....	203
2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG.....	204
3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSSE	206
Teil IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN	
1. RÖNTGENDIAGNOSTIK.....	216
2. STRAHLENTHERAPIE	222
3. NUKLEARMEDIZIN.....	223
4. HERZSCHRITTMACHER	224
5. MEDIZINISCHE FORSCHUNG	225
5.1 Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung.....	225
5.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patienten in der medizinischen Forschung.....	227
5.3 Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung.....	227
Teil V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN	
1. EIN- UND AUSFUHR RADIOAKTIVER STOFFE.....	232
1.1 Einleitung.....	232
1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren	232
1.3 Übersicht über Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe.....	234
1.4 Einfuhrstatistik.....	236
1.3 Ausfuhrstatistik.....	239
2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE	243
2.1 Übersicht über Transporte radioaktiver Stoffe	243
2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen	243
2.3 Besonders erwähneswerte Transporte	245
3. UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN	247
3.1 Allgemeine Angaben	247
3.2 Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen.....	254
3.3 Anfall radioaktiver Abfälle.....	256
ANHANG	275
1. ERLÄUTERUNG ZU DEN VERWENDETEN BEGRIFFEN	260
2. SI-EINHEITEN.....	263
3. LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	264
4. GESETZE, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN, EMPFEHLUNGEN, ERLÄUTERUNGEN UND SONSTIGE REGELUNGEN ZUM STRAHLENSCHUTZ	265
5. NUKLIDLISTE	269
6. MESSSTELLENVERZEICHNIS	272

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 1997 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 1997

		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. 1,5

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 5 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 Radonfolgeprodukt-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 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 Institut für Strahlenhygiene 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, insbesondere im Rahmen der Diagnostik von Entzündungsprozessen und Tumoren. In der klinischen Diagnostik

spielt die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als nuklearmedizinisches Verfahren eine wichtige Rolle.

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und aus dem Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die 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; sie sind wesentlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland. Gegenüber 1996 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 1997 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. 340 000) lag 1997 bei 0,24 Millisievert. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher auch 1997 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 1997 wurde erstmals seit 1959 kein Kernwaffenversuch 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 1997 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 Abklingabfällen sowie der Anfall und Bestand konditionierter radioaktiver Abfälle ermittelt.

Der Bestand endlagerfähiger radioaktiver Abfälle (mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung) betrug am 31. Dezember 1997 61 192 m³ (nicht wärmeentwickelnde Abfälle) bzw. 1 423 m³ (wärmeentwickelnde Abfälle). 1997 wurden davon 7 885 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 1997 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 1997 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 1997 lässt sich mit weniger als 2 Mikrosievert abschätzen.

SUMMARY

Since 1958, all data on environmental radioactivity from measurements performed by authorized laboratories are 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 on exposures due to

- natural radiation sources
- man-made changes in natural radioactivity
- medical application
- 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 of the population in the Federal Republic of Germany during the year 1997 is shown on 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 1997

		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. <u>2,4</u>
2.	Exposure from man-made radiation sources	
2.1	nuclear industrial facilities	< 0,01
2.2	use of radioactive substances and ionizing radiation in medicine	approx. 1,5 a)
2.3	use of radioactive substances and ionizing radiation in research, technology and 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. <u>1,5</u>

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

Natural radiation sources

Exposure from natural radiation sources consists of an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. An essential source of external radiation exposure represents both the cosmic and the 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, partially also by the intake of natural radioactive substances in drinking water and food. In total, natural radiation sources are contributing to the effective dose by 1 to 5 millisievert per year. The mean value is 2.4 millisievert, in particular from the exposure to radon in buildings. All individual contributions to the mean effective dose per year are listed in the before shown table.

Measurements performed during recent years have shown considerable regional differences 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 built 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 those radionuclides. National and international epidemiological studies are currently underway to further limit the risk to population health from increased exposures to radon daughters.

A mining related increased concentration of radon in air is seen only in the immediate vicinity of mining facilities; it decreases with the increasing distance from such facilities. Total measurements show the occurrence of above average radon concentrations in mining regions but, since such concentrations occur also in geological comparable regions, are assumed to be partly of natural origin. The discharge of uranium, radium and respective decay daughters into large drainage areas of the mining regions is not causing an appreciable change in the natural level of these radionuclides.

Medical application

The largest part of the mean effective population dose from man-made exposure sources is attributable to the use of ionizing radiation and radioactive substances in medicine. The dose attributable to medical radiation exposure is, roughly estimated, about 1.5 millisievert per year. Surveys started by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) on the exposure in diagnostic radiology, representing the by far largest contribution, have shown a considerable range of dose value dispersion for individual examinations by more than two orders of magnitude which is caused by the different conditions for each individual patient and the different technical standards. The value for the mean effective dose is expected to increase in future, regardless of the broad use of alternative examination techniques (ultrasonic, endoscopy, magnetic resonance tomography) on the one hand and increasingly successful quality assurance and control measures in diagnostic radiology, and also in nuclear medicine, on the other hand. This is the result of a survey indicating a further increase in the frequency of examinations, mainly of dose intensive examining techniques, such as computed tomography and angiography and including interventional and, therefore, therapeutic radiology. Such 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 for Radiation Hygiene, since 1991.

In radiotherapy, the use of newly developed irradiation techniques and improved irradiation planning enables the optimization of the required therapeutic dose to be administered to the treated body region (tumour dose) while simultaneously limiting the radiation exposure of the remaining part 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 radioactive labeled monoclonal antibodies, in particular within the framework of diagnosing inflammatory processes and tumors. In clinical diagnostics, an important role is played by a procedure in nuclear medicine, the Positron-Emissions-Tomography (PET).

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and from the Morsleben (ERAM) repository for low and medium 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 to § 45 of the Radiation Protection Regulation" of 21-2-1990 are clearly below the limits given in the Radiation Protection Regulation; these are essentially lower than the range of deviation 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 1995. The annual contribution to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany was below 0.01 millisievert also in 1997 (Table p. 11 - 2.1).

Handling of radioactive substances in research, technology and home environment

The use of ionizing 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 of individuals and the total population from mechanical devices is limited by the X-ray Ordinance and the Radiation Protection Regulation and kept as low as reasonably achievable. The mean contribution to the population exposure from handling 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. 340 000) controlled by dosimeters was about 0.24 millisievert in 1997. The contribution to the effective population dose from occupational exposure was less than 0.01 millisievert.

Nuclear weapons testing

In 1997, no subterranean nuclear weapon test was carried out. The long-lived radioactive substances detectable in the atmosphere and in foodstuffs mainly originate from the above ground nuclear weapons tests performed during the 1960ies. The radionuclides emitted during that time contributed in 1997 by 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) is conducting an annual survey of radioactive residuals and nuclear waste in the Federal Republic of Germany. In its process, an inventory is made of radioactive residuals, raw waste and decay waste and the accumulation and amount of conditioned radioactive waste is determined.

On 31 December 1997, the levels of radioactive wastes in a suitable state for long-term storage were 61.192 m³ for wastes with negligible heat generation and 1.423 m³ for heat generating wastes. From this total, 7.885 m³ of conditioned wastes with negligible heat generation were emplaced in the ERAM repository for radioactive wastes in 1997.

Radiological accidents and other particular events

Due to the strict regulations of the Radiological Protection Act, radiological emergencies requiring persons to handle ionizing radiation and radioactive substances are rare events. For 1997, 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. The radiation exposure resulting from this accident had further decreased in 1997; the mean effective dose from caesium-134 and caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus it is clearly below the percent dose from natural exposure and by about 90 % due to the external exposure of deposited caesium-137. The mean effective dose from the intake of radiocaesium in foodstuffs is estimated to have been less than 2 microsievert in 1997.

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 1997, et comparé à l'année précédente, 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 1997

		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 à l'extérieur	<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 Chernobyl	<0,015
	Chiffre total de l'exposition artificielle aux rayonnements	env. 1,5

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 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 naturelles radioactives avec l'eau potable et la nourriture. La contribution totale à la dose effective annuelle des sources naturelles de radiation est entre 1 et 5 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 matières 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 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. En diagnostique 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 1996. En 1997, 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 340 000) a été environ 0,24 mSv en 1997. 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 1997.

Essais d'explosions nucléaires

En 1996, deux essais d'explosions nucléaires souterrains ont été effectués en Chine et un essai en France. 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 1996, 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 1997, l'état de déchets radioactifs capables au stockage (avec développement à la chaleur négligeable) était 61.192 m³ (déchets non développant de la chaleur) ainsi que 1.774 m³ (déchets exothermiques). En 1997, 7.361 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 1997, voir tableau récapitulatif 1 (partie III 3).

Accident du réacteur de Chernobyl

Après l'accident du réacteur dans la centrale nucléaire de Chernobyl en 1986, les chiffres de l'activité mesurés en République fédérale d'Allemagne, étaient documentés et évalués du point de vue de l'hygiène radiologique. En 1997, 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 1997, 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

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. 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.

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 Routinemessprogramms 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
Umweltbundesamt , Berlin	Luft-Messung
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
Bundesforschungsanstalt für Ernährung , Zen- trallaboratorium für Isotopentechnik, Karlsruhe	Einzel Lebensmittel, Gesamt- und Babynahrung
Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich Strahlenschutz, Berlin	Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffe und Abfälle
Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg	Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt
Institut für Atmosphärische Radioaktivität, Freiburg	Umweltradioaktivität, Strahlenexposition der Bevölke- rung Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe
Fachbereich Strahlenschutz, Außenstelle Neuherberg	γ -Ortsdosisleistung Spurenanalyse Zusammenfassung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag
Fachbereich Strahlenschutz, Berlin	Abluftüberwachung kerntechnischer Anlagen Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen

1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich für 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, die größer als das Alter der Erde sind. 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 Halbwertszeit von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Uran-235** mit einer Halbwertszeit von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Thorium-232** mit einer Halbwertszeit 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 kosmische Strahlung erzeugt und in der hohen Atmosphäre nachgebildet werden, wie z. B. **Tritium** (Halbwertszeit 12,3 Jahre), **Beryllium-7** (Halbwertszeit 53,3 Tage), **Kohlenstoff-14** (Halbwertszeit 5 730 Jahre) und **Natrium-22** (Halbwertszeit 2,6 Jahre).

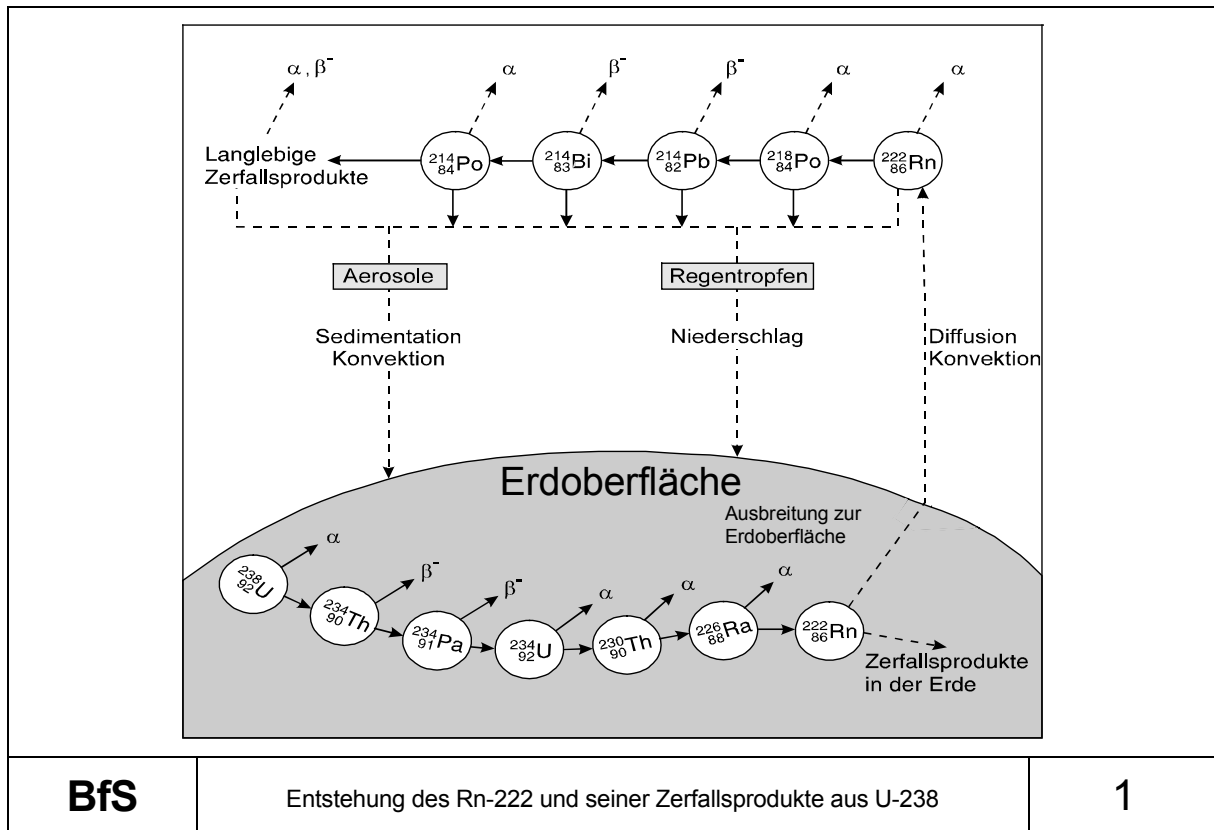
Überall dort, wo Uran und Thorium im Erdboden vorhanden sind, entstehen als radioaktives Zerfallsprodukt Isotope des Edelgases Radon, die besonders mobil sind.

Aus U-238 entsteht über das **Radium-226** das **Radon-222**; (Halbwertszeit 3,8 Tage); aus Th-232 über die Zwischenprodukte **Radium-228** und **Radium-224** das **Radon-220**; (Halbwertszeit 55,6 Sekunden) und aus dem U-235 das **Radon-219** (Halbwertszeit 3,96 Sekunden).

Aufgrund der größeren Halbwertszeit sind im Normalfall das Rn-222 und hierbei seine kurzlebigen Zerfallsprodukte (Po-218, Pb-214, Bi-214 und Po-214) für die Strahlenexposition von besonderer Bedeutung.

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

Für die Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe in den verschiedenen Bereichen der Umwelt wurden große Wertebereiche festgestellt.



1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. In Eruptivgesteinen ist die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher als in Sedimentgesteinen, wobei einige Schieferarten und Phosphatgesteine eine Ausnahme bilden. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z.B. durch unterschiedliche Auslaugbarkeit der Radionuklide bei der Bodenbildung gestört werden.

Die Tabelle 1 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität für einige Gesteins- und 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 Urangehaltes 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 Gesteins- und Bodenarten
Messwerte in Bq/kg Trockensubstanz

Gesteinsart, Bodenart	K-40	Th-232	U-238
Granit	1000	80	60
Basalt	250	10	10
Kalkstein	90	7	30
Sandstein	350	10	20
Tonschiefer	700	50	40
Grauerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

Tabelle 2 Spezifische Aktivität von Ra-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 Bergbaugesamt	21 - 170

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

Im Rahmen von Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben wurden für Oberflächenwasser (einschließlich Meerwasser) insbesondere aber für Grund- und Quellwasser, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen zum Gehalt natürlicher Radionuklide vom 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 Trinkwasser in Tabelle 3 und für Grundwasser und Sedimente in Tabelle 4 gegeben.

Es sei darauf hingewiesen, dass die angegebenen Wertebereiche sich auf das Messprogramm beziehen, also höhere und niedrigere Messwerte bei einer Ausdehnung des Messprogramms denkbar wären. 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
U-238	5	0,5 - 600
Ra-226	4	0,5 - 300
Ra-226 (Mineralwasser)	25	4 - 1300
Rn-222 *)	5 900	200 - 1 500 000
Pb-210	1	0,2 - 200
Po-210	0,5	0,1 - 100
K-40	70	3 - 1 200
K-40 (Mineralwasser)	660	30 - 10 000

*) Rn-222 einschließlich kurzlebige Zerfallsprodukte

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

Gewässer	Radionuklid	Bereich
Grundwasser	H-3	< 40 - 400 f)
	K-40	11 - 15000
	U-238	1 - 200
	Ra-226	<4 - 400
	Rn-222 und kurzleb. Folgeprodukte	2000 - 1500000
	Th-232	0,4 - 70
Oberflächenwasser	H-3	20 - 100
	K-40	40 - 2000
	U-238	< 2 - 40
	Ra-226	< 2 - 30
	Rn-222 u. kurzleb.Folgeprodukte	400 c)
	Pb-210	(<400 - 2000)
	Th-232	2 - 70
	Ra-228	0,04 - 0,4
Meerwasser der Nord- und Ostsee a)	H-3	< 1 - 10
	Be-7	20 - 100 e)
	C-14	1,1 - 3,4
	Si-32	5,5 - 6,7
	K-40	0,0002 - 0,033
	Rb-87	11800 - 12300
	U-238	106
	Th-234	40 - 44
	U-234	0,6 - 6,8
	Th-230	47
	Ra-226	0,0025
	Pb-210	0,8 - 8
	Po-210	0,4 - 2
	Th-232	0,6 - 1,9
	Ra-228	0,0004 - 0,029
	Th-228	0,8 - 8
U-235	0,004 - 0,3	
Sediment (mBq/g) a) der Nord- und Ostsee	K-40	100 - 1000
	U-238	2,5 - 186
	Th-234	d)
	U-234	d)
	Th-230	d)
	Ra-226	20 - 80
	Pb-210	100 - 300 b)
	Po-210	100 - 300 b)
	Th-232	12 - 50

- a) Werte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie
b) Dieser Wert gilt für die rezenten Sedimente (oberste Sedimentschicht)
c) Geschätzter Mittelwert Bundesrepublik Deutschland
d) Weitgehend radioaktives Gleichgewicht mit U-238 wird in den Sedimenten der Nordsee angenommen
e) Diese Konzentrationen sind nur in ozeanischem Tiefenwasser ohne anthropogenem Einfluss zu bestimmen

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 Promille. Im Salz des Meeres sind auch natürliche Radionuklide enthalten, deren Konzentrationen nehmen in den Küstengewässern zum Teil proportional zum Salzgehalt ab oder werden auch durch hydrochemische Prozesse aus der Wassersäule abgereichert. Zu nennen sind hierbei vor allem K-40, Rb-87 sowie die Nuklide der Zerfallsreihen.

Meerwasser enthält eine relativ hohe U-238-Konzentration von etwa 3,3 µg/l (40 mBq/l). Die kosmogenen Nuklide Tritium und B-7 werden aus der Atmosphäre mit den Niederschlägen in das Meer eingetragen. Für eine Strahlenexposition des Menschen spielt der α-Strahler **Polonium-210** allerdings die größte Rolle, dabei dominiert der Expositionspfad „Verzehr von Meerestieren“.

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der Luft

In der bodennahen Luft befinden sich neben den kosmischen 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 μ Sv im Jahr.

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

U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	Th-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 deren Zerfallsprodukte in der Luft sind abhängig vom Radonpotential 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 durch die Zwischenräume nach über Tage. Da auch weniger lockeres Material häufig Spalten und Risse aufweist, durch die das Radon auch in die freie Luft gelangen kann, ist auch in Verwerfungszonen radiumhaltiger Gesteinsschichten, die relativ dicht unter die Erdoberfläche reichen, mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen. Aber auch das Wetter beeinflusst sehr 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 Mobilität des Radons im Boden dagegen erhöht, und im Frühjahr können bei Tauwetter die durch Frost und Schneedecke aufgestauten Radonmengen sogar in relativ kurzer Zeit freigesetzt werden und kurzzeitig hohe Radonkonzentrationen verursachen. Regen erhöht die Bodenfeuchte und setzt damit die Radonexhalation herab. 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. Während für den größten Teil der alten Bundesländer die mittlere Konzentration des natürlichen Rn-222 in der Luft im Bereich von 8 - 23 Bq/m³ liegt, werden in den südlichen Regionen der neuen Bundesländer 5 - 25 Bq/m³ gefunden. Bei Orten mit ungünstiger atmosphärischer Verdünnung und, beeinflusst durch Freisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften, können begrenzt auch höhere Konzentrationen auftreten (siehe Teil II Kapitel 2.2).

Tabelle 6 Radon in der bodennahen Luft

Radionuklid	Bemerkungen	Mittlere Konzentrationen (Bq/m ³)
Rn-222	alte Bundesländer regional lokal bis	8 - 23 bis 150 ¹⁾
Rn-222	neue Bundesländer südliche Regionen lokal	5 - 25 bis 430 ¹⁾
Rn-220	gesamtes Bundesgebiet geschätzter Mittelwert	0,15

¹⁾ Einzelwert

Erhebungsmessungen zur Ermittlung der Spannweite der Radonkonzentration in Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland ergaben, dass die Radonkonzentrationen einen Bereich von weniger als

20 Bq/m³ bis zu einigen Tausend Bq/m³ (arithmetischer Mittelwert ca. 50 Bq/m³, Medianwert ca. 40 Bq/m³) überdecken und in seltenen Fällen noch höhere Werte bis über 15 000 Bq/m³ erreichen können. In Bergbaugebieten Sachsens und Thüringens wurden, geologisch bedingt, häufiger überdurchschnittliche Radonkonzentrationen gefunden. Insgesamt wird der von der Strahlenschutzkommission (SSK) empfohlene Wert von 250 Bq/m³ im Jahresmittel als Obergrenze einer normalen natürlichen Konzentration in der Raumluft in maximal 1,5% - 2% der Wohnungen Deutschlands überschritten.

Diese Messungen zeigen weiterhin, dass nicht die Exhalation des Radons aus Baumaterialien, sondern vielmehr die Radonzufuhr aus dem Baugrund als wesentlichste Quelle für eine erhöhte Rn-222-Konzentration in den Häusern anzusehen ist. Auf die natürliche Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I 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 bzw. 11 µSv) 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 ^{*)}	K-40	U-238	Ra-226	Pb-210	Po-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

Radionuklid	Mittelwert	Bereich
U-238	0,011	0,005 - 0,016
Ra-226	0,011	0,005 - 0,017
Pb-210	0,118	0,034 - 0,186
Po-210	0,119	0,090 - 0,196
Th-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
H-3	20	Gesamtkörper
C-14	4000	Gesamtkörper
K-40	4400	Gesamtkörper
Rb-47	300	Gesamtkörper
U-238	1,1	Gesamtkörper
	0,4	Skelett
Ra-226	1,7	Gesamtkörper
	1,5	Skelett
Pb-210	14	Skelett
Po-210	12	Skelett
Th-232	0,2	Skelett
Th-228	0,4	Skelett
Ra-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 oder der oberflächennah anstehenden geologischen Formation abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der γ -Ortsdosisleistung im Freien 57 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: 17 - 460 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.

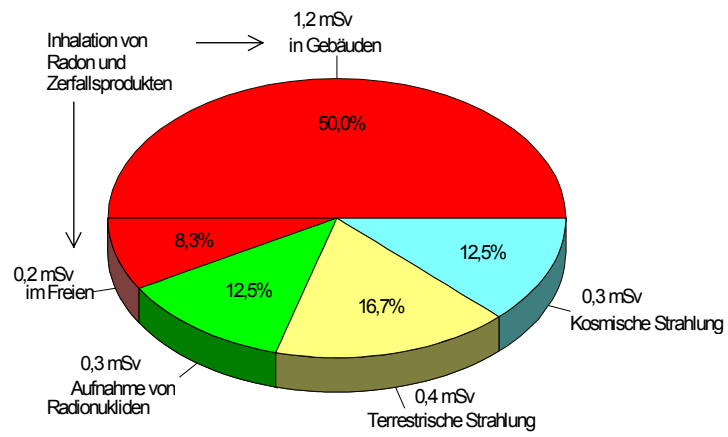
Wesentlich zur inneren Strahlenexposition trägt die Inhalation des Rn-222 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte bei. Das Radon selbst verursacht eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Den weitaus größten Beitrag (90-95 %) liefern seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die als Schwermetall-Atome und -Ionen an vorhandene Aerosole angelagert oder in freier Form beim Einatmen im Atemtrakt und der Lunge unterschiedlich stark 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 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 darüberliegende 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 Radon-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 unter Bezugnahme auf Jahresmittelwerte der Radonkonzentration festgestellt:

- 250 Bq/m³ gelten als oberes Ende des Normalbereiches der Radonkonzentration in Wohngebäuden Deutschlands. 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 Radonkonzentration.
- 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.

Aus umfangreichen Untersuchungen ergibt 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.

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 in ihrer Publikation Nr. 65, diese Regionen zu identifizieren und aus Gründen der Strahlenschutzvorsorge Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor erhöhten Expositionen durch Radon/Radonzerfallsprodukte in Gebäuden auf Schwerpunkte zu konzentrieren.

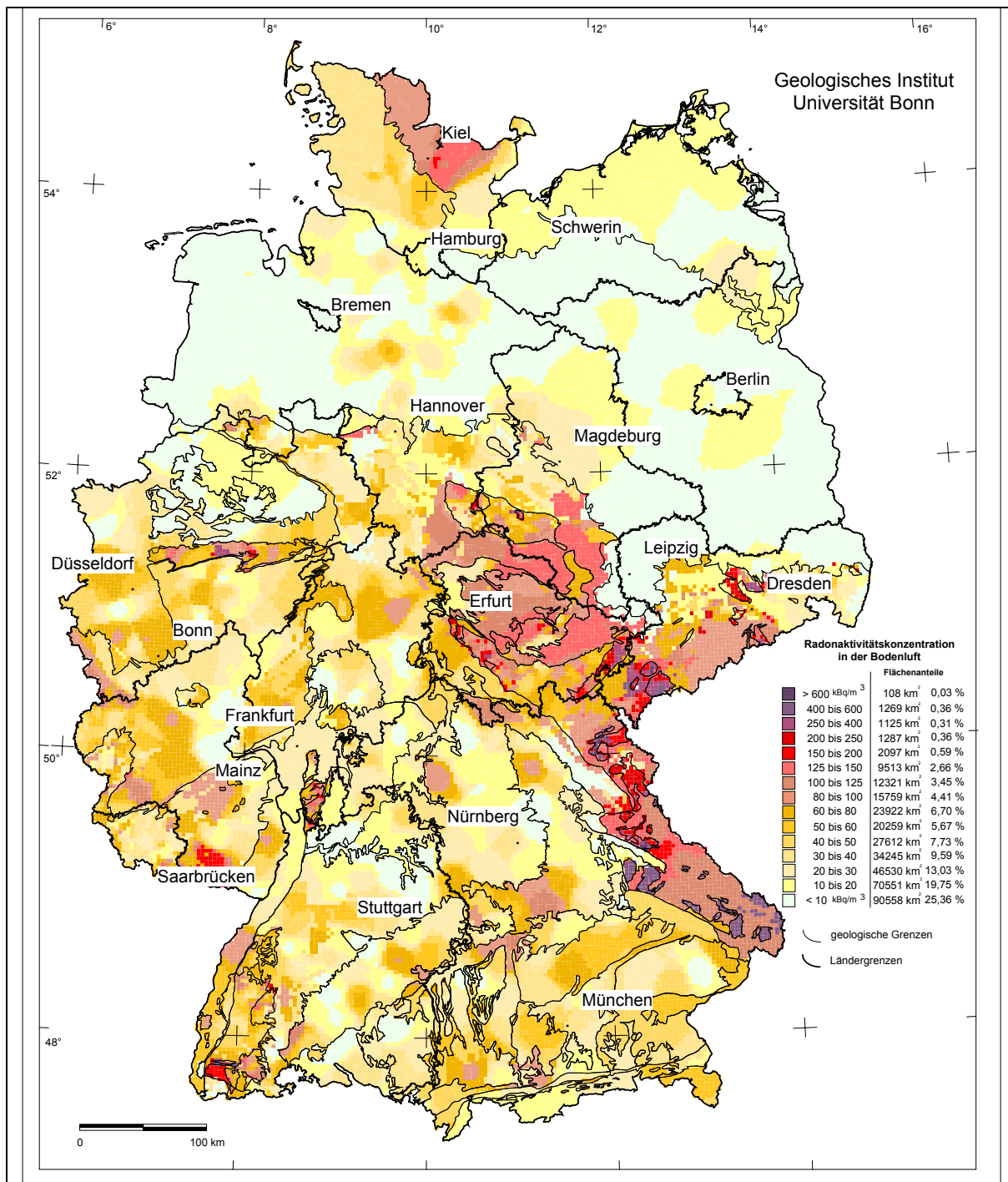
In Übereinstimmung mit der ICRP-Empfehlung empfiehlt die SSK: "... in der Bundesrepublik Deutschland solche Gebiete unter Beachtung sowohl der geologischen Gegebenheiten als auch der Ergebnisse von Radon-Messprogrammen in bestehenden Gebäuden schrittweise im Einzelnen festzulegen".

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.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die Identifikation von Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial und mit hohen Konzentrationen des Radons in Gebäuden ist ein Schwerpunkt der gegenwärtigen Arbeiten.

Im Rahmen eines vom BMU geförderten Forschungsvorhabens wurde ein Schema zur Klassifikation des geologisch bedingten Radonpotenzials erarbeitet. Die wesentlichen Bewertungsgrundlagen sind die Konzentration des Radons in der Bodenluft und die Gaspermeabilität des Bodens. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gibt Abbildung 1 eine orientierende Übersichtsübersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft.



Bfs

Übersichtskarte des geogenen Radonpotenzials in der Bundesrepublik
Deutschland

1

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

- Es gibt in Deutschland große zusammenhängende Gebiete, in denen bei der heute üblichen Bauweise keine Überschreitungen des Normalbereiches der Radonkonzentration zu erwarten sind.
- Geogen erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern, die bis einige Tausend Bq/m³ betragen können, treten vor allem in Gebieten auf, wo kieselsäurereiche Magmatite im Baugrund anstehen.
- Bergbauliche Hinterlassenschaften, insbesondere gebäudenah verlaufende bergmännische Auf-fahrungen, können zu extrem hohen Radonkonzentrationen in Häusern bis über 100 000 Bq/m³ führen. Eine Untersuchung und Bewertung der Bergbaugebiete ist deshalb von besonderem In-teresse.

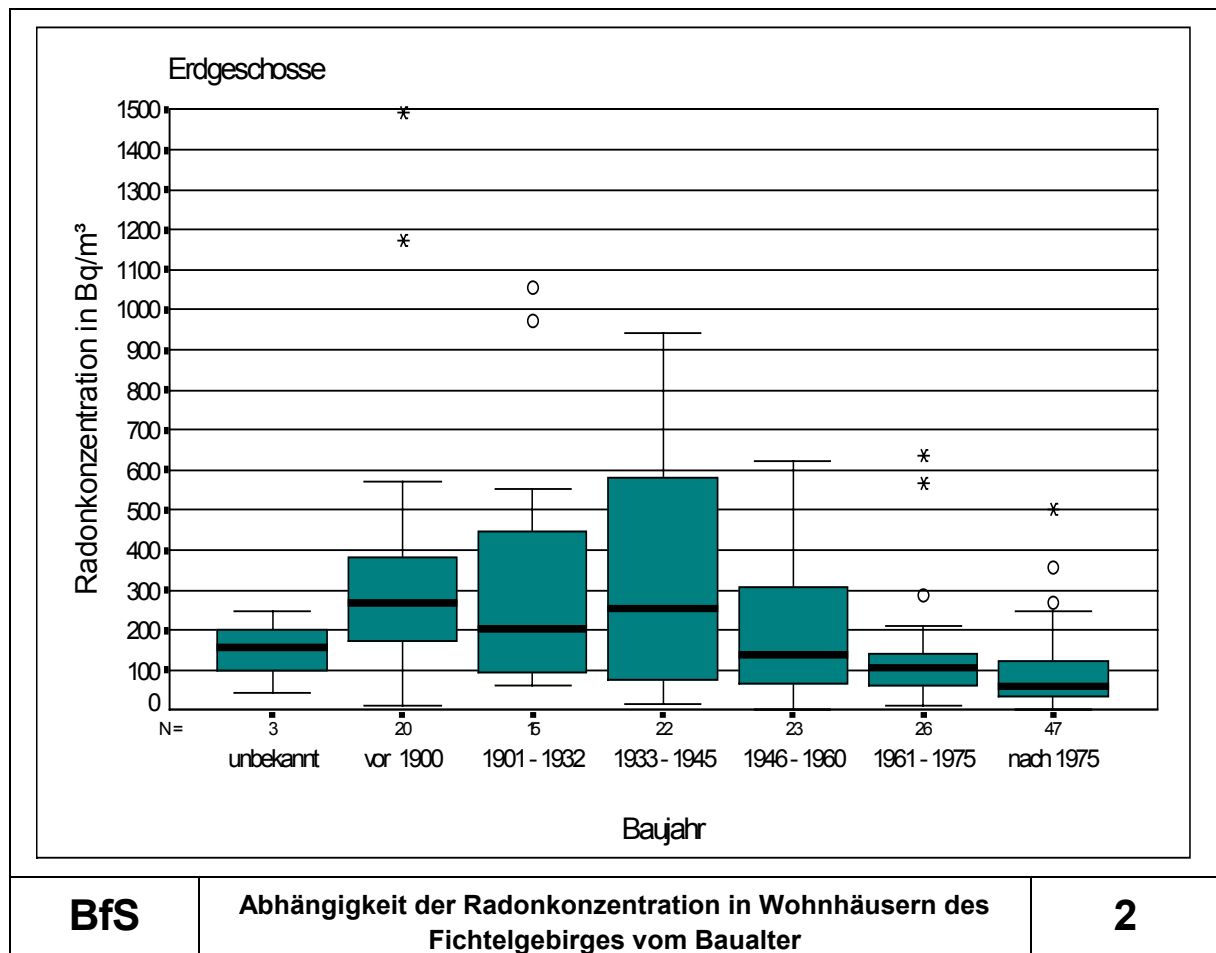
Von der Stadt Schneeberg, in der derartige Hinterlassenschaften des Bergbaus häufig Ursache sehr hoher Radon-Konzentrationen sind, wurde 1995 ein Projekt „Gezielte natürliche Bewetterung“ initiiert, das durch den Freistaat Sachsen gefördert wird. Dort werden durch bergmännische Arbeiten in dem große Teile des Stadtgebietes tangierenden Grubenbau geeignete Wetterwege geschaffen, um auf natürlichem Wege das Radon von unter Tage in die freie Atmosphäre abzuleiten und damit die Ursachen für sehr hohe Konzentrationen des Radons in Häusern ganzer Stadtareale zu beseitigen. Dieses Projekt trägt Modellcharakter für vergleichbare Situationen in anderen Bergbaugebieten.

Vom Geologischen Institut der Universität Bonn wurden detaillierte Untersuchungen des geogenen Radonpotenzials im Fichtelgebirge, einem Gebiet mit durchschnittlich hohem Radonpotenzial, durchgeführt. Parallel hierzu hat das Bundesamt für Strahlenschutz Messungen der Radonkonzentration in Wohnhäusern vorgenommen. Ziel dieser gemeinsamen Arbeiten war eine erste Quantifizierung der Abhängigkeit der Radonkonzentrationen in Gebäuden vom geogenen Radonpotenzial unter Berücksichtigung der Bausubstanz.

Diese Untersuchungen führten zu den in Tabelle 1 zusammengefassten Ergebnissen. Anhand von Abbildung 2 wird veranschaulicht, dass in Gebäuden jüngeren Baualters der Medianwert der Radonkonzentration deutlich unter dem in älteren Gebäuden liegt und dass die Variation 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.

Tabelle 1 Verhältnis der Radonkonzentration in Gebäuden zur Radonkonzentration in der Bodenluft

	Verhältnis der Radonkonzentration in Gebäuden zur Radonkonzentration in der Bodenluft	
	Mittelwert	Bereich
Keller	ca. 1 : 250	ca. 1 : 40 1 : 1800
Erdgeschoss	ca. 1 : 500	ca. 1 : 100 1 : 950



Gestützt auf Ergebnisse von Radonmessungen in Häusern über die Dauer von mehreren Monaten bis zu einem Jahr, die im Rahmen von zwei Untersuchungsprogrammen in Westdeutschland (1978 bis 1984) und in Ostdeutschland (1991 bis 1994) durchgeführt wurden und die Ergebnisse der Wohnraum und Gebäudezählungen 1987 und 1995 ergibt sich die in Tabelle 2 gezeigte bundeslandbezogene Verteilung der Radonkonzentration in Wohngebäuden.

Literatur

- [1] The International Commission on Radiological Protection: "Protection Against Radon-222 at Home and at Work", ICRP-Publication No. 65, First edition 1994
- [2] 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
- [3] Kemski, J.; Klingel, R.; Siehl, A.: St.Sch. 4062 "Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotenzials"

Tabelle 2 Schätzung der Radonkonzentration in Wohngebäuden aus Radonmessungen über die Dauer von mehreren Monaten bis zu einem Jahr in 5970 Wohnungen der alten Bundesländer und 1515 Wohnungen der neuen Bundesländer

Bundesland	Radonkonzentration											
	>50 Bq/m ³		>100 Bq/m ³		>200 Bq/m ³		>250 Bq/m ³		>400 Bq/m ³		>1000 Bq/m ³	
	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend	% Messwerte **	Anzahl Wohngebäude in Tausend
Baden-Württemberg	33,2	608	8,8	161	5,1	93	1,4	26	1,1	20	0,1	2
Bayern	34,7	770	7,4	164	2,8	62	0,9	20	0,8	18	>0,1 *	>2 *
Berlin	4,0	11	1,9	5	0,2	<1	0,1	<1	0		0	
Brandenburg	5,9	28	0		0		0		0		0	
Bremen	10,5	13	0		0		0		0		0	
Hamburg	13,9	29	2,3	5	0,5	1	0,2	<1	0		0	
Hessen	35,0	386	6,6	73	1,3	14	0,6	7	0,3	3	>0 *	>0 *
Mecklenburg-Vorpommern	30,7	90	7,8	23	> 0 *	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *	0	
Niedersachsen	24,2	382	4,6	73	0,7	11	0,4	6	0,1	2	0	
Nordrhein-Westfalen	23,4	697	3,1	92	0,5	15	0,3	9	0,1	3	>0 *	>0 *
Rheinland-Pfalz	56,1	496	11,2	99	1,8	16	0,9	8	0,3	3	0,2	2
Saarland	37,5	98	4,0	11	0,6	2	0,3	<1	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *
Sachsen	34,3	238	12,9	89	> 4,2 *	>29 *	>2,2 *	>15 *	>1,3 *	>9 *	>0,2 *	>1 *
Sachsen-Anhalt	18,5	93	3,6	18	1,1	6	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *
Schleswig-Holstein	28,5	164	5,5	32	0,5	3	0,1	0,6	>0 *	>0 *	0	
Thüringen	33,0	153	6,2	29	> 0,4 *	>2 *	>0,4 *	>1,8 *	>0 *	>0 *	>0 *	>0 *

* Basierend auf Kenntnissen durch spezielle Untersuchungsprogramme und der Radonkonzentration in Gebäuden abgeleitet aus Erfahrungen über die regionale Verteilung des Radonpotenzials im Untergrund ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen relativen Anteile über den aus den oben genannten Stichproben ermittelten Ergebnissen liegen.

** Messungen in Etagen oberhalb des Kellerbereiches

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 Union darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem 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 Baustoffe in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmageschiebe, insbesondere Granit, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

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

	Ra-226		Th-232		K-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)
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	

Fortsetzung Tabelle 1

	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert Bereich)	
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
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	
Schlämme	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1100	(1000 - 1200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		nicht gemessen		nicht gemessen	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)	nicht gemessen	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1000)

Fortsetzung Tabelle 1

	Ra-226		Th-232		K-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
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, ISDN-3-8041-4219-2
- [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 (ODL) in Gebäuden

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

Die von diesen Materialien ausgehende Strahlenexposition in Häusern ist auf Grund der Raumgeometrien ($> 2\pi$) durchschnittlich höher als sie bei gleichen Radionuklidkonzentrationen im Boden beim Aufenthalt im Freien wäre. Dieser Unterschied beträgt in Deutschland ca. 30 %.

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

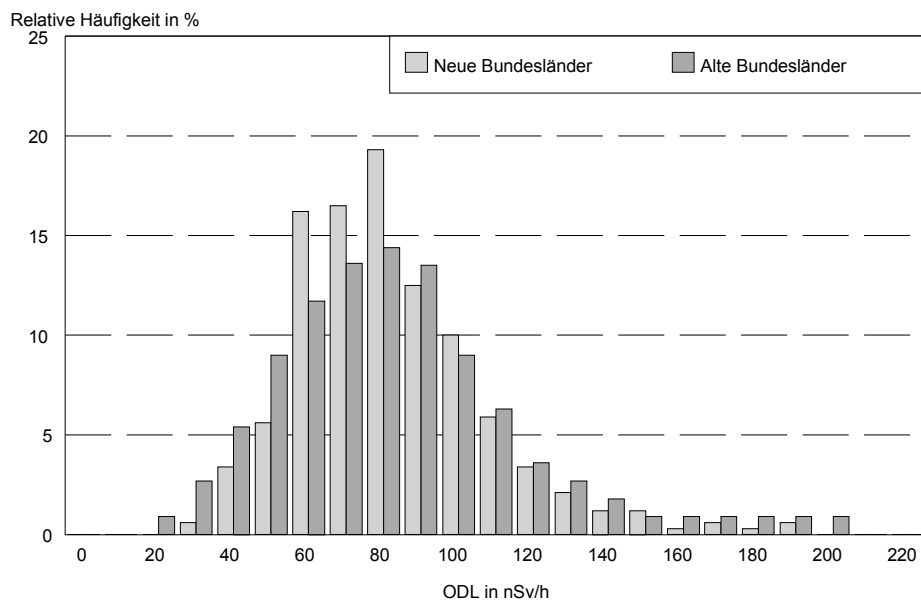
In Abbildung 1 ist die Häufigkeitsverteilung der ODL in den Wohnräumen der alten und neuen Bundesländer dargestellt. Der Mittelwert der terrestrischen ODL in Gebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h [1]. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der ODL in Räumen in Abhängigkeit vom Baumaterial der Außenwände [2].

Bei den allgemein üblichen Konzentrationen natürlicher Radionuklide in Baustoffen kann orientierenderweise von je 1/3 der Strahlenexposition durch K-40 und die γ -Strahler aus den oben angeführten Zerfallsreihen ausgegangen werden (siehe auch Teil I, 2.4).

Die Ursachen erhöhter ODL in Häusern sind in Deutschland meist höhere Konzentrationen von Radionukliden der Uran-/Radium-Zerfallsreihe. Überdurchschnittliche terrestrische Strahlenexpositionen in Häusern treten besonders in Gebieten auf, in denen zu Bauzwecken geeignete Materialien mit im Vergleich zu in Deutschland üblichen konventionellen Baustoffen höheren natürlichen Radionuklidkonzentrationen billig verfügbar waren. Dies sind insbesondere die Regionen des Bergbaus und der Bergbaufolgeindustrien. In Häusern aus Kupferschlackesteinen des Mansfelder Gebietes wurden bis über 600 nSv/h gemessen (siehe auch Teil I, 2.4).

Literatur

- [1] Will, W.; Lehmann, R.: Messungen der Exposition durch Gammastrahlung in Häusern der neuen Bundesländer. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1993.
- [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] Strahlenschutzkommission: Bewertung der Verwendung von Kupferschlacke aus dem Mansfelder Raum. Bekanntmachung vom 05.02.1992.

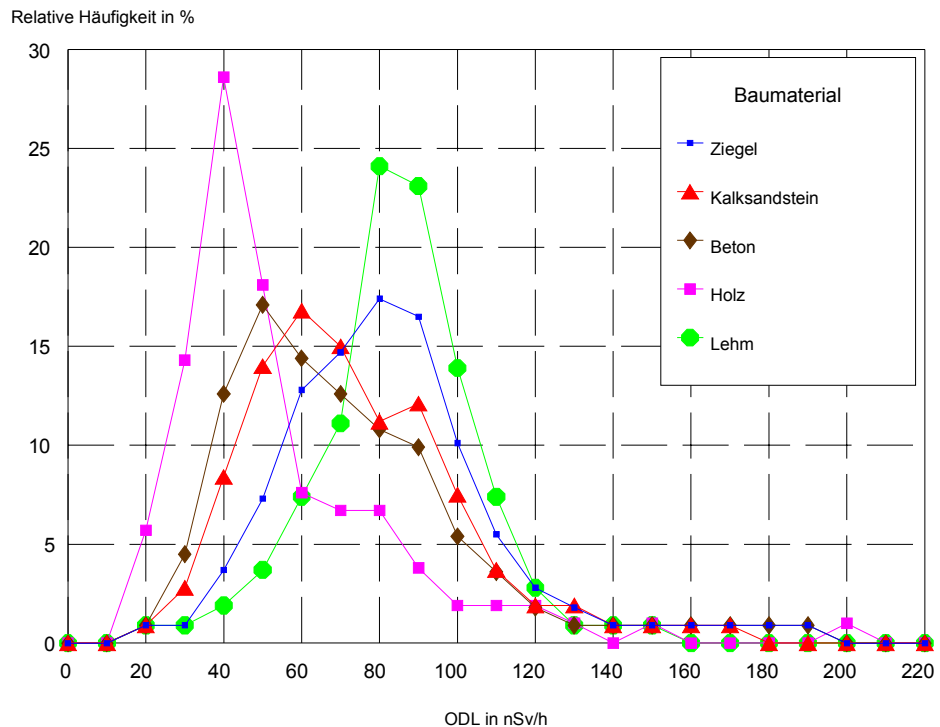


Untersuchungen 70er Jahre
Untersuchungen 1991-1993

Bfs

Häufigkeitsverteilung der terrestrischen γ -Ortsdosisleistung in Wohnräumen der Bundesrepublik Deutschland

1



Bfs

Terrestrische 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 Tätigkeiten bei Anwesenheit natürlich radioaktiver Stoffe zu zusätzlichen Strahlenexpositionen von Beschäftigten und zur Veränderung der Umweltradioaktivität führen.

Veränderungen der natürlichen Strahlenexposition durch zivilisatorische Einwirkungen treten u.a. in folgenden Bereichen auf:

- 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,
- bei Flügen in großen Höhen,
- beim Umgang mit thorierten Schweißelektroden,
- beim Umgang mit Thoriumglühstrümpfen,
- bei der Phosphatverarbeitung (Herstellung und Anwendung von Phosphatdüngemitteln),
- infolge der Verwendung industrieller Reststoffe als Baumaterial sowie
- infolge der Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung.

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 1997 bei 3,5 mSv pro Jahr.

Untertägige Bereiche und Anlagen außerhalb der Uranindustrie, Rohstoffgewinnung

In vielen Arbeitsbereichen des Nichturanerzbergbaus, der Bergsicherung, der Schauhöhlen und -bergwerke treten überdurchschnittlich hohe Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten auf (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 1997 3,7 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 Schwespat-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, mit effektiven Dosen von 1,3 bis 3 mSv pro Jahr, 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 der geologischen Formation 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 auf strahlenschutzrechtlicher Grundlage der DDR Strahlenschutzüberwachungen der dort Beschäftigten und Maßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition (Sanierungsmaßnahmen) durchgeführt. Die mittlere effektive Dosis der Beschäftigten konnte in diesen Betrieben von anfangs 18 mSv pro Jahr auf 4,2 mSv im Jahr 1997 gesenkt werden (siehe Teil III, 1.4). In einigen Wasserwerken des Fichtelgebirges, die nicht zum Geltungsbereich der oben erwähnten Strahlenschutzregelung gehören, hat der TÜV Bayern Sachsen Erhebungsmessungen durchgeführt, aus denen für die Hauptbeschäftigten 1993 höhere effektive Dosen pro Jahr abgeleitet wurden.

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 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 werden 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 μ Sv 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 μ Sv 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.

Von Nicholas, J. S. et al. (USA) wurden von 1993-1995 bei insgesamt 206 Inland- und internationalen Flügen mit unterschiedlichen Flugzeugtypen die wichtigsten Komponenten der kosmischen Strahlung in Flugzeugen gemessen. Die Berechnung der Äquivalentdosis für das Knochenmark und Knochengewebe des Flugpersonals ergab bei 960 Flugstunden im Jahr 0,2 bis 5,3 m Sv, wobei ungefähr 1/3 der Gesamtdosis auf die höherenergetischen Strahlungskomponenten, die Neutronen mit 30-37 %, die geladenen Pionen mit 1-2 % und die Protonen mit 19-21 % zur Gesamtexposition beitragen.

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 jedoch durch die Inhalation von Gasen und Stäuben, die Th-232 und seine Zerfallsprodukte enthalten, zu einer erhöhten Strahlenexposition kommen.

Realistische 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 durch den TÜV Bayern Sachsen 1993 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. Derzeit erfolgen Untersuchungen zu diesem Problem.

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 fünfzigfachen 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 Ra-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 Abfälle als Baumaterial

Haldenmaterial aus dem Erzbergbau

Das beim Uranerzbergbau 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 kann in der gleichen Größenordnung liegen. 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 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 inhomogener Radioaktivitätsverteilung hervorgebracht, der in Siedlungsnähe abgelagert, z.T. überbaut oder als Baumaterial benutzt wurde. Dies hat teilweise zu extremen Radonkonzentrationen, in Einzelfällen über 10 kBq/m³ in Gebäuden, geführt.

Untersuchungen zum Auffinden und gegebenenfalls Reduzieren dieser lokal erhöhten Strahlenexpositionen laufen derzeit.

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 nach der AVV zu § 45 der StrlSchV theoretisch ermittelte 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 Bauzuschlagsstoffe treten erhöhte Strahlenexpositionen beim Aufenthalt auf Flächen und in Gebäuden auf. Sie werden in Analogie zu dem zu Bauzwecken verwendeten Haldenmaterial (siehe oben) untersucht und gegebenenfalls reduziert.

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

Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

Eine zivilisatorisch erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung, 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, Maßnahmen sind nicht erforderlich.

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. Damit verfügen die Vollzugsbehörden über eine wichtige Informationsbasis, die Entscheidungen über Notwendigkeit und Umfang detaillierterer Standortuntersuchungen zur Vorbereitung von Freigaben oder Sanierungsmaßnahmen erleichtert.

In Fortsetzung der im Jahr 1993 begonnenen 3. Phase des Projektes wurden 1997 weitere Messprogramme in den Verdachtsflächen Mansfeld-Leimbach, Göhren-Döhlen, Suhl, Steinach und Lauter durchgeführt.

Dabei wurde der Untersuchungsumfang den Besonderheiten der Untersuchungsgebiete angepasst. Ziel der Messprogramme ist es, die Hinterlassenschaften zu identifizieren, für die zur Vorbereitung von Entscheidungen über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen standortspezifische Prüfungen vorgenommen werden sollten (relevante Objekte). Im Rahmen einer Erstbewertung wurden dazu bereits die Punkte und Flächen identifiziert, wo deutlich erhöhte Werte der γ -Ortsdosisleistung oder der Radionuklidkonzentrationen in einzelnen Umweltmedien festgestellt wurden. Die zuständigen Landesbehörden wurden über diese auffälligen Befunde 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.

Nach Abschluss der Messprogramme werden neben den relevanten Objekten von den normalen natürlichen Verhältnissen im Hinblick auf die Umweltradioaktivität abweichende Situationen in den Untersuchungsgebieten ausgewiesen. Die dafür verwendeten Kriterien orientieren sich an den Empfehlungen der SSK. Bei Anwendung dieser Kriterien sind für die überwiegende Anzahl der untersuchten Objekte weder Sanierungsmaßnahmen noch Nutzungseinschränkungen erforderlich. Diese Objekte konnten im Ergebnis der Messprogramme in die Gruppe der "radiologisch nicht relevanten Objekte" eingeordnet werden. 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 bereits 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 expositionsminimierende Maßnahmen (Sanierung, Nutzungsbeschränkung) einzuleiten sind.

Die Verdachtsflächen, die bereits im Rahmen von Messprogrammen untersucht worden sind, lassen im weitaus überwiegenden Teil keine von den normalen natürlichen Verhältnissen abweichenden Situationen erkennen.

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 1997 gegenüber denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen 1997 in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

In Abb. 1 ist der zeitliche Verlauf der Aktivitätskonzentration von **Cäsium-137** in der Luft am Probenahmeort Schauinsland (1200 m ü. NN) dargestellt. Die höchsten Werte für die Cs-137 Aktivitätskonzentration wurden, wie schon in den vergangenen Jahren, im Südosten der Bundesrepublik beobachtet. Dies ist auf den Wiedereintrag von nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl auf dem Boden abgelagerter Aktivität in die Atmosphäre zurückzuführen (Resuspension). Der Beitrag der künstlichen Radionuklide in der Luft zur Strahlenexposition ist vernachlässigbar.

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 100 mBq/m³, der mittlere Grundpegel bei 6 mBq/m³ Luft (vgl. Abb. 2).

Der leichte Anstieg des Grundpegels von **Krypton-85** hat sich im Jahr 1997 fortgesetzt (vgl. Abb. 3). Dies entspricht dem globalen Trend und 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. 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.

Der Beitrag von Kr-85 und Xe-133 zur Strahlenexposition ist vernachlässigbar.

In zwei Wochenproben wurden in Braunschweig (Probenahme und Messung: Physikalisch Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig) **Zirkon-95** und **Niob-95** nachgewiesen. Es handelt sich dabei um Aktivitätskonzentrationen im Bereich von 0,05 - 0,3 μ Bq/m³; als Quellen kommen aufgrund der meteorologischen Bedingungen Kernkraftwerke im Baltikum in Betracht.

In Quartalsproben wurden von der PTB Aktivitätskonzentrationen in Luft für die α -Strahler **Plutonium-238** sowie **Plutonium-239/240** bestimmt (aus messtechnischen Gründen können die beiden Nuklide Pu-239 und Pu-240 nicht unterschieden werden). Diese extrem niedrigen Aktivitätskonzentrationen im Nanobecquerelbereich gehen hauptsächlich auf oberirdische Kernwaffenversuche (bis 1980) zurück. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Für Pu-239/240 erkennt man seit Jahren einen langfristigen abnehmenden Trend. Allerdings gilt dies nicht für Pu-238.

Die Ergebnisse von Messungen der aerosolgetragenen γ -Strahlern an den Messstellen des DWD werden täglich an den Rechnerverbund IMIS weitergeleitet, so dass im Sinne des Strahlenschutzvorsorgegesetzes eine kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität der Atmosphäre gewährleistet ist.

Ergebnisse der Monatswerte für **Beryllium-7**, **Jod-131**, Cs-134 und Cs-137 in der bodennahen Luft für die Messstellen Aachen, Berlin, München, Offenbach und Schleswig zeigt Tabelle 1c.

Die Messwerte der langlebigen Gesamt- β -Aktivität in der Luft ergaben, gemittelt über 12 Messstellen, einen Wert von $<1,06 \text{ mBq/m}^3$ (1996: $<1,09 \text{ mBq/m}^3$) und liegen im Bereich der natürlichen Schwankungen.

Ebenso werden die Einzelnuklide im Niederschlag anhand von Monatssammelproben gemessen. Die Messwerte von Be-7, Cs-134 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig in Bq/m^2 finden sich in Tabelle 2b - c.

Beispielhaft sind die Messwerte von 1997 für die Radionuklide Be-7, Cs-134 und Cs-137 an der Messstelle Offenbach (Abbildung 5) und die Messwerte für Cs-137 an den Messstellen Offenbach und Berlin dargestellt (Abbildung 6).

Im Niederschlag wurde ein über alle Messstationen und deren Jahressummen gebildeter Mittelwert von 49 Bq/m^2 (1996: $48,7 \text{ Bq/m}^2$) ermittelt.

Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Niederschlag zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 1997 in Bq/m^2 .

Die stationsspezifischen Depositionen im Jahr 1997 als Jahressummenwerte in Bq/m^2 zeigt die Abbildung 8.

Für eine Auswahl von Messstellen wurden regelmäßig radiochemische Untersuchungen von Aerosol- und Niederschlagsproben zur Bestimmung von Radionukliden des Urans, Plutoniums und Strontiums durchgeführt. Es wurden dabei keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenzen registriert.

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. Typische Werte für Norddeutschland liegen zwischen 65 und 90 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,6 bzw. 0,8 mSv, während in den Mittelgebirgen Werte bis zu 200 nSv/h (Jahresdosis 1,8 mSv) beobachtet werden (vgl. Abbildung 9, Karte der mittleren γ -Ortsdosis im Jahr 1997). Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurückzuführenden Beiträge (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden an den Sondenstandorten mit in-situ Messfahrzeugen nuklidspezifisch ermittelt. Abb. 10 zeigt die Häufigkeitsverteilung von Einzelmessungen an den Sondenstandorten des BfS in den Jahren 1993-1997. Die Ergebnisse liegen im Durchschnitt bei 4 nGy/h. In einigen Gegenden Südbayerns kann dieser Wert heute noch bis zu 40 nGy/h erreichen. 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

Nuklid 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
Januar	3130	0,27	17,9	1,89	605
Februar	3130	0,32	6,0	0,33	223
März	3789	0,41	8,6	0,53	277
April	3932	0,39	10,0	1,19	201
Mai	3621	0,41	10,9	0,53	238
Juni	4742	0,60	10,0	0,50	255
Juli	4111	0,52	10,9	0,30	282
August	6255	0,68	20,1	0,80	641
September	3605	0,32	13,7	0,63	371
Oktober	2734	0,21	9,1	0,45	301
November	2360	0,18	8,6	0,89	608
Dezember	2618	0,20	6,2	0,73	460

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

Nuklid Zeitraum	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
Januar	1830	< 0,3	< 0,16	7	1160
Februar	3430	0,4	< 0,09	2,3	360
März	2940	0,4	< 0,09	1,8	320
April	4010	0,5	< 0,08	1,6	260
Mai	4130	0,5	< 0,09	1,9	340
Juni	3800	0,5	< 0,10	1,3	320
Juli	4320	0,5	< 0,10	1	310
August	4970	0,6	< 0,11	1,1	600
September	3980	0,4	< 0,09	1,4	570
Oktober	3000	< 0,2	< 0,09	1,4	430
November	2370	< 0,2	< 0,09	3,7	620
Dezember	2060	< 0,2	< 0,09	2,2	480

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

Zeit- raum	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
	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
Januar	3190	<3,4	2980	4,1	3250	<2,5	3260	<2,6
Februar	2880	<3,2	2730	<3,5	3440	<1,8	3410	<2,4
März	3530	<3,8	3490	<3,1	3830	<2,2	4090	<2,0
April	3650	<4,3	4970	<3,6	4020	<2,4	5350	<2,2
Mai	3110	<2,7	4320	<3,4	3780	<2,5	4000	<1,7
Juni	4580	<2,0	4450	<2,6	4480	<1,8	4110	<2,0
Juli	4190	<2,2	3990	<3,1	4360	<2,0	4300	<1,9
August	6140	<3,0	6270	<3,8	6720	<2,7	5930	<2,6
Sept.	2850	<4,0	4030	<4,3	3350	< 2,1	3920	<1,8
Oktober	1940	<3,5	2960	<3,7	2630	<2,2	3160	<1,9
Novemb.	1390	<3,3	2150	<3,0	2180	<2,2	2680	<2,5
Dezemb.	2970	<1,7	2170	<2,8	2980	<2,1	2320	<1,6

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

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

Nuklid Zeitraum	l/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
Januar	1,8	13	< 0,03	0,07	5,6
Februar	50,0	77	< 0,04	0,47	7,1
März	64,3	180	< 0,03	0,20	16
April	53,5	190	< 0,03	0,44	13
Mai	17,9	57	< 0,03	0,35	4,5
Juni	87,9	340	< 0,03	0,49	21
Juli	145,9	460	< 0,03	0,14	23
August	127,0	310	< 0,03	0,13	22
September	17,8	76	< 0,03	0,09	5,9
Oktober	76,8	140	< 0,04	0,12	7,2
November	23,2	49	< 0,03	0,18	5,3
Dezember	88,0	105	< 0,03	0,09	6,4

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

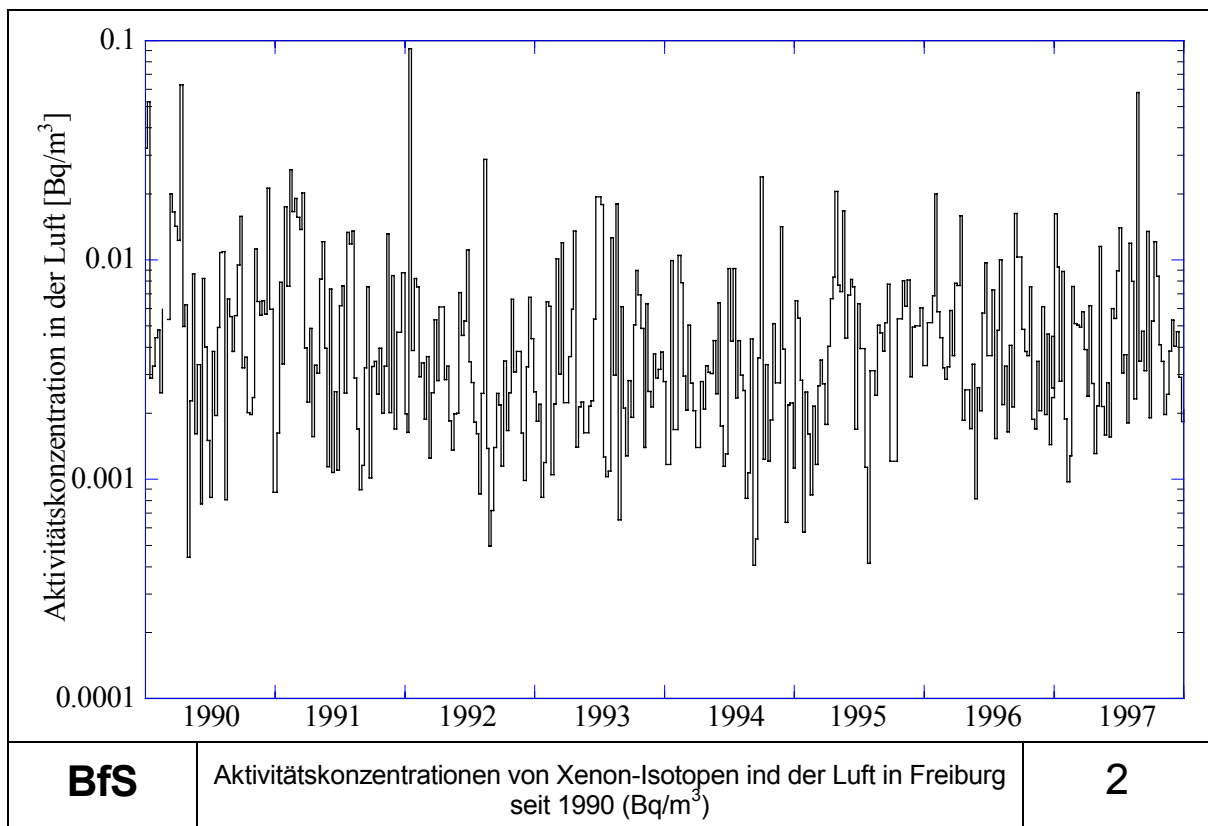
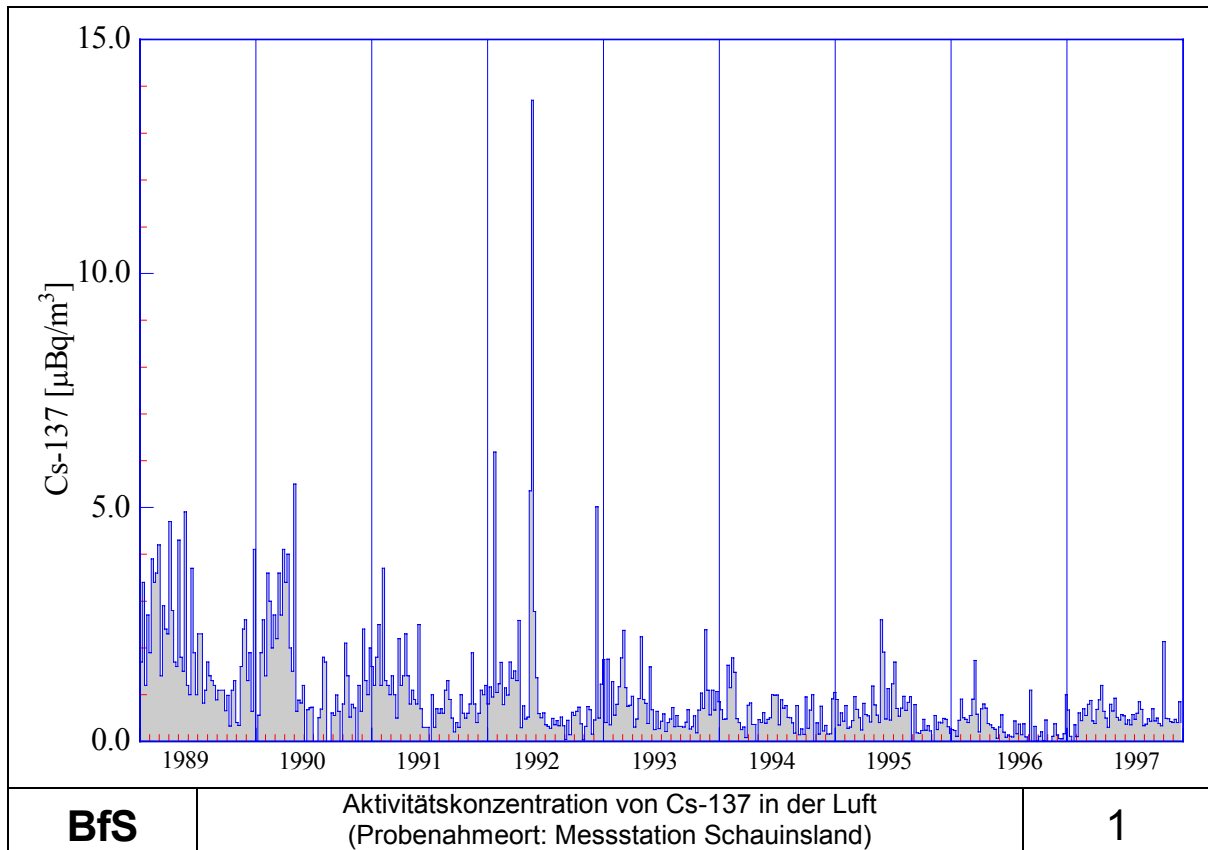
Nuklid Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Bq/m ²		l/m ²	Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1992	526,0	734	<0,95	591,9	899	<0,82
1993	597,0	831	<1,52	619,2	971	<0,76
1994	533,3	849	<0,61	703,6	991	<0,47
1995	607,3	1117	<0,84	925,8	1258	<0,83
1996	551,0	559	<0,42	462,9	629	<0,67
1997	436,2	580	<0,53	526,2	628	<1,25
Januar	14,1	23	<0,05	5,8	22	0,06
Februar	53,3	31	<0,04	67,4	99	< 0,07
März	22,7	49	<0,05	28,5	23	< 0,12
April	27,4	34	<0,04	42,6	64	0,21
Mai	47,8	88	0,05	83,3	77	0,12
Juni	60,4	76	0,04	47,5	46	< 0,11
Juli	41,2	71	<0,05	79,6	72	0,13
August	20,4	31	<0,05	37,6	27	< 0,08
September	19,7	27	<0,02	17,2	26	< 0,10
Oktober	43,2	34	<0,05	34,4	16	< 0,09
November	49,3	59	<0,04	15,5	22	0,06
Dezember	36,7	54	<0,04	66,8	134	< 0,11

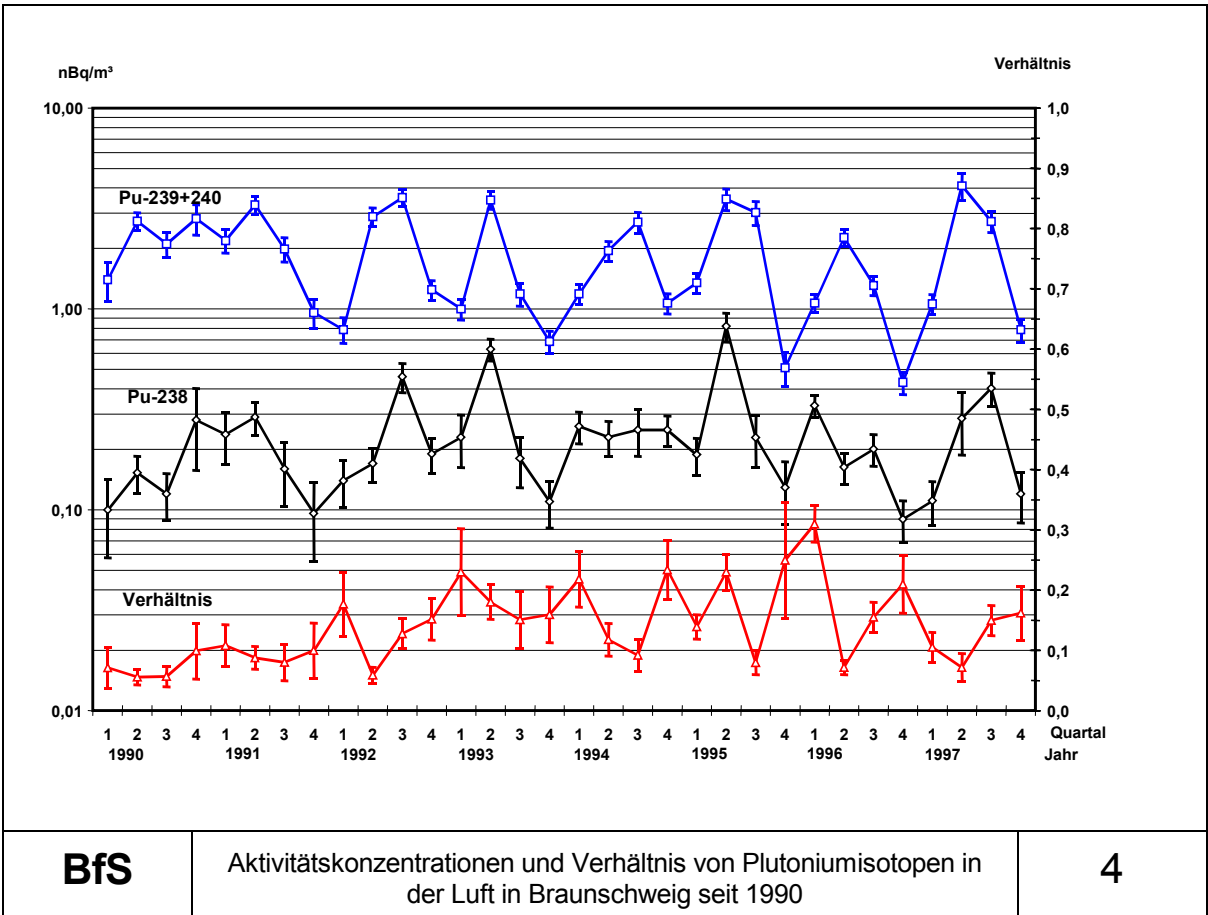
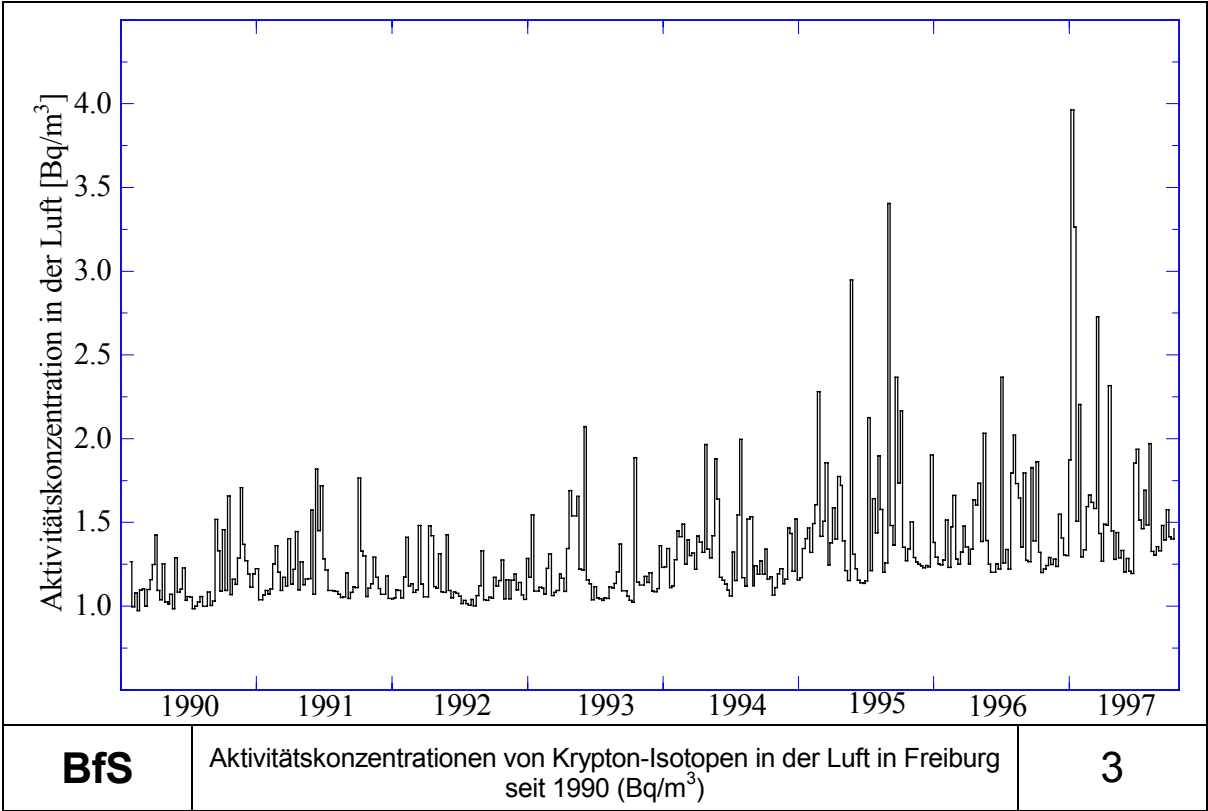
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

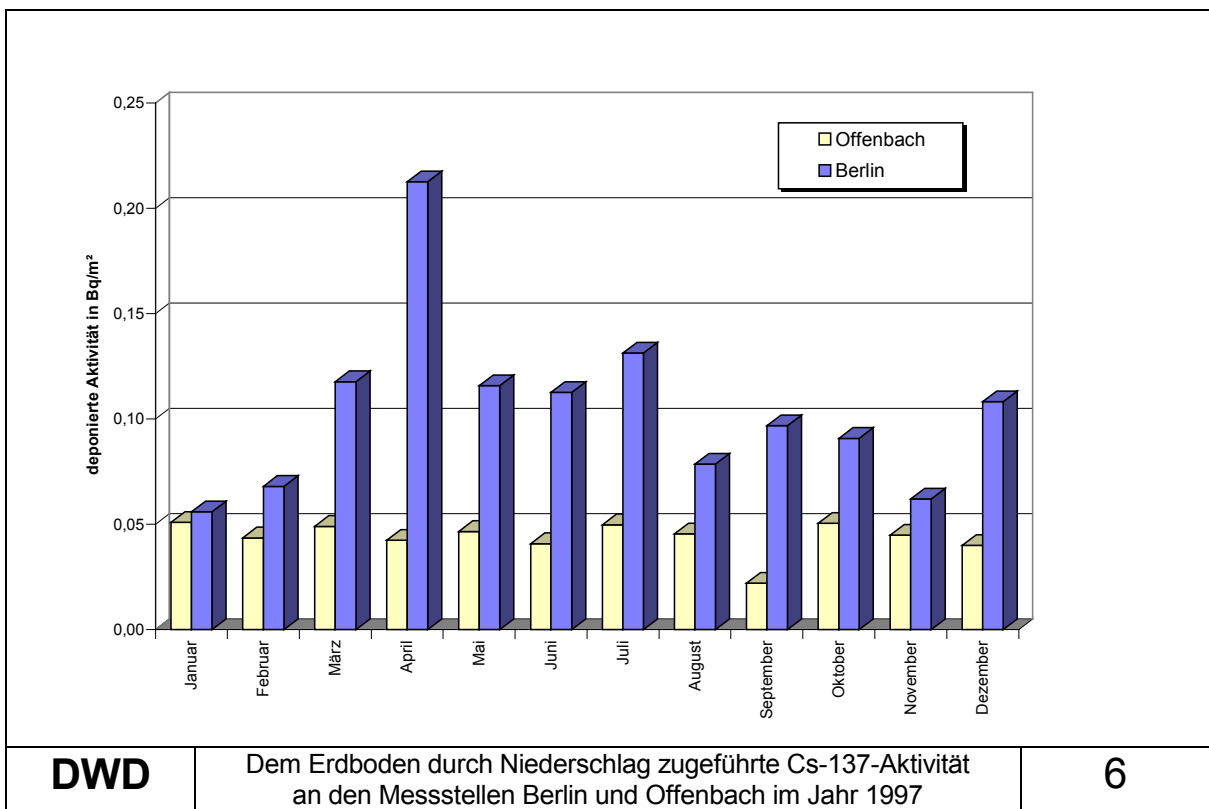
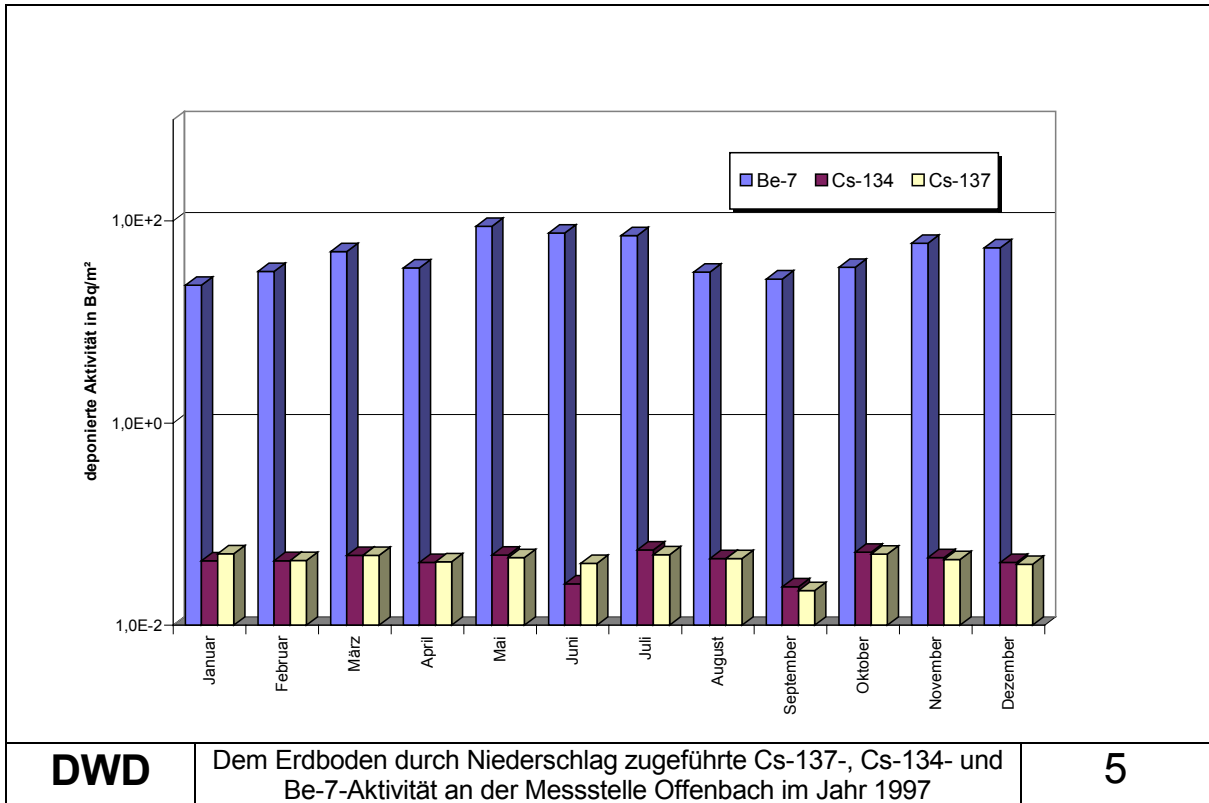
c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

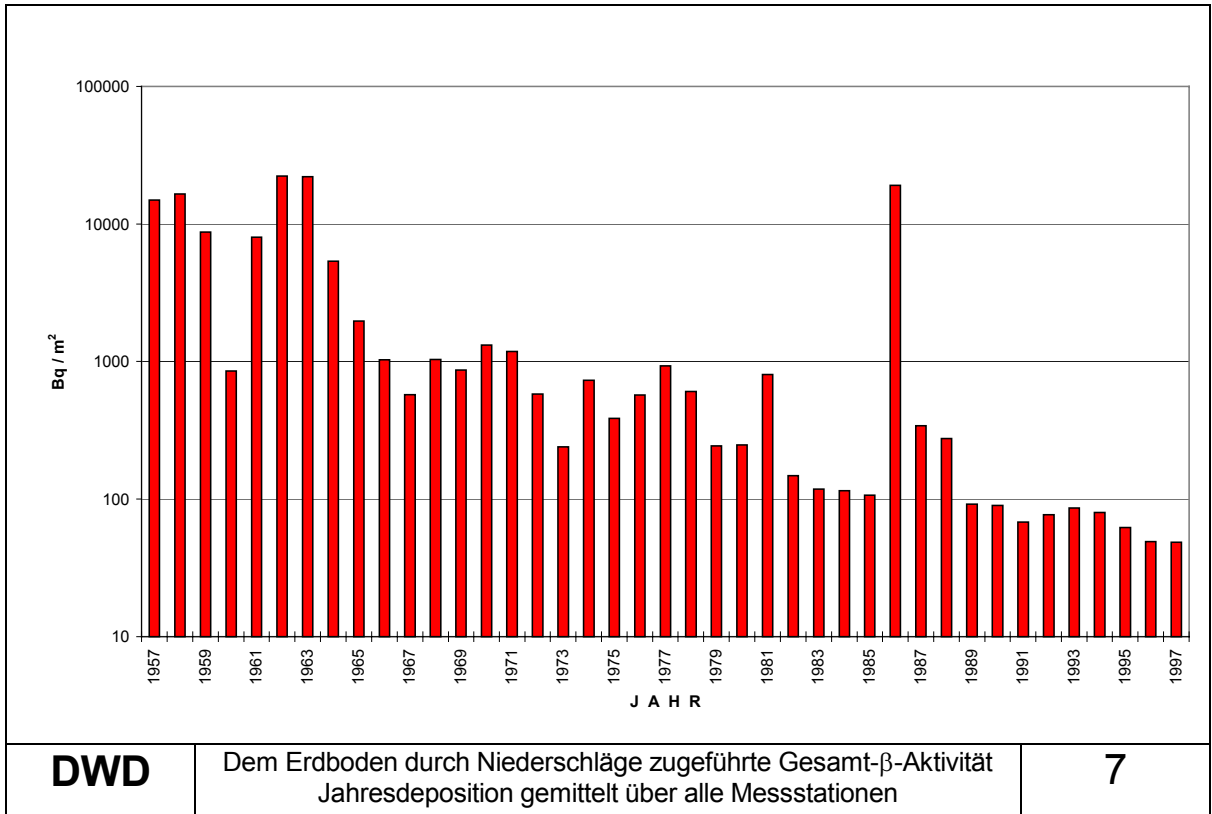
Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Bq/m ²		l/m ²	Bq/m ²	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1996	626,6	2080	0,03	530,6	611	<0,56
1997	658,1	904	<0,88	638,4	581,56	<0,79
Januar	3,6	19	<0,06	1,8	2,55	<0,02
Februar	81,7	98	<0,04	79,1	54,43	<0,05
März	33,5	49	<0,04	48,5	39,92	<0,09
April	58,5	99	<0,07	34,4	39,39	<0,11
Mai	66,9	144	<0,09	91,9	129,03	<0,06
Juni	92,5	104	<0,08	74,6	47,72	<0,09
Juli	67,2	82	<0,09	115,5	141,37	0,05
August	33,4	37	<0,08	45,1	19,35	<0,13
September	36,3	38	<0,12	41	13,86	<0,04
Oktober	65,1	76	<0,04	9	4,64	<0,01
November	39,1	52	<0,08	27,9	10,72	<0,05
Dezember	80,3	108	<0,08	69,6	78,58	<0,09

< : Messwert kleiner Nachweisgrenze





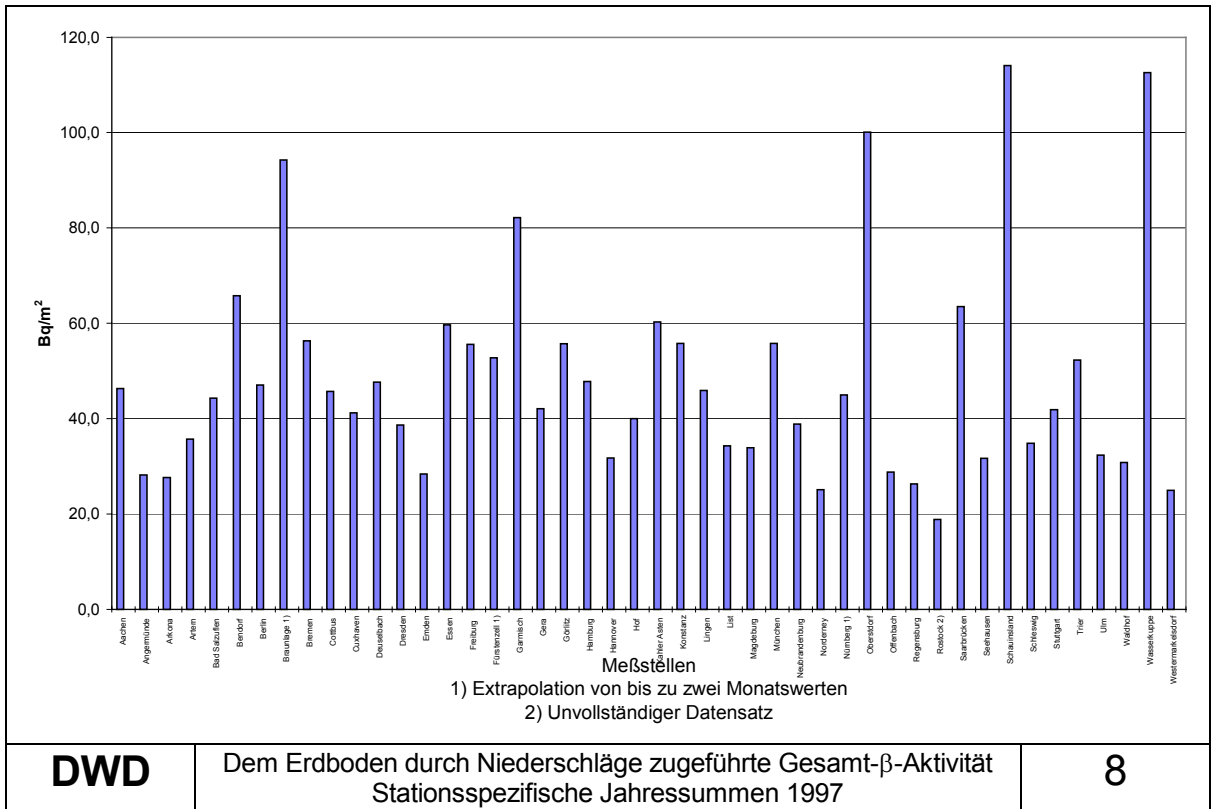




DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge zugeführte Gesamt-β-Aktivität
 Jahresdeposition gemittelt über alle Messstationen

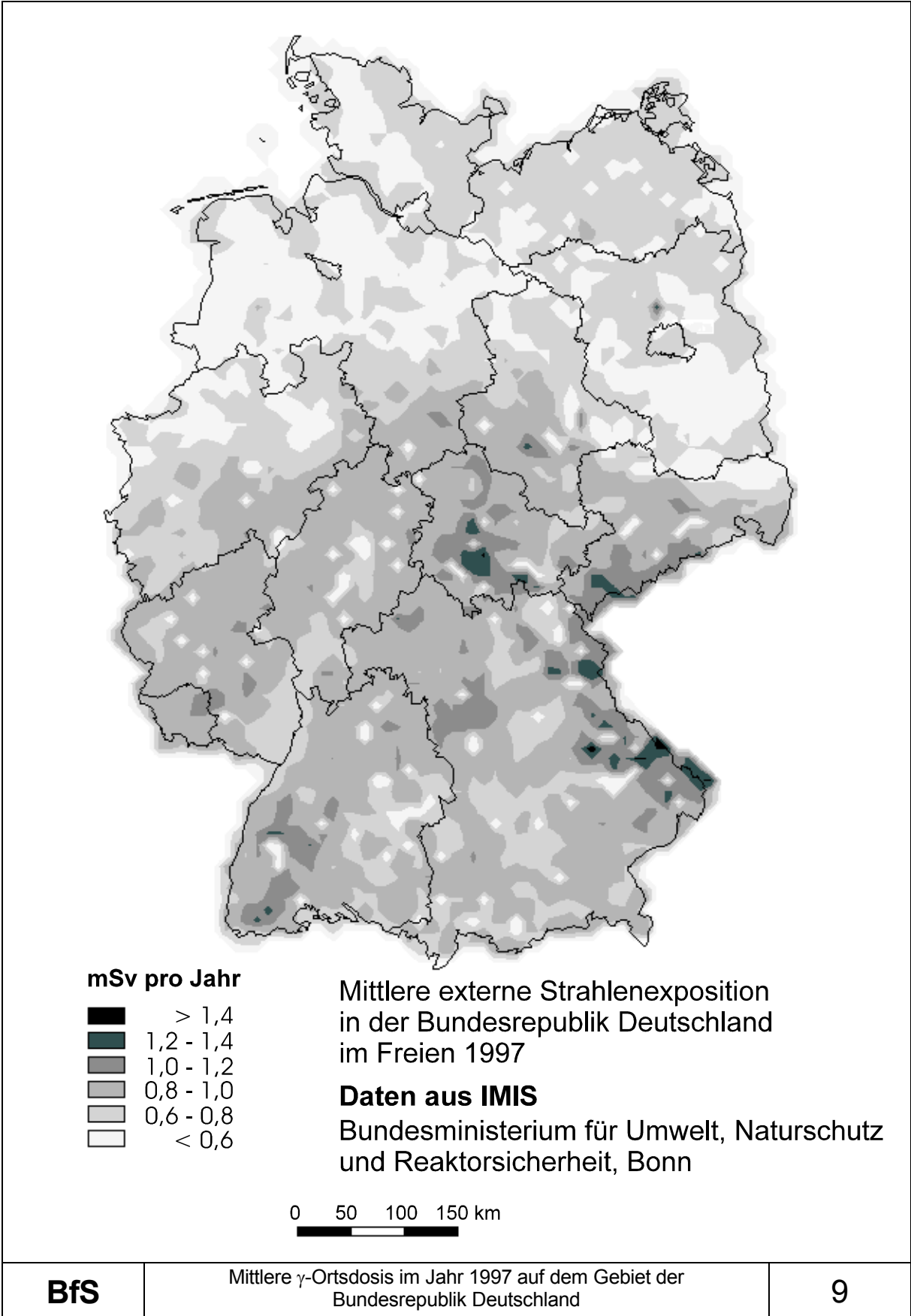
7

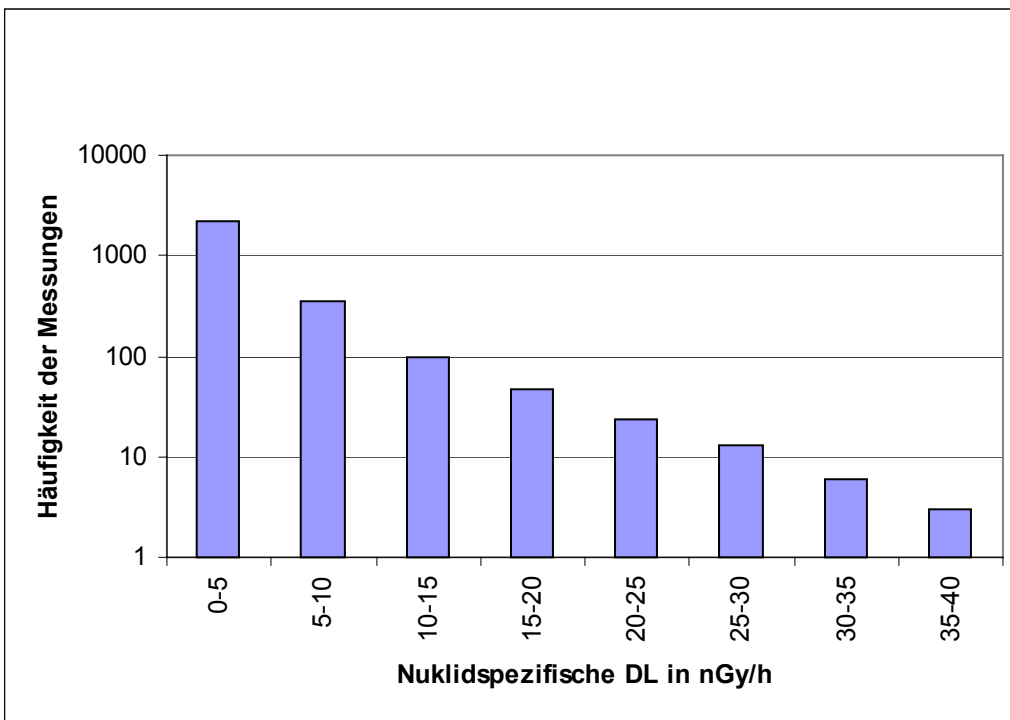


DWD

Dem Erdboden durch Niederschläge zugeführte Gesamt-β-Aktivität
 Stationsspezifische Jahressummen 1997

8





BfS

Ergebnisse von In-situ-Messungen der nuklidspezifischen DL von Cäsium-137 an Sondenstandorten des BfS im Jahr 1997

10

3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel

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

Die Wanderung der Radionuklide **Cäsium-137** und **Strontium-90** in den Boden hinein erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide auch eine lange physikalische 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 1997 durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwafferversuche 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 1997 wurden verschiedene Pflanzenproben γ -spektrometrisch gemessen. Im Vordergrund standen dabei Proben solcher Pflanzen, die als Futtermittel dienen, insbesondere Weide- und Wiesenbewuchs. Die Kontamination pflanzlichen Materials ist gegenüber dem Vorjahr wieder etwas zurückgegangen, was vor allem auf Verdünnungs- und Bindungseffekte im Boden zurückzuführen ist.

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

Tabelle 1 Radioaktive Kontamination von Weideböden

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq /kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden-Württemberg	1995	0-10	14	48,1	153,0	a)	a)	a)
	1996	0-10	14	<41,8	185,0	a)	a)	a)
	1997	0-10	11	<47,0	181,0	a)	a)	a)
Bayern	1995	0-10	19	164,3	628,0	17	5,3	9,9
	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
Berlin	1995	0-10	2	16,5	23,0	1	1,5	-
	1996	0-10	2	12,1	19,0	1	1,3	-
	1997	0-10	4	24,5	35,0	1	1,7	-
Brandenburg	1995	0-10	8	41,0	120,0	3	2,6	3,1
	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
Bremen	1995	0-10	1	15,7	-	1	1,6	-
	1996	0-10	1	32,0	-	1	<0,3	-
	1997	0-10	1	14,6	-	1	0,6	-
Hamburg	1995	0-10	2	26,1	34,1	1	1,3	-
	1996	0-10	2	22,8	31,5	1	1,1	-
	1997	0-10	2	20,0	26,8	1	2,5	-
Hessen	1995	0-10	5	27,9	51,1	3	5,1	9,2
	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
Mecklenburg-Vorpommern	1995	0-10	8	23,2	91,9	4	0,8	1,4
	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
Niedersachsen	1995	0-10	10	58,0	200,0	7	2,4	3,0
	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
Nordrhein-Westfalen	1995	0-10	16	17,1	35,5	4	1,6	4,2
	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
Rheinland-Pfalz	1995	0-10	7	22,2	43,3	3	1,1	1,5
	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
Saarland	1995	0-10	3	19,7	25,0	a)	a)	a)
	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
Sachsen	1995	0-10	6	21,2	50,7	5	2,0	3,3
	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
Sachsen-Anhalt	1995	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1996	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Schleswig-Holstein	1995	0-10	7	15,7	31,2	5	2,0	2,7
	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
Thüringen	1995	0-10	6	22,4	29,5	3	1,9	2,2
	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

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	1995	0-30	10	26,9	105,0	a)	a)	a)
	1996	0-30	9	<24,9	86,2	a)	a)	a)
	1997	0-30	7	41,5	148,0	a)	a)	a)
Bayern	1995	0-(25/30)	25	41,5	275,0	3	5,8	10,5
	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
Berlin	1995	0-30	1	10,0	-	1	1,5	-
	1996	0-30	1	10,0	-	1	1,3	-
	1997	0-30	1	10,4	-	1	1,6	-
Brandenburg	1995	0-10	9	21,1	78,1	3	0,9	1,6
	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
Bremen	1995	0-30	2	18,9	27,1	1	0,9	-
	1996	0-30	2	14,6	16,4	1	0,9	-
	1997	0-30	2	12,9	16,8	1	2,4	-
Hamburg	1995	0-30	1	18,7	-	1	1,2	-
	1996	0-30	1	9,6	-	1	1,6	-
	1997	0-30	1	16,3	-	1	1,3	-

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe	Aktivität in Bq /kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1995	0-30	2	15,0	28,4	2	1,4	1,6
	1996	0-30	7	15,4	27,2	a)	a)	a)
	1997	0-30	7	12,5	26,1	2	1,3	2,2
Mecklenburg-Vorpommern	1995	0-30	7	12,5	22,2	2	<0,5	0,8
	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
Niedersachsen	1995	0-(25/30)	19	15,4	23,6	10	2,2	3,1
	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
Nordrhein-Westfalen	1995	0-30	20	11,6	21,6	5	<0,8	1,3
	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
Rheinland-Pfalz	1995	0-(25/30)	7	12,6	29,8	3	1,2	2,1
	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
Saarland	1995	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1996	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen	1995	0-30	6	<12,1	29,7	a)	a)	a)
	1996	0-30	6	11,3	24,5	a)	a)	a)
	1997	0-30	6	9,7	17,9	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	1995	0-10	14	16,5	51,0	a)	a)	a)
	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
Schleswig-Holstein	1995	0-30	6	12,6	16,0	a)	a)	a)
	1996	0-30	5	11,8	23,9	a)	a)	a)
	1997	0-30	5	9,6	13,2	a)	a)	a)
Thüringen	1995	0-30	6	11,8	20,6	2	1,7	1,8
	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

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
Bayern	1995	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1996	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Hessen	1995	0-10	4	61,3	114,0	2	3,8	6,9
	1996	0-10	4	58,1	101,0	a)	a)	a)
	1997	0-10	4	57,2	109,0	a)	a)	a)
Niedersachsen	1995	0-10	2	92,8	110,0	a)	a)	a)
	1996	0-10	2	92,0	106,0	1	5,8	-
	1997	0-10	1	152,0	-	1	8,2	-
Nordrhein-Westfalen	1995	0-10	10	69,0	327,0	1	0,8	-
	1996	0-10	7	84,0	253,0	a)	a)	a)
	1997	0-10	7	75,8	220,0	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	1995	21	<16,5	227,0	a)	a)	a)
	1996	20	<0,6	<0,9	a)	a)	a)
	1997	15	<0,9	<1,6	a)	a)	a)
Bayern	1995	80	<8,9	140,0	30	4,2	15,6
	1996	80	<13,2	311,0	30	4,5	13,3
	1997	81	<11,9	451,0	30	3,3	7,2
Berlin	1995	2	0,8	1,0	1	2,9	-
	1996	2	1,3	1,4	1	2,2	-
	1997	2	1,1	1,4	1	3,6	-
Brandenburg	1995	21	<1,9	7,7	8	3,6	11,3
	1996	22	<2,3	9,2	8	3,3	9,8
	1997	22	<3,2	29,5	8	2,7	8,5
Bremen	1995	2	4,0	6,3	1	1,5	-
	1996	2	<6,9	12,4	1	0,2	-
	1997	2	<1,6	2,5	1	1,2	-
Hamburg	1995	2	2,7	4,2	1	1,0	-
	1996	2	2,4	3,4	1	0,1	-
	1997	2	1,5	1,7	1	0,8	-
Hessen	1995	8	<0,4	1,7	4	3,8	5,1
	1996	7	2,7	8,1	4	4,7	6,7
	1997	7	<0,8	2,7	4	2,3	3,8
Mecklenburg-Vorpommern	1995	25	<3,6	49,9	12	1,5	3,9
	1996	25	<2,1	17,2	12	2,0	4,3
	1997	25	<3,7	50,7	12	2,0	4,9
Niedersachsen	1995	50	<8,9	69,7	19	2,2	4,1
	1996	44	<4,3	48,5	21	1,2	3,5
	1997	40	3,2	32,4	22	0,9	2,3
Nordrhein-Westfalen	1995	20	<1,5	6,7	8	2,2	4,4
	1996	21	<1,5	7,6	9	1,9	3,1
	1997	21	<1,6	9,6	8	1,8	3,5
Rheinland-Pfalz	1995	8	1,0	3,5	4	1,9	2,6
	1996	8	0,7	2,0	4	2,9	3,7
	1997	8	<0,5	1,0	4	2,7	4,4
Saarland	1995	2	<1,3	2,3	1	6,7	-
	1996	2	<0,2	<0,2	1	0,6	-
	1997	2	<1,0	1,8	1	0,8	-
Sachsen-Anhalt	1995	14	<4,9	28,0	4	3,7	7,8
	1996	14	<5,8	40,0	3	2,7	3,8
	1997	14	<3,8	19,6	7	2,3	4,0
Sachsen	1995	20	<1,5	12,5	10	1,5	3,8
	1996	20	<1,0	4,0	10	1,6	2,5
	1997	20	<1,1	5,6	10	1,5	2,2
Schleswig-Holstein	1995	22	<2,2	6,4	10	0,9	1,2
	1996	20	<1,3	5,5	10	3,2	4,0
	1997	21	<1,2	4,7	10	2,6	4,4
Thüringen	1995	12	<1,1	4,0	6	1,9	3,0
	1996	12	<0,8	2,7	6	2,0	3,5
	1997	12	<0,5	1,3	6	1,7	3,5

a) Messwerte lagen nicht vor

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

Futtermittel	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Mais u. Maissilagen	1995	217	<0,6	22,1	3	<1,7	3,2
	1996	236	<0,4	4,0	1	<0,2	-
	1997	227	<0,5	5,4	a)	a)	a)
Futterrüben	1995	38	<0,4	2,8	1	0,5	-
	1996	33	<0,5	1,8	a)	a)	a)
	1997	32	<0,6	4,1	a)	a)	a)
Futtergetreide	1995	177	<0,4	3,9	1	1,7	-
	1996	151	0,3	1,5	a)	a)	a)
	1997	141	<0,3	2,3	a)	a)	a)
Futterkartoffeln	1995	69	<0,8	4,6			
	1996	75	<0,6	3,6			
	1997	67	<0,7	9,8			

Tabelle 6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	1995	16	<0,31	0,83
	1996	10	<0,11	<0,16
	1997	10	<0,13	0,25
Mais , Maisprodukte	1995	23	<0,20	0,32
	1996	17	<0,25	<0,5
	1997	a)	a)	a)
Maniok, Tapioka	1995	4	0,50	1,50
	1996	2	<0,22	<0,3
	1997	22	<0,15	0,8
Ölkuchen, Ölschrote	1995	75	<0,87	4,71
	1996	68	<0,49	4,38
	1997	58	<0,61	2,49
Erbsen	1996	6	<0,27	<0,3
	1997	6	<0,61	2,2
Leguminosen, Lupinen	1996	7	<0,43	0,8
	1997	2	0,76	0,97

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)

Pflanzen-indikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	1995	114	<14,9	323
	1996	115	<13,7	275
	1997	115	<14,5	456
Nadeln	1995	59	<61,2	1080
	1996	59	<62,7	1220
	1997	59	<55,1	933
Gras	1995	114	<22,7	408
	1996	115	<13,9	184
	1997	114	<18,7	220
Farne (Baden-Württemberg und Thüringen)	1995	28	658,0	6600
	1996	18	645,9	5900
	1997	28	430,1	3750

3.3 Gewässer

3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält Ergebnisse von Oberflächenwasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für 1997. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und Kernkraftwerksbetreibern mitgeteilten Werte werden in Teil II, 1.4.3 zusammengefasst und bewertet.

Für ausgewählte Entnahmestellen wurden Jahresmittelwerte von Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten - in Tabelle 2 (Fließgewässer) bzw. Tabelle 3 (Talsperren und Seen) dem jeweiligen Mittelwert des Vorjahres 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 entsprechenden 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. Liegen keine Angaben vor oder aber lagen alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze, wurde in der jeweiligen Auftragsangabe "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 StrVG im Jahr 1997 erhaltenen Messergebnisse mit insgesamt 16477 Einzelwerten (1996: 14273) von 525 Entnahmestellen (1996: 511) ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser aus Fließgewässern, Talsperren und Seen wies **Tritium (H-3)**-Gehalte (Jahresmittelwerte) überwiegend unterhalb von 10 Bq/l (entspricht der Nachweisgrenze des RMP) auf. In Ems und Mosel wurden als Folge von Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen im Fernbereich der Emittenten Jahresmittelwerte von bis zu 22 Bq/l erhalten. Die mittleren Gehalte der langlebigen Spaltprodukte **Strontium-90** - ein Falloutprodukt nach den oberirdischen Kernwaffenversuchen der 50er und 60er Jahre - und **Cäsium-137** - 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 Kernkraftwerken in die Gewässer eingeleiteten Spalt- und Aktivierungsprodukte traten im Fernbereich der Emittenten überwiegend in Gehalten unterhalb von 0,001 Bq/l auf und waren i.a. nicht mehr nachweisbar. **Jod-131** aus nuklearmedizinischen Einrichtungen konnte vereinzelt oberhalb von 0,01 Bq/l nachgewiesen werden. Die an Wasserproben aus Fließgewässern, Talsperren und Seen durchgeführten Bestimmungen der Uranisotope U-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 ca. 0,1 Bq/l. Bei den vorgenommenen Untersuchungen von Wasserproben auf **Plutonium-238** und **Plutonium-239/240** wurden Werte erhalten, die die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l um Größenordnungen unterschritten bzw. konnten nicht nachgewiesen werden.

Kurzzeitige Belastungen der Binnengewässer mit radioaktiven Stoffen verschiedener Emittenten bzw. Quellen können besonders empfindlich anhand von Messungen von **Schwebstoff** erfasst werden. So konnten in Proben aus Rhein und Mosel die beiden Aktivierungsprodukte **Kobalt-58** und **Kobalt-60** aus kerntechnischen Anlagen über große Fließstrecken nachgewiesen werden. Hierbei trat Co-58 im Bereich "ungünstiger" Einwirkungsstellen in mittleren Gehalten von bis zu 4,7 Bq/kg TM (Rhein) bzw. 1,4 Bq/kg

TM (Mosel) und Co-60 in Gehalten von bis zu 4,2 Bq/kg TM (Rhein) bzw. 3,4 Bq/kg TM (Mosel) auf. In Schwebstoffproben aus Ems, Weser, Eider und Jadebusen lagen die mittleren Gehalte beider Nuklide ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. I-131 aus nuklearmedizinischen Einrichtungen und kerntechnischen Anlagen konnte in Schwebstoffproben z.B. aus Rhein, Ems, Elbe, Mosel, Saar, Spree, Havel und Glan in mittleren Gehalten von meist unter 50 Bq/kg TM gemessen werden. In Schwebstoffproben aus der Mosel trat außerdem das Nuklid Ag-110m in mittleren Gehalten von bis zu 2 Bq/kg TM auf. Das insbesondere auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückgehende Spaltnuklid Cs-137 erreichte in Schwebstoffproben überwiegend mittlere Nuklidgehalte unterhalb von 100 Bq/kg TM. In Seen (Starnberger See, Steinhuder Meer) lagen die Cs-137-Gehalte von Schwebstoffproben immer noch bei mehreren hundert Bq/kg TM.

Radionuklide in partikulärer Form sedimentieren bevorzugt in sog. Stillwasserbereichen eines Gewässers und können auf diese Weise eine Kontamination der Gewässersohle bewirken. Zur Darstellung der langfristigen Kontamination eines Gewässers sind daher Untersuchungen von **Sedimentproben** besonders angezeigt. So lagen die Jahresmittelwerte von Co-58 und Co-60 von Sedimentproben aus Rhein, Mosel, Elbe, Ems und Weser unterhalb von 2,5 Bq/kg TM. In der Mosel trat im Fernbereich des KKW Cattenom **Silber-110m** in Gehalten von bis zu 1 Bq/kg TM auf. Das vor allem aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl herrührende Cs-137 konnte in Sedimentproben aus Fließgewässern überwiegend in mittleren Gehalten von bis zu 100 (meist unter 50) Bq/kg TM gemessen werden. In Seen und Talsperren dagegen traten z.T. immer noch Gehalte an Cs-137 von mehreren hundert Bq/kg TM auf, die nur in größeren Zeiträumen merklich abnehmen werden.

Die mittleren Gehalte der auf die oberirdischen Kernwaffenversuche sowie auf den Reaktorunfall in Tschernobyl zurückzuführenden Radionuklide sind 1997 mit denen des Vorjahres vergleichbar. Schwankungen können, von Statistik und radioaktivem Zerfall abgesehen, mit den in den Gewässern dynamisch ablaufenden Dispersions-, Sedimentations- und Resuspensionsprozessen erklärt werden.

Strahlenexposition

Die aus den verschiedenen Quellen in die Binnengewässer eingetragenen anthropogenen 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 1997 zurückzuführende Kontamination beträgt im Falle von Tritium 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 hypothetische effektive Äquivalentdosis für Erwachsene auf dem "**Trinkwasserpfad**" zu ca. 0,2 µSv/a. Dieser Dosisbeitrag entspricht ca. 0,07 % des Dosisgrenzwertes von 300 µSv/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 µSv/a um eine Größenordnung höher.

Insbesondere das bei dem Reaktorunfall in Tschernobyl freigesetzte Radionuklid und Cs-137 war auch 1997 noch in Sedimentproben aus deutschen Binnengewässern deutlich nachweisbar. So konnten in der Sohlschicht von entsprechend genutzten bzw. unterhaltenen Abschnitten der Donau immer noch ein mittlerer Gehalt von Cs-137 von bis zu ca. 200 Bq/kg TM gemessen werden. Der auf die früheren oberirdischen Kernwaffenversuche zurückgehende Nuklidanteil von Cs-137 von ca. 5 Bq/kg TM ist dagegen nahezu vernachlässigbar. Unter Zugrundelegung dieser an Sedimentproben gemessenen Nuklidgehalte kann die auf dem "**Spülfeldpfad**" für Standardbedingungen zu erwartende zusätzliche effektive Strahlendosis zu ca. 23 µSv/a abgeschätzt werden. Dieser Dosisbeitrag entspricht ca. 8 % des Dosisgrenzwertes von 300 µSv/a nach § 45 StrlSchV. Es ist davon auszugehen, dass die an der Gewässersohle natürlicherweise ablaufenden Verfrachtungsvorgänge dazu beitragen werden, dass die in den entsprechenden Flussabschnitten auftretenden Nuklidgehalte langfristig weiter zurückgehen werden und damit auch auf diesem für den aquatischen Bereich besonders sensitiven Expositionspfad noch niedrigere Werte der Strahlenexposition erwartet werden können.

Tabelle 1 Übersicht der Wasser-, Schwebstoff- und Sedimentmessungen nach StrVG und der REI für 790 Entnahmestellen mit den jeweiligen Maximalwerten und den zugehörigen Gewässerbereichen und Bezugszeiten für das Jahr 1997

Medium	Aktivität Nuklid	Anzahl der Werte	Maximalwert (Bq/l bzw. Bq/kg)	Gewässer	Ort/Stelle	Datum/ Zeitraum
Wasser	α -Aktivität	355	0,77 ($G\alpha$)	Ems	Terborg, km 24,7	Mai
	β -Aktivität	249	1,2 ($G\beta$)	Aller	Endlager Morsleben nach Einleitbauwerk	September
	H-3	1979	9400	Ems	KKW Emsland, am Einleitbauwerk	II. Quartal
	Sr-90	314	0,030	Wipper	Groß-Schierstedt, km 16	11. Februar 14. Mai
	I-131	111	1,1	Isar	Forschungsanlage München, Grünecker Brücke	IV. Quartal
	Cs-137 Sonstige	1506 4661	0,13 -	Arendsee -	Arendsee -	13. August -
Schwebstoff	α -Aktivität	17	750 ($G\alpha$)	Mosel	Lehmen, km 20,83	August
	Co-58	46	14,4	Rhein	Weil, km 172,97	IV. Quartal
	Co-60	396	11,2	Mosel	Perl, km 239,7-242,0	Januar
	I-131	79	252	Spree	Berlin-Schöneeweide, km 27,2	Dezember
	Cs-137 Sonstige	545 1999	904 -	Starnberger See -	Starnberg -	IV. Quartal -
	Sediment	α -Aktivität	73	3000 ($G\alpha$)	Doppelbiergraben	Hanau-Wolfgang
β -Aktivität		44	2500 ($R\beta$)	Doppelbiergraben	Hanau-Wolfgang	2. April
Co-58		75	2,2	Rhein	KKW Philippsburg, Karlsruhe-Daxlanden	II. Quartal
Co-60		1066	9,4	Rhein	KKW Phillippsburg, am Einleitbauwerk	III. Quartal
Sr-90		5	0,29	Elbe	KKW Brunsbüttel, am Einleitbauwerk	11. März
Cs-137 Sonstige		1440 4693	580 -	Steinhuder Meer -	Wunstorf -	1. Juli -

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
RHEIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	10	-	3,5	8,9	4,7	5,9
		Koblenz, km 590,3	10	-	4,3	7,9	6,1	7,8
		Wesel, km 814,0	8	-	3,7	8,0	5,8	7,4
	Sr-90	Weil, km 172,97	3	-	0,0018	0,016	0,0075	0,0019
		Koblenz, km 590,3	4	-	0,0033	0,0053	0,0043	0,0033
		Wesel, km 814,0	4	-	0,0035	0,0058	0,0042	0,0049
	Cs-137	Weil, km 172,97	10	2	0,0009	0,0047	0,0024	0,0035
		Koblenz, km 590,3	11	2	0,0007	0,0049	0,0027	0,0024
		Wesel, km 814,0	9	-	0,0006	0,0045	0,0025	0,0044
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	4	-	0,45	14,4	4,73	3,05
		Koblenz, km 590,3	10	3	0,56	1,34	0,80	4,96
	Co-60	Weil, km 172,97	4	-	1,56	5,91	4,18	5,54
		Koblenz, km 590,3	10	1	0,33	2,64	1,55	1,28
		Wesel, km 814,0	4	2	0,89	0,93	0,91	<1,20

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
Schwebstoff (Bq/l)	Cs-137	Weil, km 172,97	4	-	13,0	22,4	17,2	26,3
		Koblenz, km 590,3	10	-	9,60	17,8	15,4	16,1
		Wesel, km 814,0	4	-	11,7	17,9	15,8	19,2
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Weil, km 170,3	24	-	0,38	1,64	1,08	0,70
		Worms, km 444,5-446,6	36	8	0,086	1,02	0,52	0,63
		Koblenz, km 591,3	10	-	0,57	2,05	1,12	1,03
	Cs-137	Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	5	0,25	1,66	0,89	0,90
		Weil, km 170,3	24	-	0,21	18,9	15,0	17,2
		Worms, km 444,5-446,6	36	-	0,43	32,1	9,17	8,54
		Koblenz, km 591,3	10	-	19,5	33,5	24,3	22,0
Düsseldorf, km 740,3-748,9	16	-	2,94	34,8	18,7	19,8		
NECKAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Obertürkheim, km 189,5	12	-	2,0	3,2	2,5	3,4
		Rockenau, km 61,4	11	-	10,1	25,9	15,4	18,4
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	2	-	0,0025	0,0031	0,0028	0,0032
		Rockenau, km 61,4	4	-	0,0025	0,0047	0,0039	0,0040
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	10	6	0,0012	0,0070	0,0036	0,0016
Rockenau, km 61,4		11	4	0,0009	0,0075	0,0034	0,0031	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Obertürkheim, km 189,5	4	4	<0,17	<0,29	nn	nn
		Rockenau, km 61,4	4	4	<0,092	<0,19	nn	nn
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	-	13,0	18,8	15,8	17,0
		Rockenau, km 61,4	4	-	8,29	15,2	11,4	10,7
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Lauffen, km 125,2-130,1	17	17	<0,059	<0,36	nn	nn
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	24	24	<0,054	<0,25	nn	nn
		Guttenbach, km 72,0-77,0	22	22	<0,062	<0,24	nn	nn
	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	17	-	0,13	29,3	13,3	16,1
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	24	-	7,05	31,8	17,0	15,8
Guttenbach, km 72,0-77,0	22	-	0,83	65,8	14,7	12,2		
MAIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Viereth, km 389,4	12	-	1,6	2,7	2,1	2,5
		Eddersheim, km 15,3	12	-	2,5	15,5	5,5	6,8
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	-	0,0029	0,0040	0,0035	0,0033
		Eddersheim, km 15,3	4	-	0,0031	0,0046	0,0038	0,0033
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	12	4	0,0013	0,0082	0,0034	0,0030
Eddersheim, km 15,3		12	3	0,0007	0,0038	0,0023	0,0023	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	40,0	50,0	46,0	53,8
		Garstadt, km 323,7	4	-	34,4	41,0	37,0	45,0
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	15,0	36,0	27,0	22,5
		Garstadt, km 316,2-324,8	10	-	4,67	43,4	22,1	27,8
MOSEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2	12	-	15,4	28,2	21,7	35,9
		Koblenz, km 1,2	10	-	8,5	13,7	10,9	18,3
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2	4	-	0,0017	0,0040	0,0028	0,0029
		Lehmen, km 20,83	4	-	0,0032	0,0089	0,0058	0,0054
	Cs-137	Wincheringen, km 222,2	12	3	0,0015	0,030	0,0078	0,0028
Lehmen, km 20,83		11	3	0,0008	0,0063	0,0026	0,0024	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96	12	1	0,19	3,01	1,37	3,08
		Trier, km 196,0	12	8	0,68	1,53	1,17	0,78
		Lehmen, km 20,83	11	7	0,56	2,06	1,18	0,54
	Co-60	Perl, km 241,96	12	1	0,28	11,2	3,36	7,75
		Trier, km 196,0	12	3	0,45	2,22	1,36	2,61
		Lehmen, km 20,83	11	6	0,51	5,55	1,71	1,38
	Cs-137	Perl, km 241,96	12	-	5,63	39,1	17,5	27,9
		Trier, km 196,0	12	-	13,0	26,4	20,4	24,8
		Lehmen, km 20,83	11	-	18,6	41,8	30,6	24,7

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte		
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Perl, km 239,7-242,0	24	2	0,27	2,01	0,90	1,48	
		Trier, km 184,1-196,1	21	8	0,31	1,46	0,75	0,87	
		Koblenz, km 4,05	10	4	0,23	0,64	0,37	0,64	
	Cs-137	Perl, km 239,7-242,0	24	-	2,87	42,7	10,2	4,61	
		Trier, km 184,1-196,1	21	-	9,43	29,0	18,9	20,9	
		Koblenz, km 4,05	10	-	12,3	23,9	17,3	18,1	
SAAR									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	10	-	1,8	3,3	2,3	2,9	
	Sr-90	Kanzem, km 5,0	4	-	0,0025	0,0064	0,0048	0,0022	
	Cs-137	Kanzem, km 5,0	10	4	0,0013	0,0087	0,0040	0,0018	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Kanzem, km 5,0	12	-	12,0	42,4	26,1	26,7	
DONAU									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ulm, km 2590,8	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn	
		Böfing Halde, km 2581,4	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn	
		Geisling, km 2354,28	11	-	3,0	6,5	3,8	4,3	
		Vilshofen, km 2249,0	12	-	3,2	5,9	4,1	5,4	
		Jochenstein, km 2203,8	4	4	<5,2	<5,2	nn	nn	
		Geisling, km 2354,28	2	-	0,0031	0,0041	0,0036	0,0021	
	Sr-90	Vilshofen, km 2249,0	4	-	0,0019	0,0056	0,0039	0,0041	
		Jochenstein, km 2203,8	4	1	0,0030	0,031	0,012	0,0048	
		Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	4	0,010	0,013	0,012	<0,011
			Böfing Halde, km 2581,4	4	4	<0,0051	<0,010	nn	nn
			Geisling, km 2354,28	11	-	0,0012	0,0092	0,0036	0,0089
			Vilshofen, km 2249,0	11	1	0,0012	0,010	0,0052	0,0063
Jochenstein, km 2203,8	4		3	<0,0053	0,0052	<0,0060	<0,0052		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137		Ulm, km 2590,8	3	-	113	169	144	191
Böfing Halde, km 2581,4	4	-	21,0	107	69,3	65,3			
Regensburg, km 2381,3	4	-	73,1	87,8	80,8	101			
Vilshofen, km 2249,0	4	-	68,7	80,9	74,8	74,4			
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2590,8	4	-	164	236	187	195	
		Regensb., km 2400,1-2379,1	19	-	3,78	192	58,2	51,0	
		Straubing, km 2320,93	4	-	73,1	309	196	94,3	
		Jochenstein, km 2202,7	4	-	16,1	31,3	25,7	25,0	
ISAR									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0	4	-	1,9	2,2	2,1	2,7	
		Plattling, km 9,1	4	4	<5,2	<5,2	nn	11,8	
	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	2	0,0006	0,0011	0,0008	0,0007	
		Plattling, km 9,1	4	4	<0,0052	<0,0072	nn	nn	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	28,7	47,5	40,0	35,0	
		Plattling, km 9,1	4	-	108	134	118	124	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0	4	-	32,3	51,2	42,7	54,3	
		Plattling, km 9,1	4	-	18,0	23,0	21,2	32,5	
EMS									
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	11	-	3,3	60,6	21,8	21,8	
		Terborg, km 24,7	11	-	1,9	16,0	7,5	9,8	
		Geeste, km 106,3	4	-	0,0041	0,011	0,0071	0,0063	
	Sr-90	Terborg, km 24,7	4	-	0,0077	0,019	0,012	0,0072	
		Geeste, km 106,3	11	1	0,0011	0,0064	0,0031	0,0053	
		Terborg, km 24,7	10	-	0,021	0,13	0,051	0,031	
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,18	<0,21	nn	nn	
		Terborg, km 24,7	4	-	0,69	1,7	1,21	0,75	
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	-	22,5	43,2	31,8	29,5	
		Terborg, km 24,7	4	-	4,83	6,72	5,76	5,29	

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
Sediment (Bq/l)	Co-60	Außenems, Knock, km 51	1	-	2,50	2,50	2,50	1,80
		Außenems, Gandersum, km 32	1	-	3,90	3,90	3,90	2,30
	Cs-137	Außenems, Knock, km 51	1	-	11,0	11,0	11,0	12,0
		Außenems, Gandersum, km 32	1	-	19,0	19,0	19,0	13,0
WESER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12	-	1,6	3,1	2,0	2,3
		Rinteln, km 163,2	12	-	1,6	18,0	4,7	5,5
		Langwedel, km 329,4	11	-	1,7	7,2	2,6	4,0
	Sr-90	Blexen, km 63,3	10	-	2,7	7,9	4,2	6,2
		Höxter, km 69,0	4	-	0,0028	0,0070	0,0048	0,0023
		Rinteln, km 163,2	4	-	0,0034	0,0057	0,0045	0,0024
	Cs-137	Langwedel, km 329,4	4	-	0,0031	0,0079	0,0047	0,0032
		Blexen, km 63,3	4	-	0,0026	0,0080	0,0053	0,0036
		Höxter, km 69,0	12	2	0,0013	0,0081	0,0035	0,0036
		Rinteln, km 163,2	12	-	0,0016	0,0065	0,0032	0,0040
		Langwedel, km 329,4	11	2	0,0007	0,015	0,0049	0,0031
		Blexen, km 63,3	10	-	0,0055	0,015	0,010	0,011
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	4	<0,14	<0,48	nn	nn
		Rinteln, km 163,2	4	3	<0,16	0,71	<0,31	nn
		Langwedel, km 329,4	4	4	<0,15	<0,44	nn	nn
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	1	1,73	2,16	1,91	2,55
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4	-	17,5	26,2	20,4	15,7
		Rinteln, km 163,2	4	-	13,6	22,5	17,9	17,6
		Langwedel, km 329,4	4	-	13,0	27,9	21,0	21,8
		Wilhelmshaven/Jadebusen	4	-	5,61	7,85	6,77	8,55
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Hann.Münden, km 0,0	2	2	<0,26	<0,30	nn	-
		Intschede, km 329,3	2	2	<0,31	<0,39	nn	nn
		Habenhausen, km 361,0	2	2	<0,40	<0,48	nn	nn
		Untereseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	0,94	1,80	1,37	2,50
	Cs-137	Hann.Münden, km 0,0	2	-	5,80	8,60	7,20	-
		Intschede, km 329,3	2	-	19,0	21,0	20,0	15,0
		Habenhausen, km 361,0	2	-	29,0	37,0	33,0	32,0
		Untereseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	9,30	20,0	14,7	17,5
ELBE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	4	-	1,7	2,5	2,1	<9,5
		Schnackenburg, km 475	4	-	1,7	2,3	1,9	2,0
		Geesthacht, km 586,0	2	-	1,8	2,1	2,0	2,6
		Cuxhaven, km 724,5	11	-	3,0	4,6	3,7	3,0
	Sr-90	Dresden, km 58,0	4	-	0,0052	0,0086	0,0071	0,0062
		Schnackenburg, km 475	4	-	0,0002	0,0061	0,0039	0,0050
		Geesthacht, km 586,0	1	-	0,0019	0,0019	0,0019	0,0035
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,0013	0,0039	0,0028	0,0024
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	5	0,0020	0,010	0,0052	0,0060
		Schnackenburg, km 475	4	1	0,0009	0,0011	0,0010	0,0026
		Geesthacht, km 586,0	2	-	0,0016	0,0019	0,0018	0,0024
		Cuxhaven, km 724,5	11	1	0,0021	0,0085	0,0044	0,0069
Schwebstoff (Bq/l)	Co-60	Dresden, km 58,0	12	12	<0,15	<0,62	nn	nn
		Geesthacht, km 586,0	1	1	<0,97	<0,97	nn	nn
		Wedel, km 642,0	4	4	<0,13	<0,58	nn	nn
		Cuxhaven, km 724,5	4	4	<0,058	<0,091	nn	nn

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
Schwebstoff (Bq/l)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	-	26,1	57,7	38,3	39,9
		Geesthacht, km 586,0	1	-	41,7	41,7	41,7	44,2
		Wedel, km 642,0	4	-	6,79	14,2	9,81	22,1
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,39	0,84	0,58	0,71
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Dresden, km 58,0	10	10	<0,18	<0,35	nn	nn
		Schnackenburg, km 475	4	4	<0,24	<0,64	nn	nn
	Cs-137	Dresden, km 58,0	10	-	33,7	138	55,6	52,7
		Schnackenburg, km 475	4	-	23,0	30,0	26,8	41,4
ODER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	1,9	2,2	2,1	<9,2
		Hohensaaten, km 667,5	4	-	1,8	2,3	2,0	<9,2
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	0,0051	0,011	0,0078	0,0067
		Hohensaaten, km 667,5	4	-	0,0044	0,011	0,0084	0,0072
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	11	3	0,0017	0,0060	0,0031	0,0036
		Hohensaaten, km 667,5	11	3	0,0018	0,0078	0,0039	0,0023
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	32,2	61,7	41,7	63,2
		Hohensaaten, km 667,5	7	-	38,4	244	87,3	56,5
SPREE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerd., km 0,60	3	3	<3,6	<4,8	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	-	1,6	2,3	1,9	<9,3
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	-	0,0038	0,0067	0,0055	0,0040
		Berlin-Sophienwerd., km 0,60	4	-	0,0025	0,0039	0,0032	0,0044
	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	4	0,0015	0,0041	0,0024	0,0034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerd, km 0,60	4	-	4,70	7,20	6,03	9,63
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	-	32,5	53,9	43,8	38,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerd, km 0,60	4	-	11,0	20,0	15,5	13,1
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	9	-	17,5	24,8	20,7	29,6
HAVEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	4	-	1,6	2,0	1,8	<9,3
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	4	-	0,0033	0,0081	0,0057	0,0051
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	-	0,0013	0,017	0,0059	0,011
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	-	61,4	150	106	93,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	-	5,75	117	52,1	48,0
SAALE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	4	-	1,7	2,5	2,0	nn
	Sr-90	Merseburg, km 104,5	4	-	0,0045	0,0071	0,0055	0,0049
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	12	4	0,0017	0,0074	0,0035	0,0034
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	12	-	5,05	20,9	16,5	19,6
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	-	13,7	23,9	18,3	14,2
PEENE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	4	-	1,2	1,8	1,5	<9,3
	Sr-90	Anklam, km 96,1	4	-	0,0043	0,011	0,0063	0,0052
	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	3	0,0006	0,011	0,0037	0,0064
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	-	45,2	77,8	60,0	55,5
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	10	-	37,2	75,4	57,5	78,7

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

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
BAYERN								
CHIEMSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	-	1,9	2,2	2,0	1,9
	Sr-90		4	-	0,0028	0,0058	0,0041	0,0088
	Cs-137		4	3	<0,00009	0,00032	<0,00012	0,0005
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	78,4	123	106	127
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	19,3	166	85,2	80,4
STARNBERGERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	-	3,2	3,6	3,5	3,8
	Sr-90		4	-	0,0083	0,012	0,0099	0,013
	Cs-137		4	-	0,0036	0,0052	0,0044	0,0057
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	-	415	904	646	517
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	-	50,8	117	69,8	304
BERLIN								
MÜGGELSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	-	3	3	<3,6	<4,8	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0051	0,0069	0,0059	0,0059
	Cs-137		4	-	0,0020	0,0053	0,0033	0,0031
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	-	4	-	1,50	5,90	3,38	3,08
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	-	4	-	100	140	118	125
STÖSSENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	3	3	<3,6	<4,8	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0046	0,0071	0,0059	0,0061
	Cs-137		4	-	0,0018	0,0053	0,0035	0,0042
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	1,60	5,40	3,60	14,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	61,0	88,0	76,8	95,3
BRANDENBURG								
STECHLINSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<4,9	<5,7	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,023	0,025	0,024	0,025
	Cs-137		4	1	0,010	0,010	0,010	0,018
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	-	14,0	27,2	20,3	19,8
NEUENDORFER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Alt Schadow	4	4	<5,6	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0050	0,0060	0,0058	0,0043
	Cs-137		4	3	<0,0025	0,0026	<0,0037	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt Schadow	4	-	1,80	2,70	2,23	2,60

Fortsetzung Tabelle 3

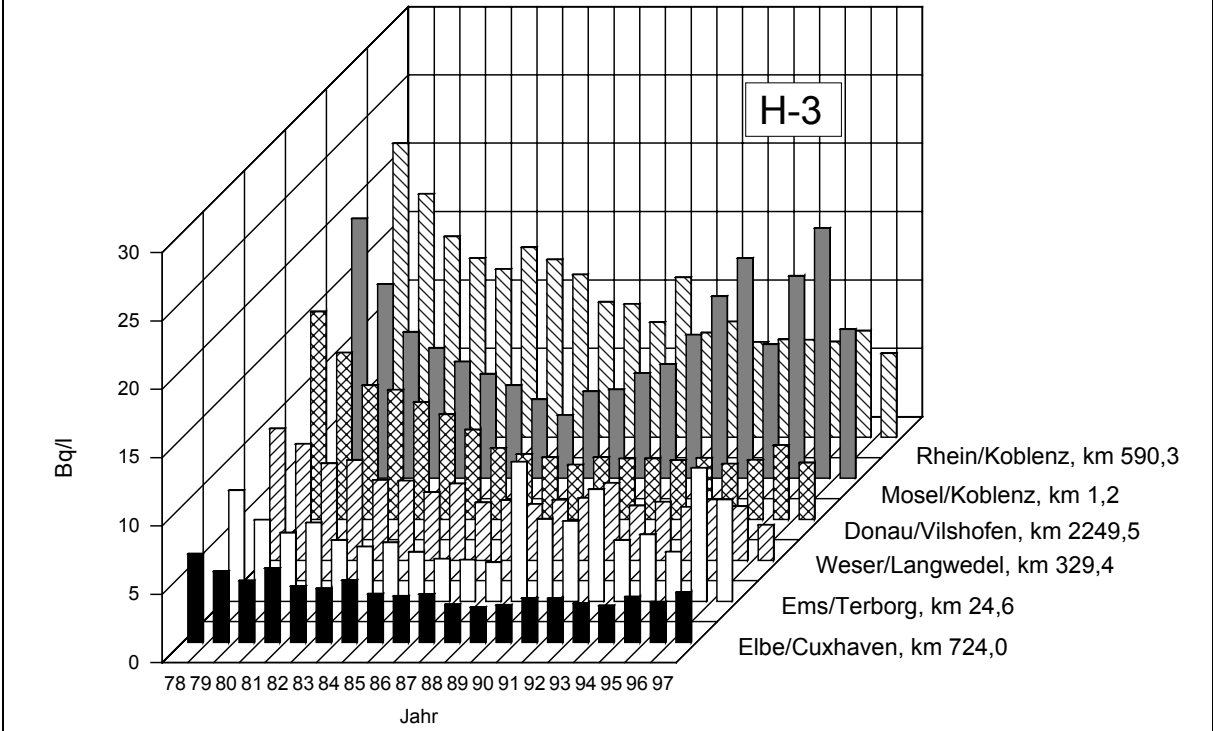
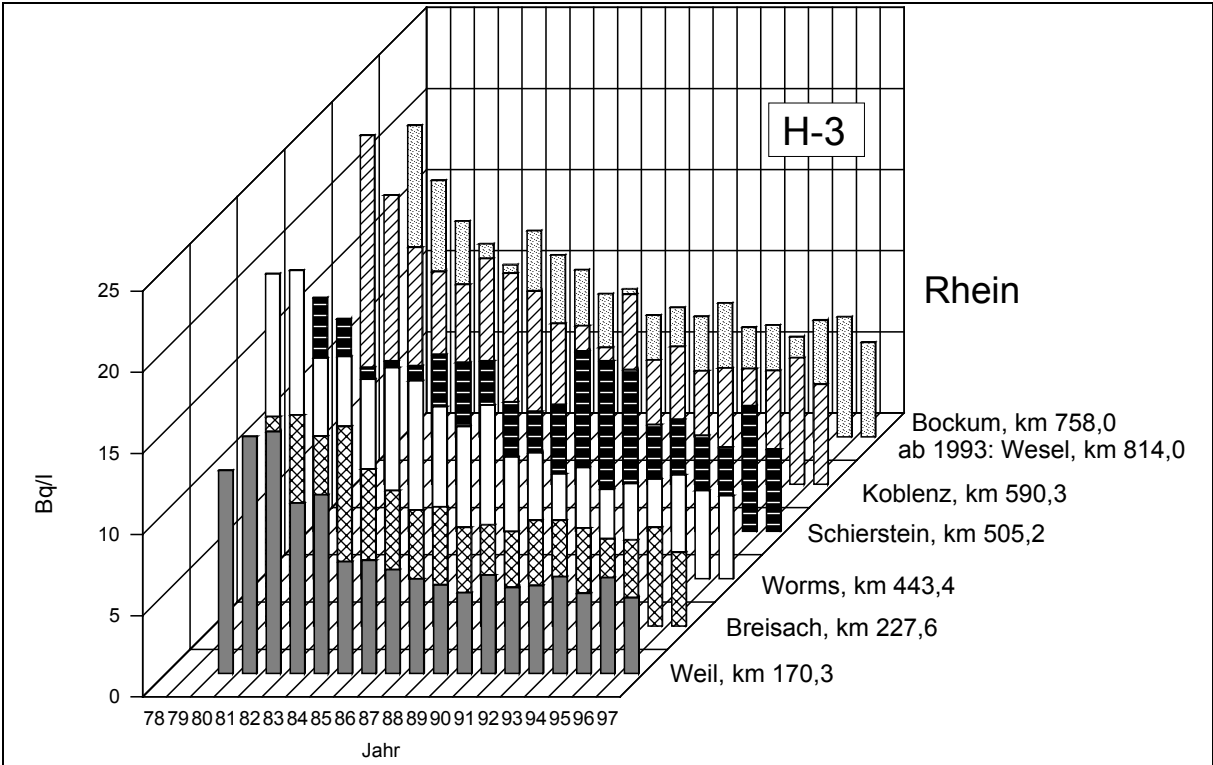
GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
HESSEN								
MARBACH-TALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Mossautal	4	4	<10,0	<10,0	nn <0,0099	nn
	Sr-90		4	3	<0,010	0,0095	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0073	<0,0080		nn
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Mossautal	4	-	30,6	33,6	32,5	35,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Mossautal	4	-	31,1	36,6	33,2	24,1
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
BORGWALLSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	<4,2	6,1	<4,7	<3,8
	Sr-90		-	-	keine Werte			0,0030
	Cs-137		4	-	0,0040	0,0080	0,0059	0,0088
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lüssow	4	-	9,25	12,5	10,6	10,9
SCHWERINER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	4	<4,1	<4,4	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,010	0,026	0,015	0,012
	Cs-137		4	-	0,018	0,027	0,024	0,026
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwerin	4	-	28,1	123	53,8	71,0
NIEDERSACHSEN								
SÖSETALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	-	1,2	1,5	1,4	1,6
	Sr-90		4	-	0,0022	0,0051	0,0038	0,0033
	Cs-137		4	2	0,0002	0,0012	0,0007	0,0010
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	1	-	110	110	110	163
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	71,0	130	89,5	80,5
STEINHUDER MEER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	-	1,4	1,7	1,6	1,6
	Cs-137		4	-	0,014	0,021	0,018	0,021
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	400	460	438	488
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	44,0	580	219	117
NORDRHEIN-WESTFALEN								
MÖHNE-STAUSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<6,0	nn	<8,0
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,011	nn	<0,0061
RHEINLAND-PFALZ								
LAACHER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,046	0,052	0,048	0,052
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Maria Laach	3	-	120	150	136	123
SACHSEN								
TALSPERRE PÖHL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Thoßfell	4	4	<9,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	2	0,0034	0,0043	0,0038	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Thoßfell	4	-	13,8	19,8	17,9	17,8
SACHSEN-ANHALT								

Fortsetzung Tabelle 3

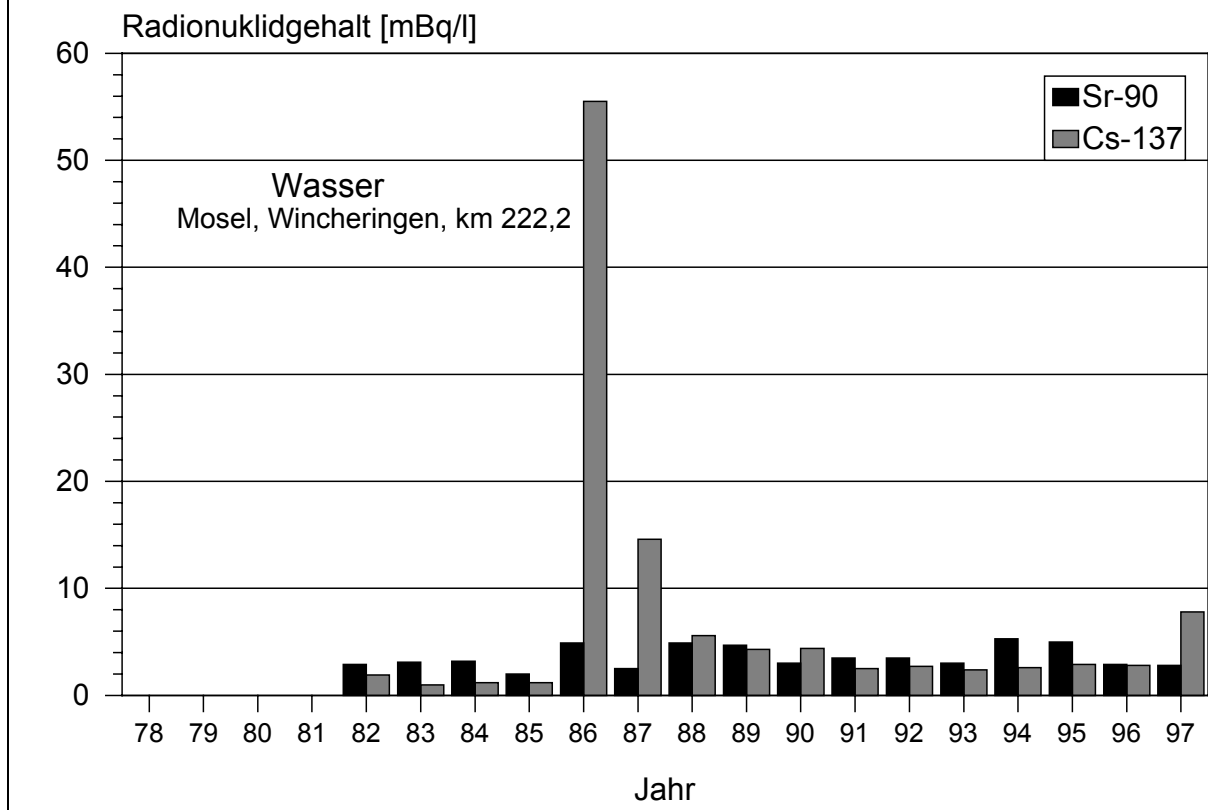
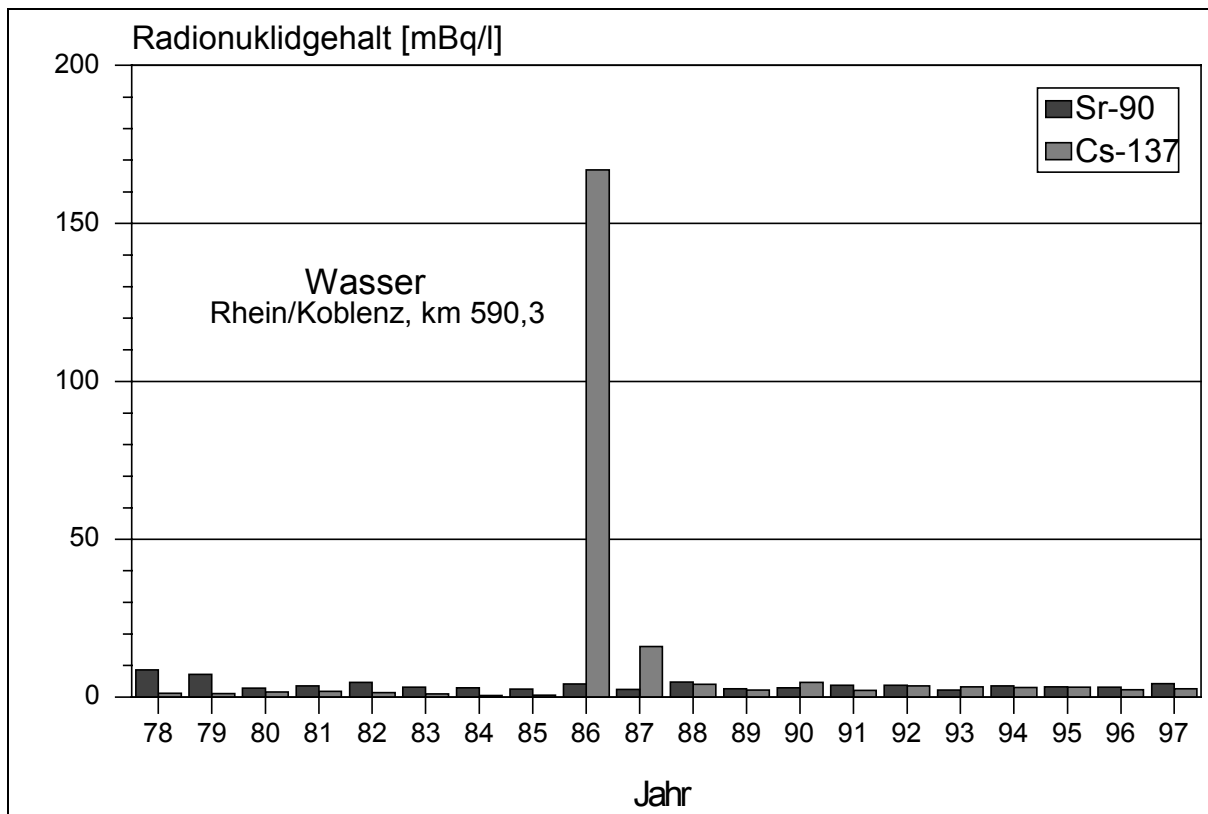
GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min.-Wert	Max.-Wert	1997	1996
ARENDSSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,10	0,13	0,12	0,10
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Arendsee	4	-	37,8	42,6	39,8	41,8
SCHOLLENER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,032	0,094	0,059	0,064
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schollene	4	-	229	323	265	329
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
SCHAALSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,011	0,014	0,013	0,014
	Cs-137		4	-	0,018	0,029	0,022	0,021
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seedorf	4	-	227	299	262	104
WITTENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Gr. Wittensee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		3	-	0,014	0,020	0,017	0,016
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Gr. Wittensee	4	-	19,0	25,2	21,3	24,5



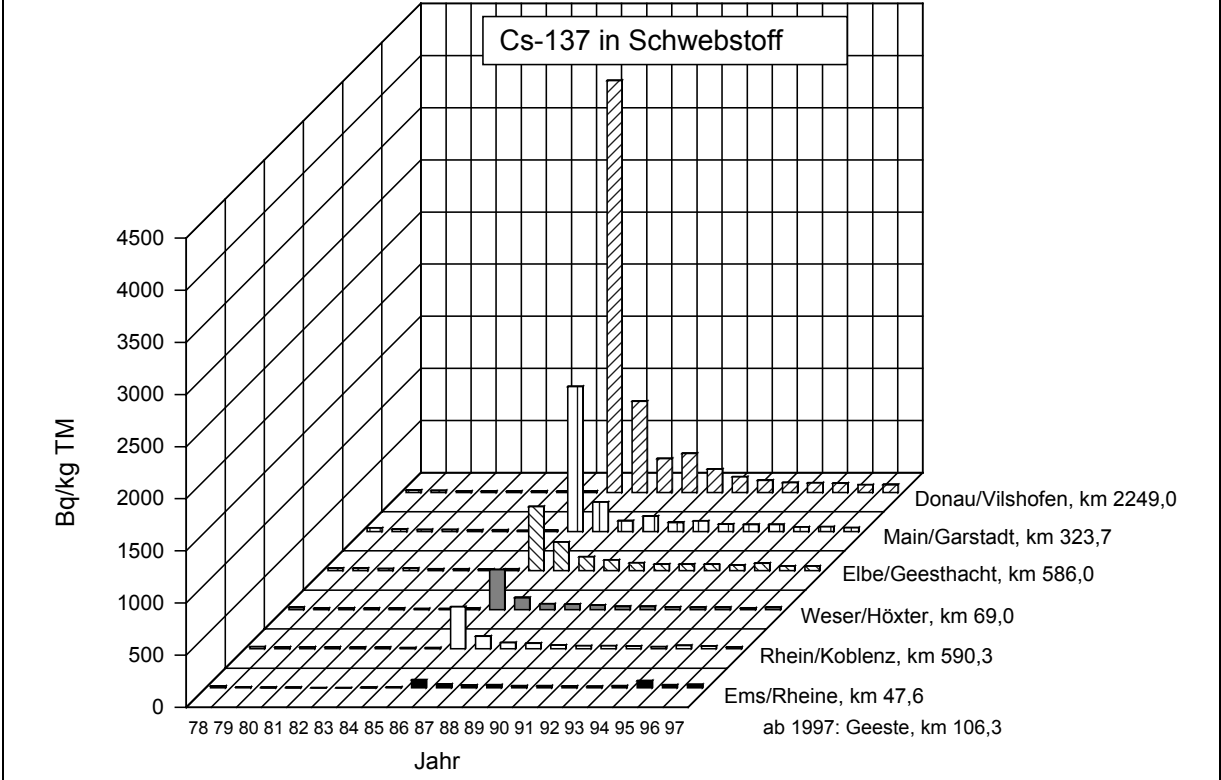
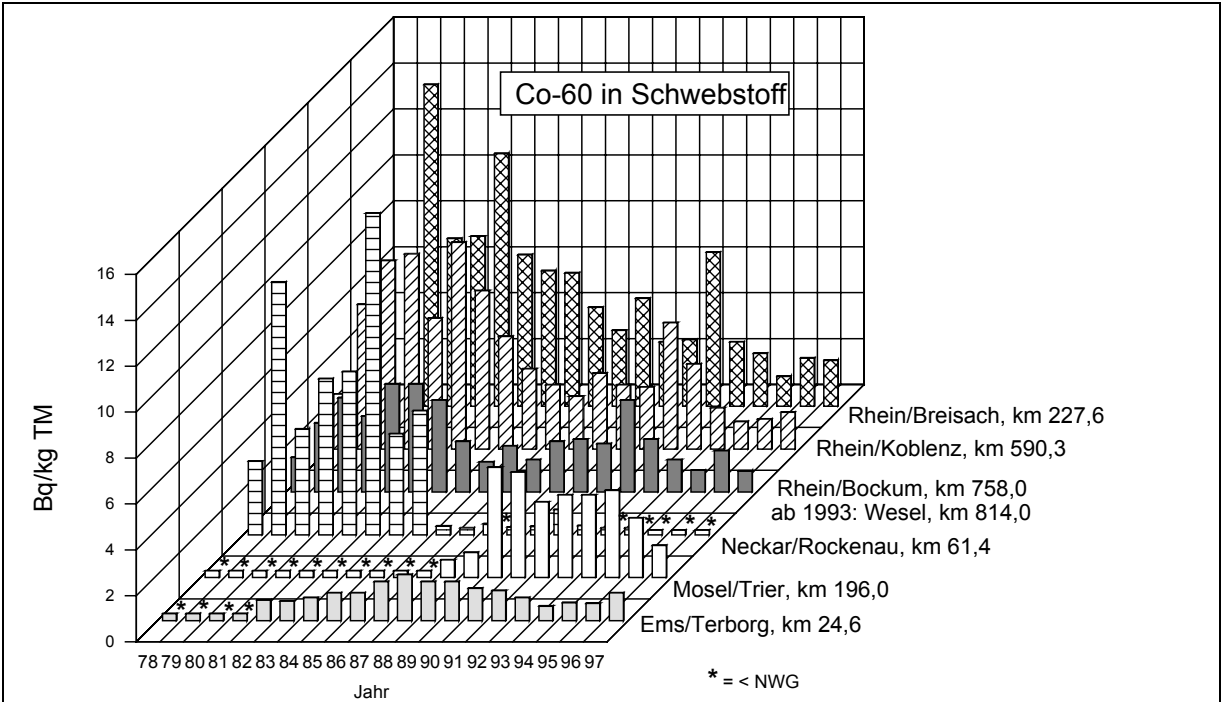
● Wasser ⊖ Schwebstoff ⊘ Sediment
 ⊕ Warnstelle, in Vorbereitung
 ⊕ Warnstelle, in Betrieb

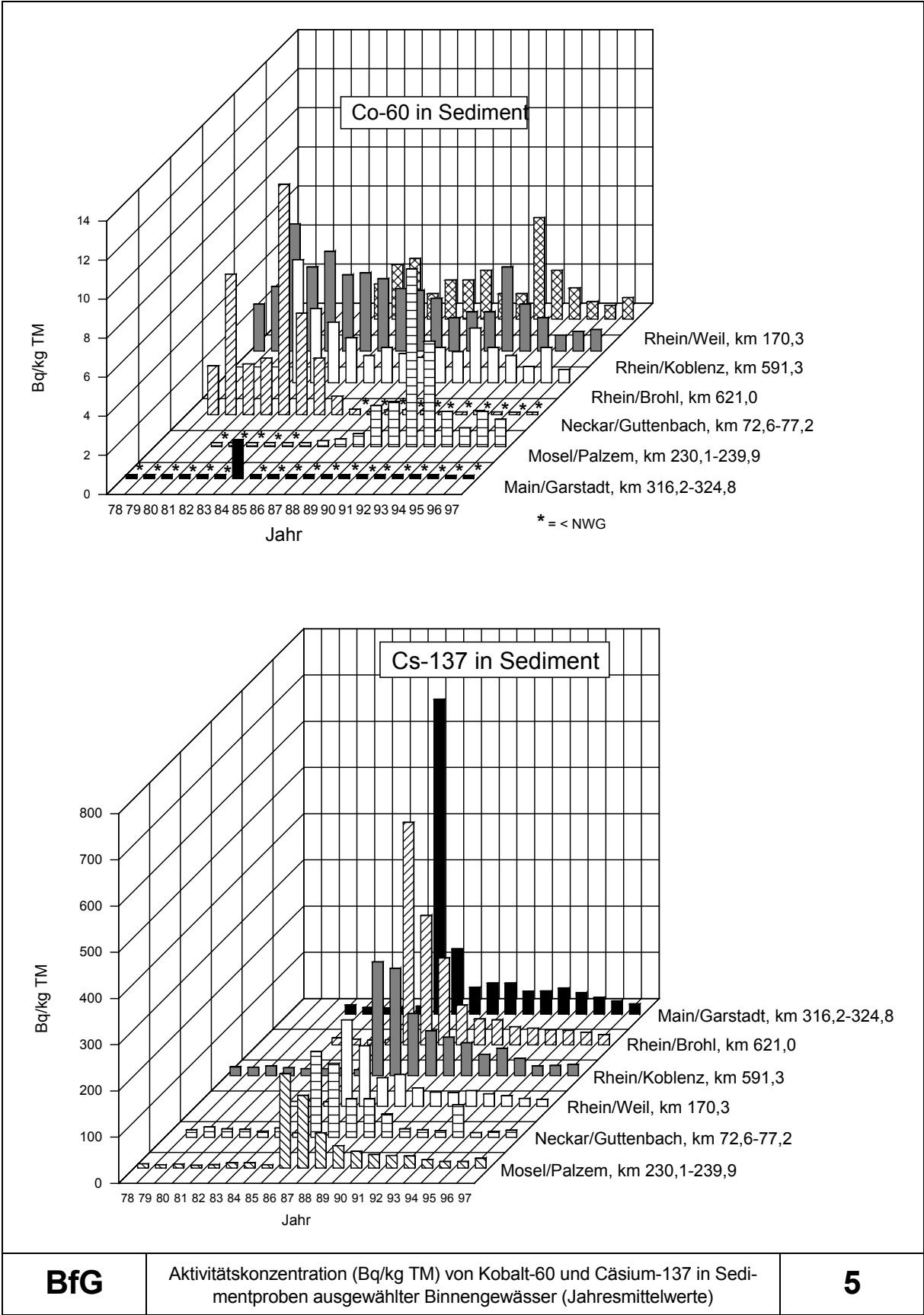


BfG	Tritiumgehalt (Bq/l) ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)	2
------------	---	----------



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 Sedimentproben ausgewählter Binnengewässer (Jahresmittelwerte)

5

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment

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

Die Aktivitätskonzentrationen langlebiger künstlicher Radionuklide in der Nordsee werden seit vielen Jahren überwiegend durch die legalen Einleitungen radioaktiver Abwässer der europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See bestimmt. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der 60er Jahre bestimmt.

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

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

Entsprechend den unterschiedlichen Nuklidmustern der Einleitungen durch La Hague und Sellafield weisen diese beiden Wassermassen auch unterschiedliche Kontaminationen an künstlichen Radionukliden auf. In den letzten Jahren ist eine allgemeine Tendenz zur Abnahme der Einleitungen beider Wiederaufbereitungsanlagen zu erkennen, wobei die Einleitungen aus der Anlage Sellafield mit der Inbetriebnahme einer Ionenaustauscheranlage im Jahr 1985 außerordentlich stark zurückgingen. So nahm auch bis Anfang der neunziger Jahre die Aktivitätskonzentration an **Cäsium-137** in der mittleren Nordsee mit einer durch die Strömung bedingten Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren kontinuierlich ab. Seitdem sind die Konzentrationen auf sehr niedrigem Niveau nahezu konstant. Im Gegensatz zur allgemeinen Tendenz nahmen die Einleitungen der Anlage Sellafield ab dem Jahr 1993 für einige Radionuklide deutlich zu (**Kohlenstoff-14, Strontium-90, Technetium-99 und Jod-129**). Diese Änderung der Einleitungsolitik führte dazu, dass auch im Jahre 1997 ein signifikanter Anteil der Strahlenbelastung der sogenannten 'kritischen Gruppe', d.h. eine Gruppe von Personen, deren Lebensgewohnheiten durch starken Verzehr von Meeresfrüchten gekennzeichnet ist, in der Nähe der Wiederaufarbeitungsanlage durch das Nuklid Tc-99, welches sich durch starke Anreicherung in Muscheln und Schalentieren auszeichnet, hervorgerufen wurde. Die Gesamtaktivität der Einleitungen von La Hague lag ständig weit unter derjenigen von Sellafield. Beide Wiederaufbereitungsanlagen erhöhen seit Jahren stark ihre Einleitungen an **Tritium (H-3)**. Dieses Radionuklid wird im Meeresbereich als nicht relevant für die Strahlenbelastung des Menschen angesehen.

Das Monitoring der künstlichen Radioaktivität durch das BSH erstreckt sich in der Nordsee seit Jahren schwerpunktmäßig auf die Nuklide H-3, **Cs-137, Sr-90** und einige Transurane (**Plutonium-238, Plutonium-239+240 und Plutonium-241; Americium-241 und Curium-244**). Diese Radionuklide werden als radiologisch relevant für eine Strahlenbelastung des Menschen aus der Meeresumwelt angesehen. Darüber hinaus werden in gewissen Abständen die Nuklide Tc-99 und **Antimon-125** gemessen.

In den Abbildungen 1 und 2 ist der zeitliche Verlauf der Cs-137 bzw. Sr-90 Aktivitätskonzentrationen an den Positionen der früheren Feuerschiffe "Elbe 1" und "Borkumriff" seit 1961 bzw. 1980 dargestellt. Die durch den Fallout von Tschernobyl in die Nordsee eingetragenen Nuklide wurden bereits weitgehend bis 1988 durch die Meeresströmungen entlang der norwegischen Küste in Richtung Nordmeer transportiert, so dass im Wasser der Nordsee im Jahr 1997 keine Rückstände von diesem Unfall mehr nachweisbar waren.

In den Abbildungen 3 - 9 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90, H-3, Pu-239+240, Pu-238, Am-241 und Cm-244 in der südlichen Nordsee, dem Englischen Kanal und in der östlichen Biskaya im April 1997 dargestellt. Die Einleitungen aller Radionuklide mit Ausnahme von H-3 durch die WAA La Hague sind in den Jahren 1991 bis 1997 sehr gering im Vergleich zu den Vorjahren gewesen. Trotzdem ist in den Abbildungen 3 - 9 ein deutlicher Anstieg sämtlicher untersuchter Radionuklide im Englischen Kanal im Vergleich mit den Konzentrationen im Atlantik festzustellen.

In den Abbildungen 10 - 17 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90, H-3, Tc-99, Pu-239+240, Pu-238, Am-241 und Cm-244 in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1997 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Aktivitätskonzentrationen für alle 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. Die Quelle für die meisten der hier gefundenen Nuklide, insbesondere von Cs-137 und der Transurane, liegt in der Resuspension des Sedimentes in der Irischen See und nicht in den derzeitigen Einleitungen der WAA Sellafield. Das Sediment der Irischen See ist durch Einleitungen in den siebziger Jahren stark kontaminiert.

Eine Ausnahme stellt Tc-99 dar (Abb. 13). Die in der südlichen Nordsee gefundenen Konzentrationen liegen im Jahr 1997 signifikant über vergleichbaren Werten aus den Jahren 1990-93, die aus Einleitungen der WAA La Hague herrührten.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass in der Nordsee

1. trotz der Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 im Skagerrak 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 zurückgegangen sind. Die zunehmenden Sr-90 Einleitungen der WAA Sellafield sind erstmals im Frühjahr 1996 in der südlichen zentralen Nordsee nachgewiesen worden.
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.

In die Ostsee werden diese 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 18 stellt den Verlauf der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 an der Position Schleimündung in der Ostsee seit 1961 dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentration an der Position "Schleimündung" (54°40'N, 10°05'E) sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt. Der Ausstrom von durch den Reaktorunfall von Tschernobyl höher kontaminierten Wassermassen aus der Ostsee in die Oberflächenschicht des Kattegat und Skagerrak ist auch in den Abbildungen 3 und 8 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 19 und 20 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 in der westlichen und südlichen zentralen Ostsee im Juni 1997 dargestellt.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 lagen im untersuchten Gebiet der Ostsee zwischen 55 und 79 Bq/m³ (Abb. 19). 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. 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.

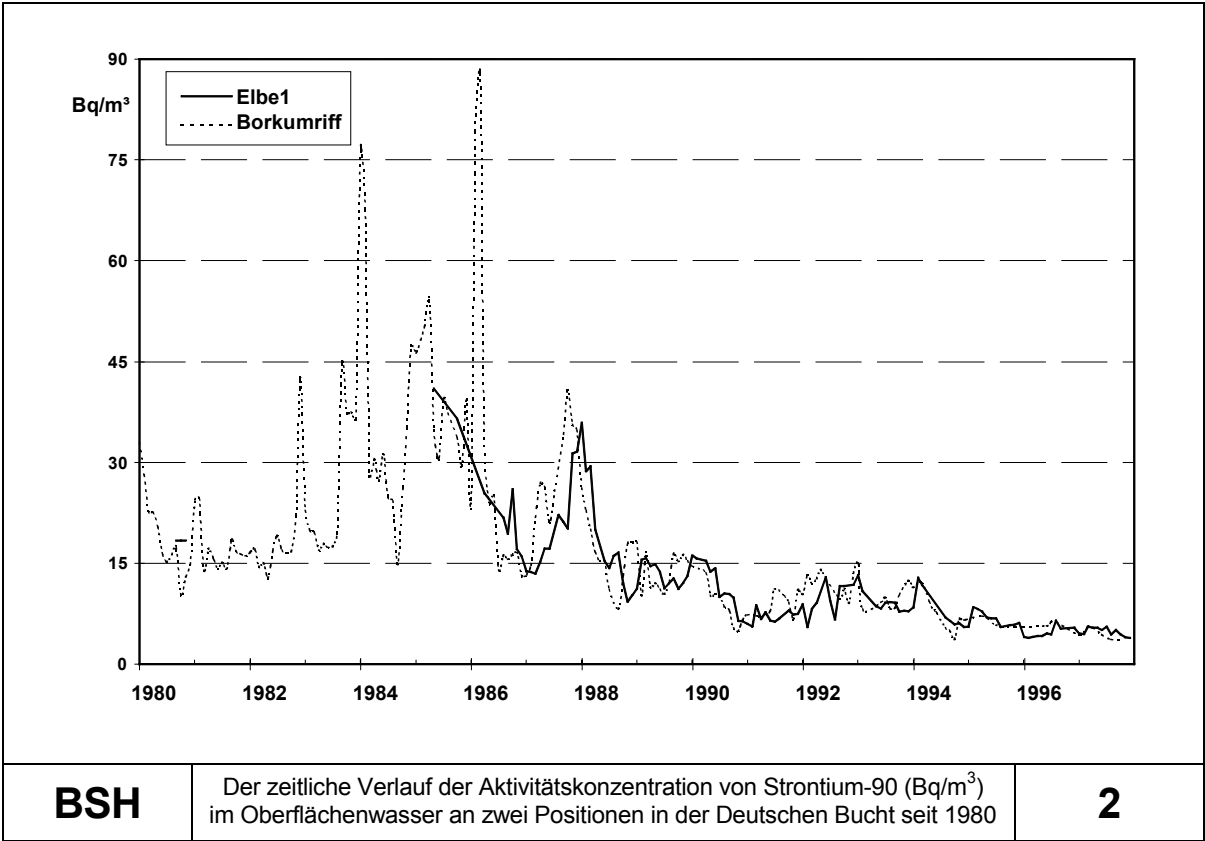
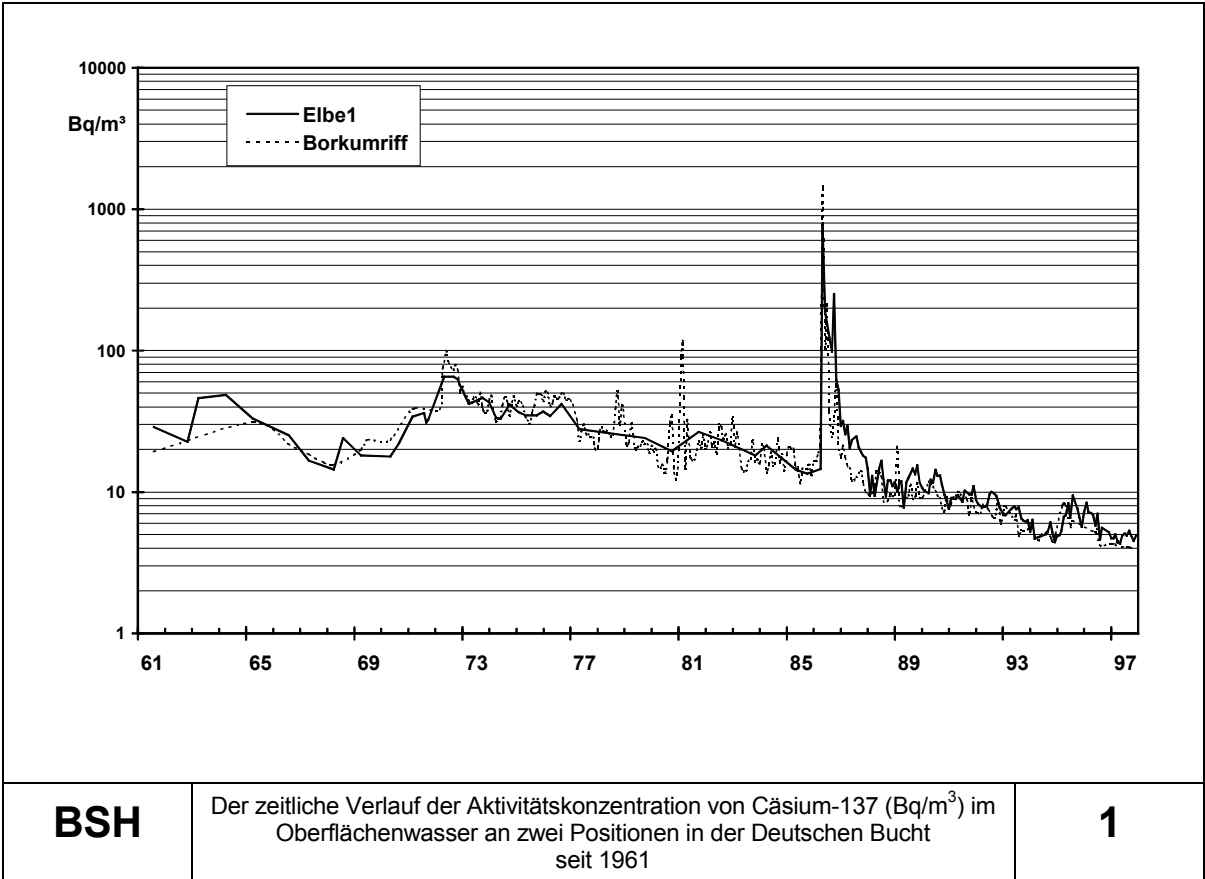
Die langjährige Entwicklung der mittleren Tritiumgehalte der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (Abb. 21) zeigt für die Ostsee einen stark rückläufigen Trend, der auf die abnehmende Konzentration im Süßwassereintrag zurückzuführen ist. Die Ursache für ansteigende Tritiummesswerte in der Deutschen Bucht in den Jahren 1993 bis 1997 sind die deutlich höheren Einleitungen der WAA La Hague.

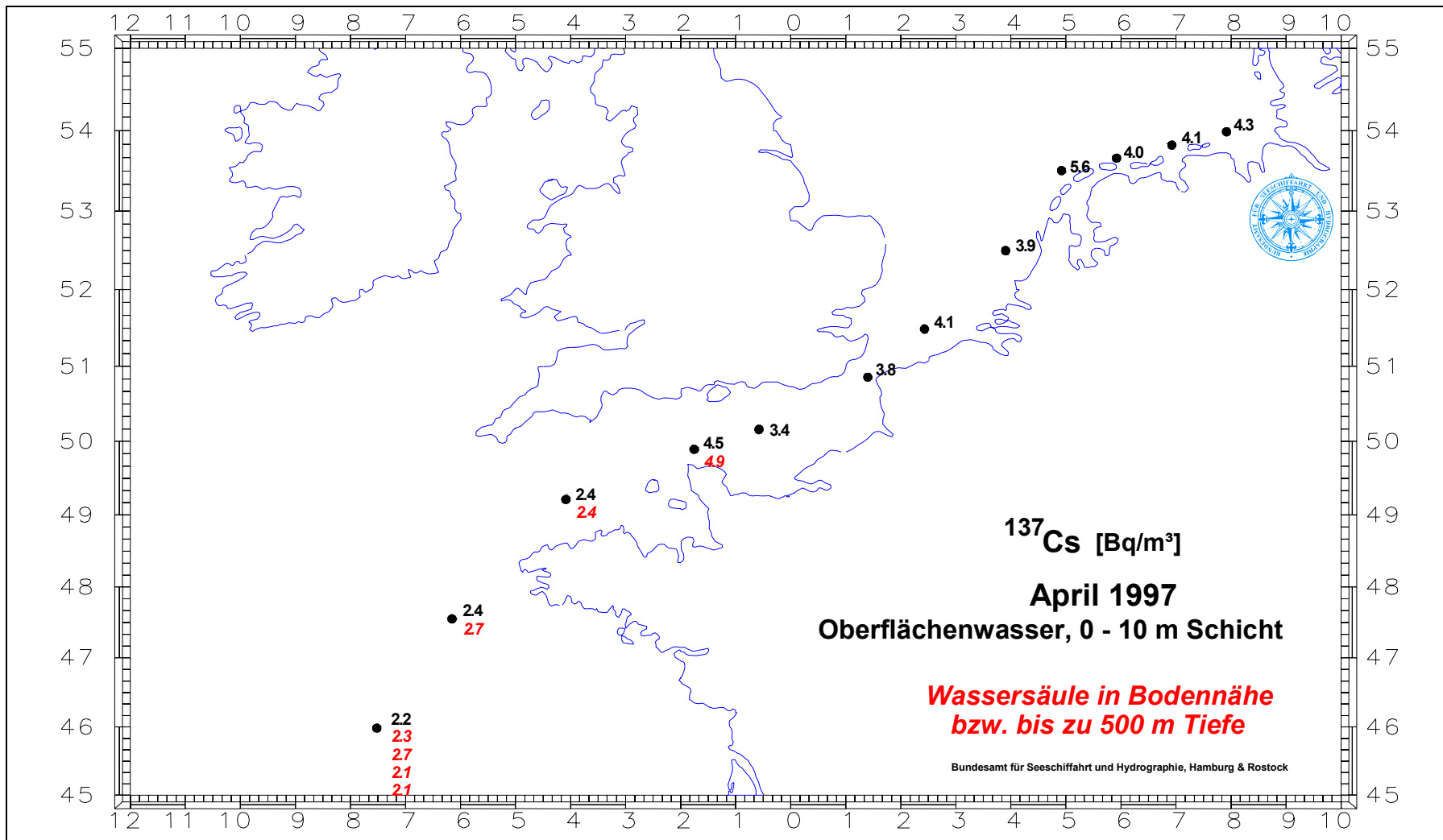
Sedimente

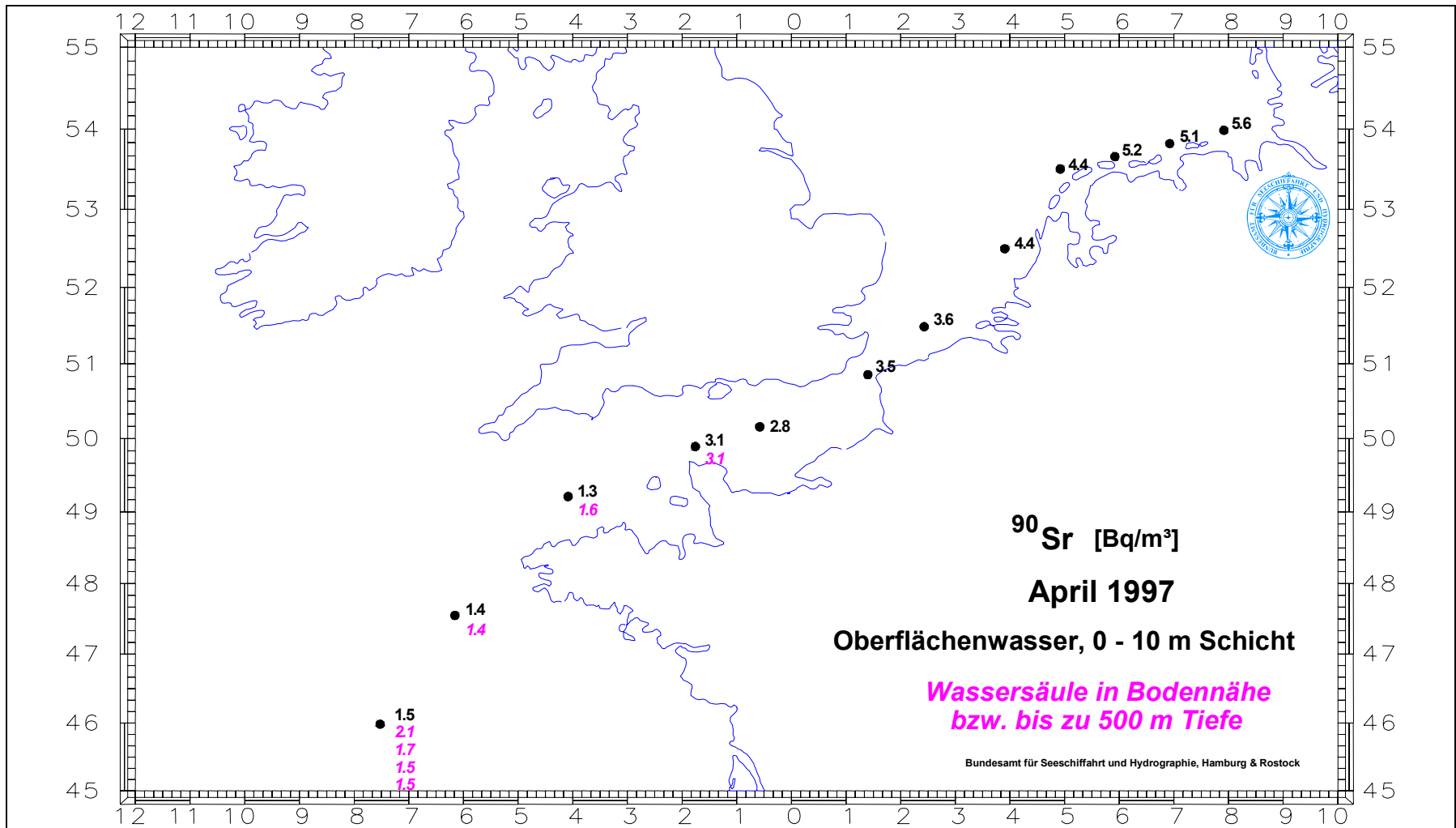
Das Sediment ist eine wesentliche Senke für den Verbleib von in das Meer eingetragenen Schadstoffen. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich die radioaktiven Nuklide durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet diese Anreicherung einen weitgehend irreversiblen Prozess, durch den die Radioaktivität der Wassersäule "ausgekämmt" und in der Meeresbodenoberfläche konzentriert wird.

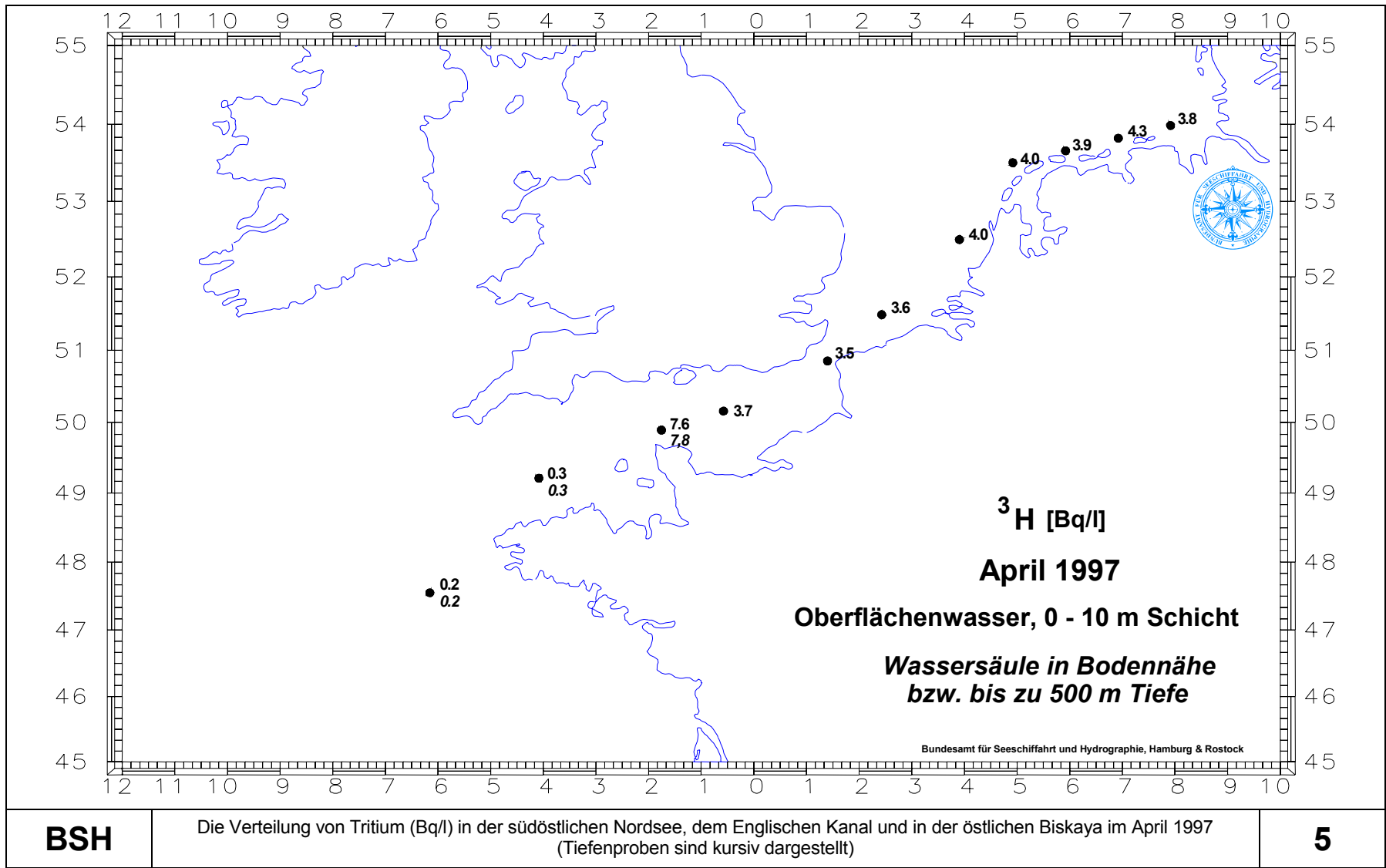
Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für die natürlichen Radionuklide. Einerseits ist dieser Effekt darauf zurückzuführen, dass die Korngröße der meist schlickigen Sedimente in der Ostsee 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 Flächendeposition des Tschernobyl-Eintrages auf das Gebiet der westlichen Ostsee spiegelt sich in den erhöhten Aktivitäten wider.

Die Entwicklung der Belastung der Sedimentoberflächen der westlichen Ostsee durch das Nuklid Cs-137 für die Jahre 1987 bis 1997 ist in Abbildung 22 dargestellt. Die hier dargestellten Stationen sind Bestandteil des Monitoring-Programms im Rahmen der Helsinki-Konvention zum Schutz der Umwelt im Ostseebereich. Scheinbar ist zu erkennen, dass eine hohe Anreicherung (mit Messwerten bis 209 Bq/kg Trockenmasse) vom geographischen Ort der Sedimentprobenentnahme abhängt, d.h. man kann eine Zunahme der Kontamination in westlicher Richtung erkennen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass auf den Stationen im östlichen Teil des dargestellten Gebietes (Fehmarnbelt, Mecklenburger Bucht und Arkona) Sedimente mit einem hohen Sandanteil vorliegen. Auf den Stationen mit höheren Cs-137-Gehalten (z.B. Neustädter Bucht, Kieler Förde) liegen schlickige Sedimente mit besonders großem Feinkornanteil vor. Auf den letztgenannten Stationen kann man für die Jahre nach 1987 eine ansteigende Tendenz beobachten, die in den 90er Jahren in eine Stagnationsperiode mit teilweise leichtem Rückgang übergeht.





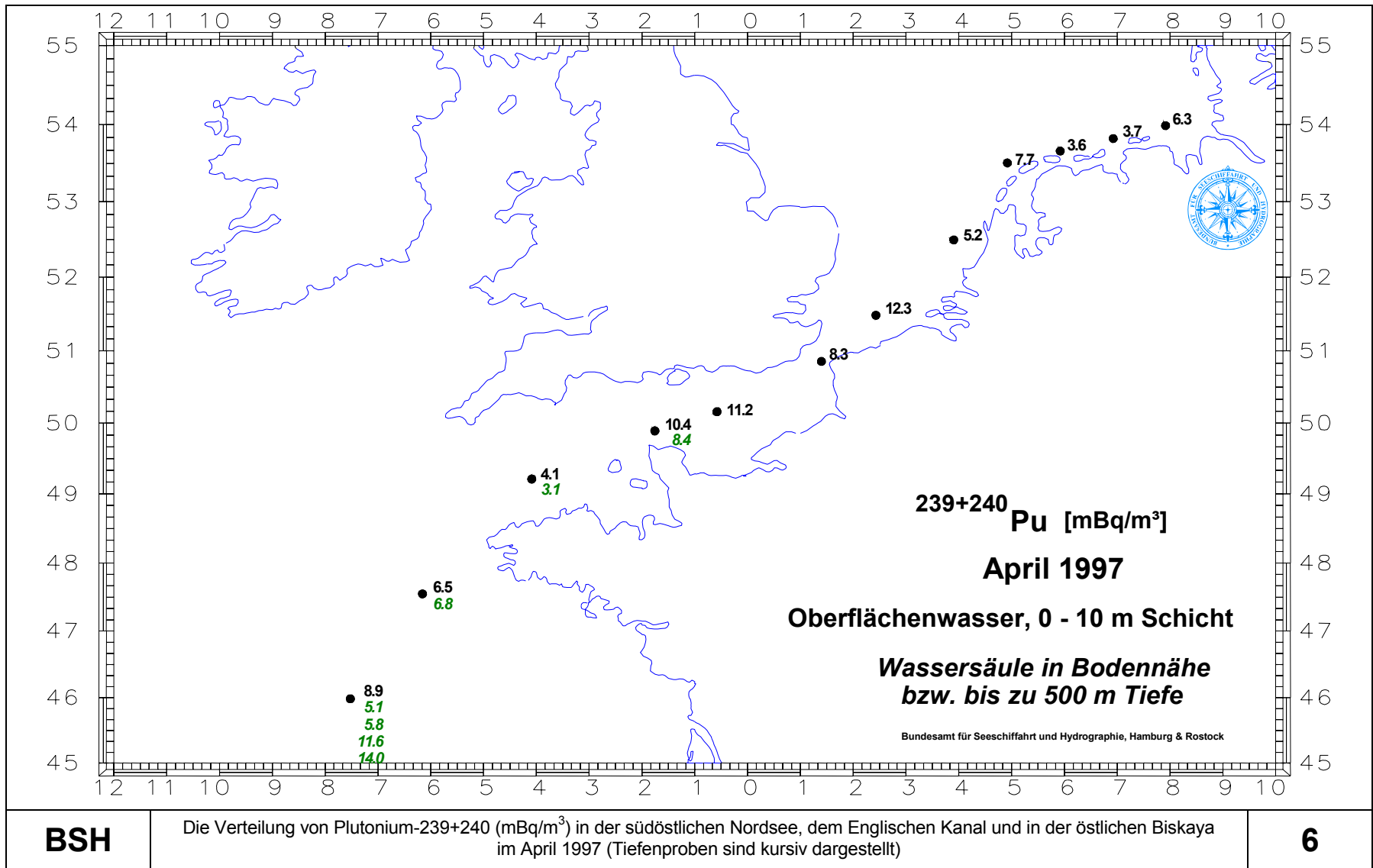




BSH

Die Verteilung von Tritium (Bq/l) in der südöstlichen Nordsee, dem Englischen Kanal und in der östlichen Biskaya im April 1997
 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

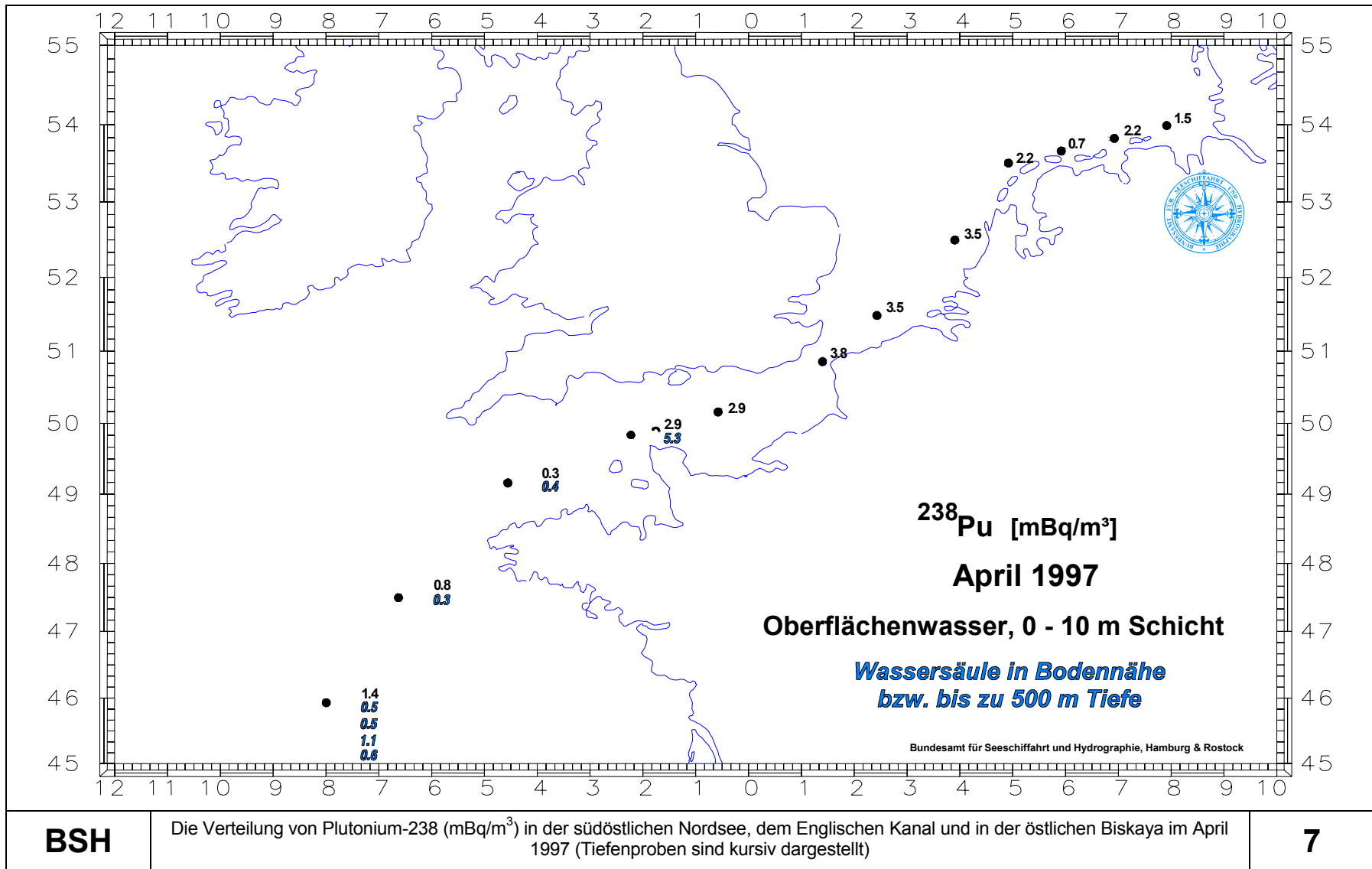
5



BSH

Die Verteilung von Plutonium-239+240 (mBq/m³) in der südöstlichen Nordsee, dem Englischen Kanal und in der östlichen Biskaya im April 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

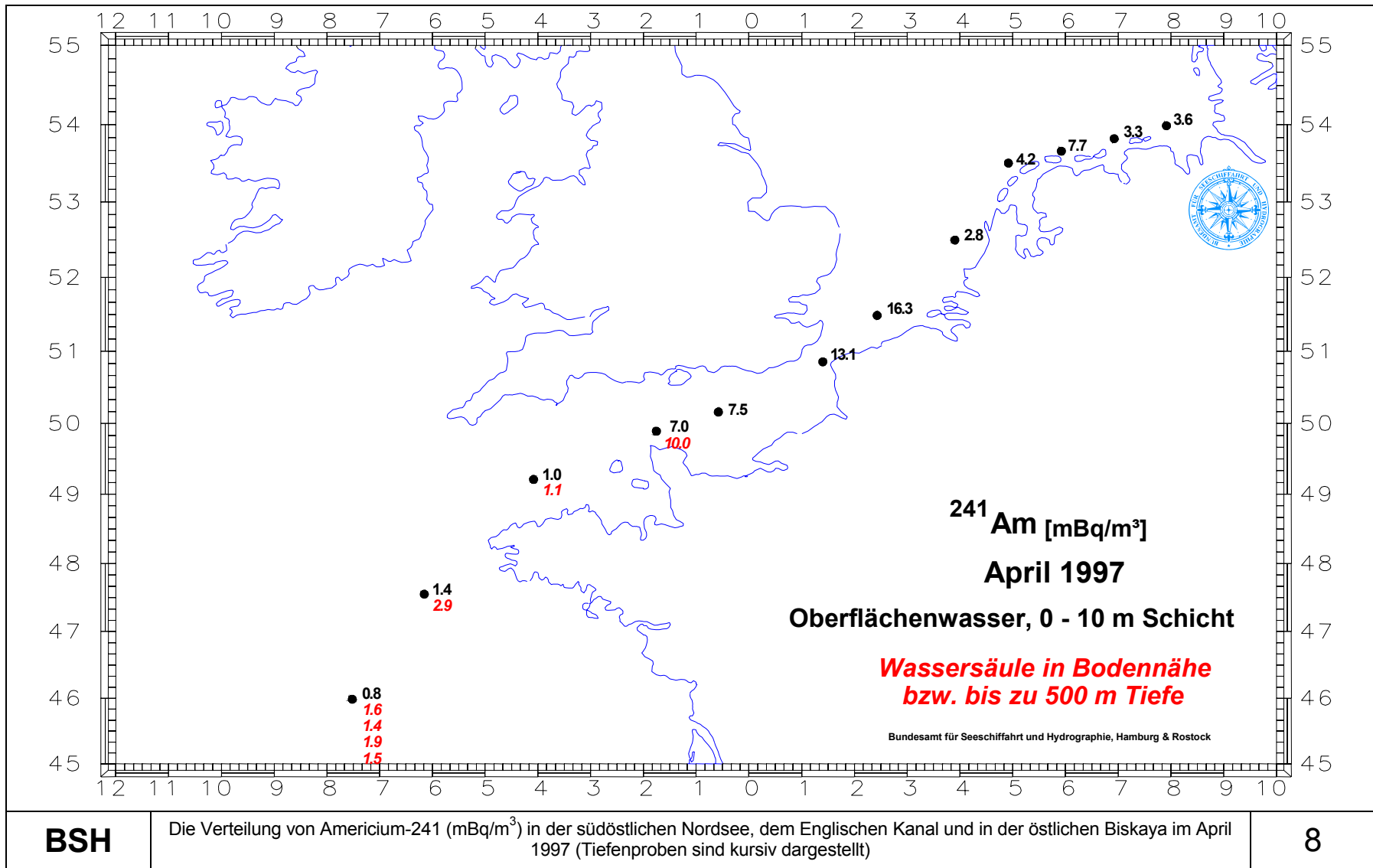
6

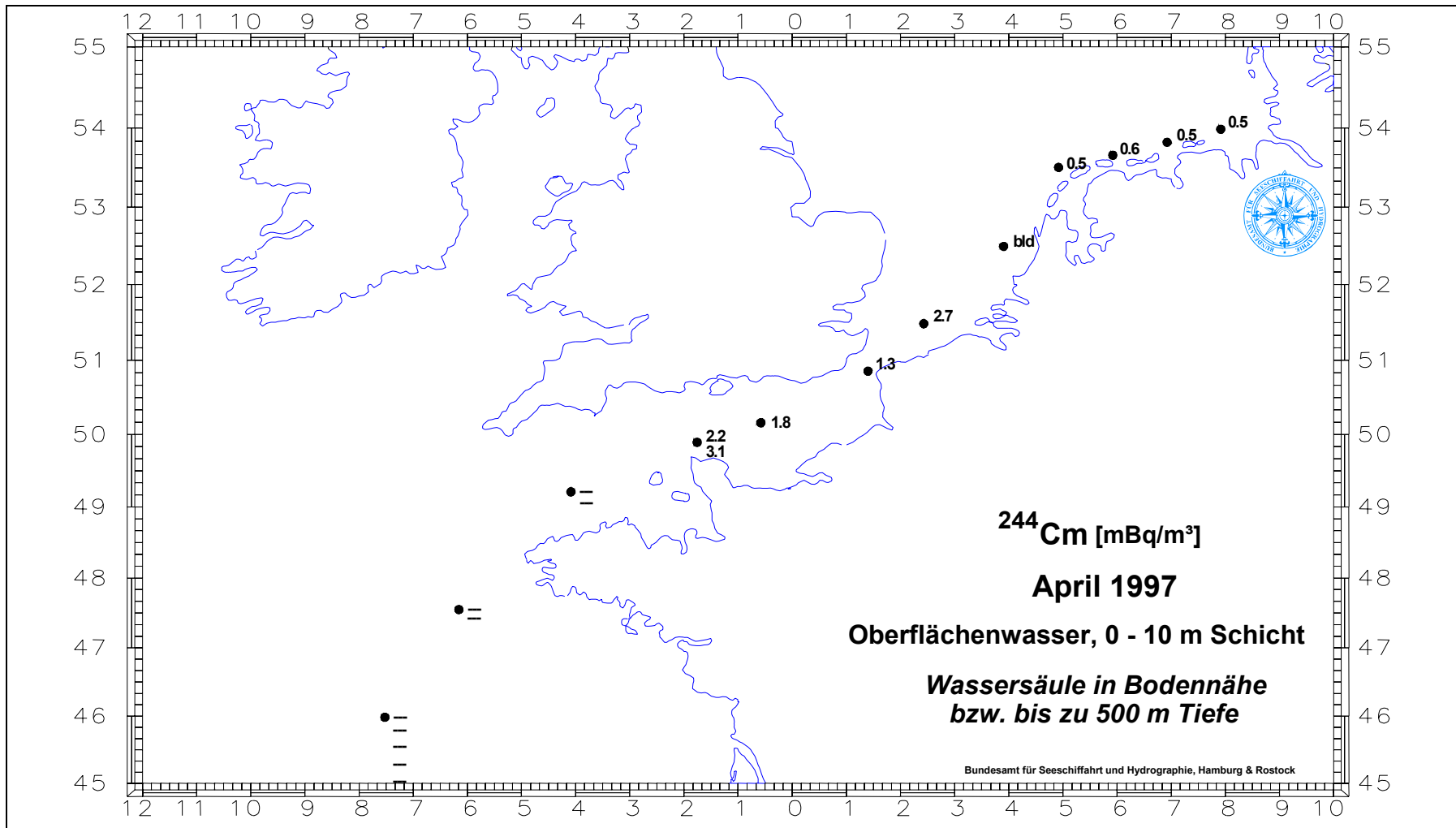


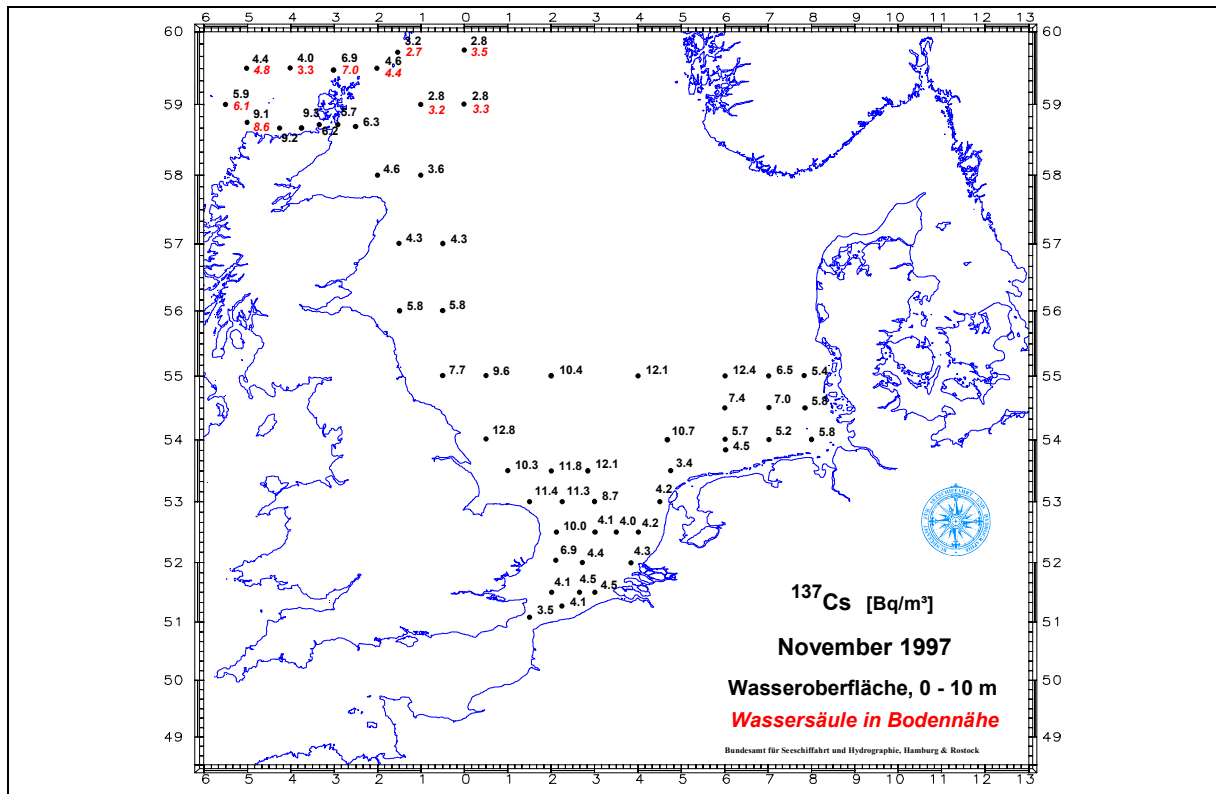
BSH

Die Verteilung von Plutonium-238 (mBq/m³) in der südöstlichen Nordsee, dem Englischen Kanal und in der östlichen Biskaya im April 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

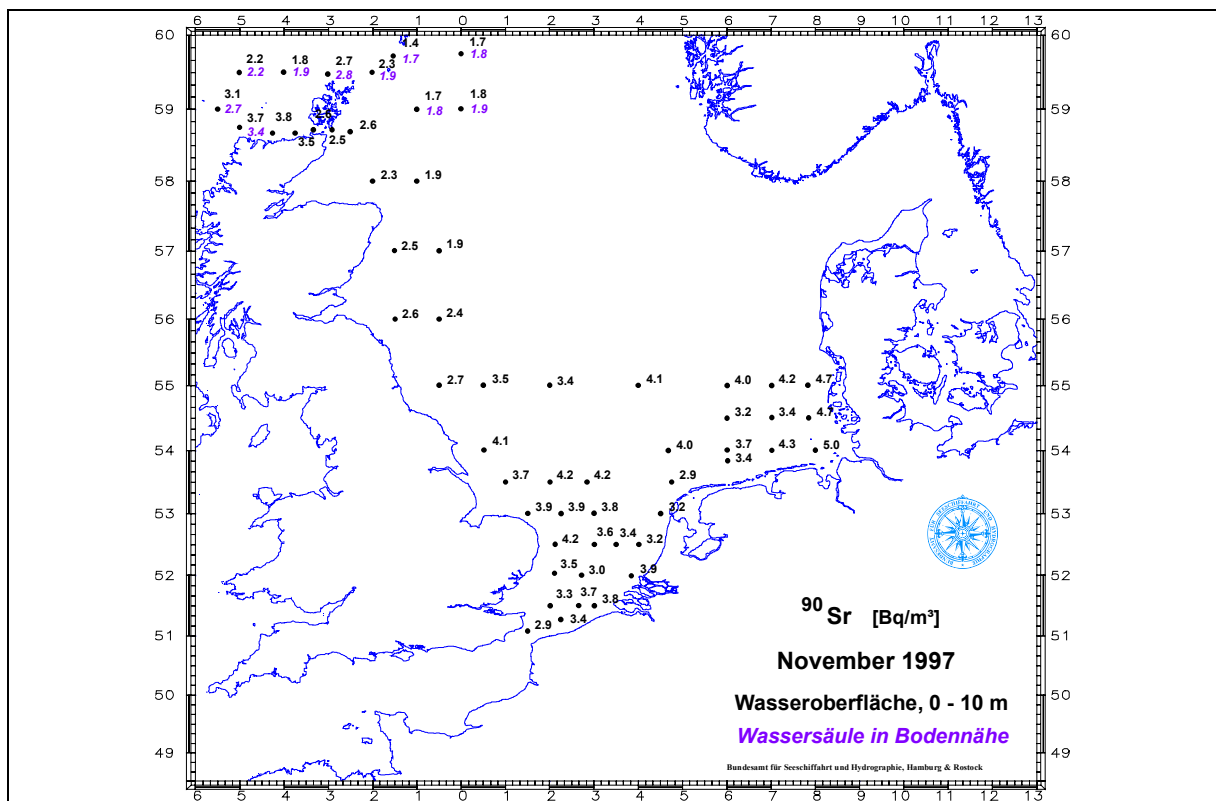
7



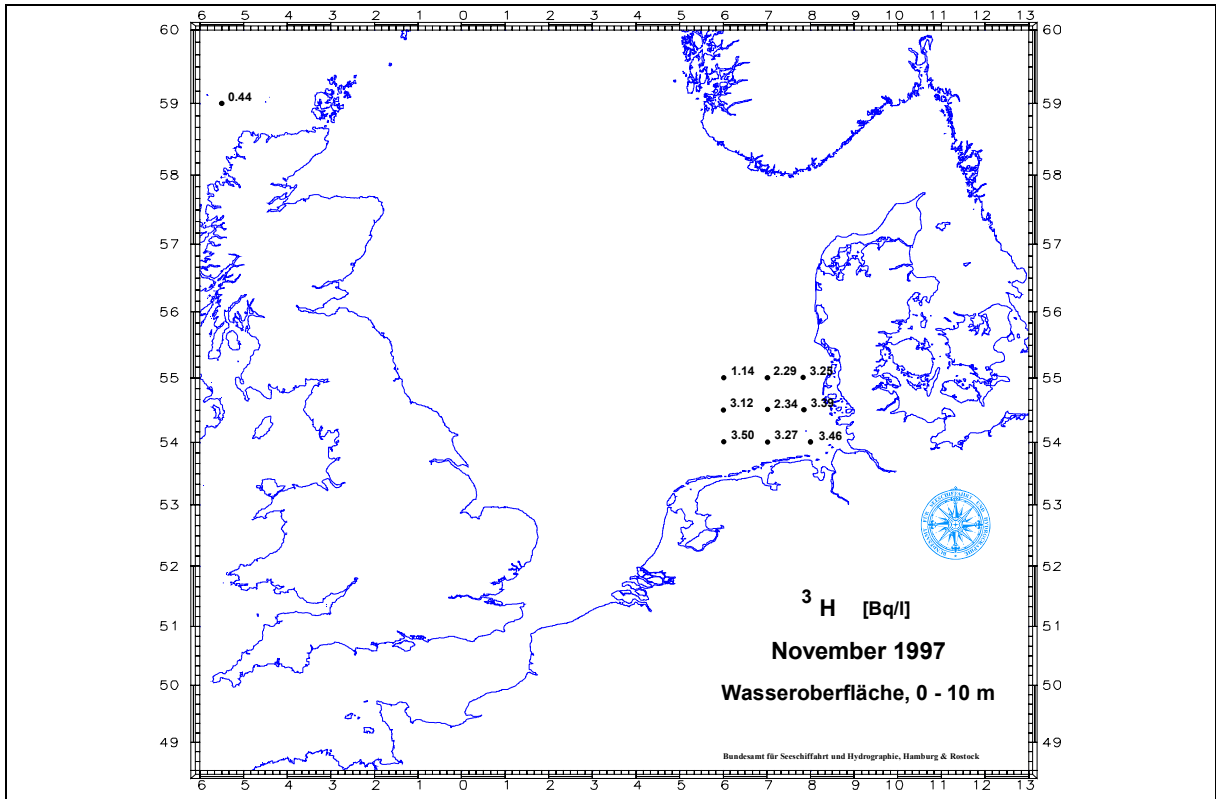




BSH	Die Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m^3) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	10
------------	--	-----------



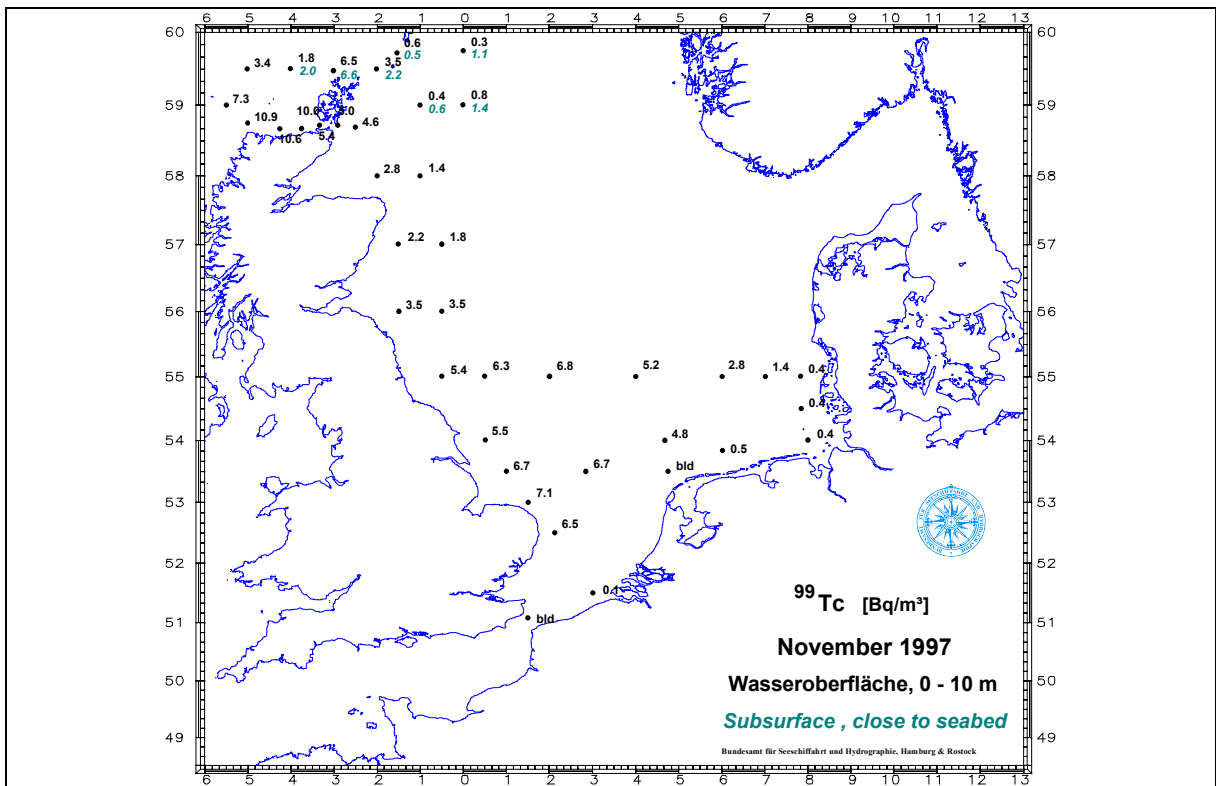
BSH	Die Verteilung von Strontium-90 (Bq/m^3) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	11
------------	--	-----------



BSH

Die Verteilung von Tritium (Bq/l) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässen um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

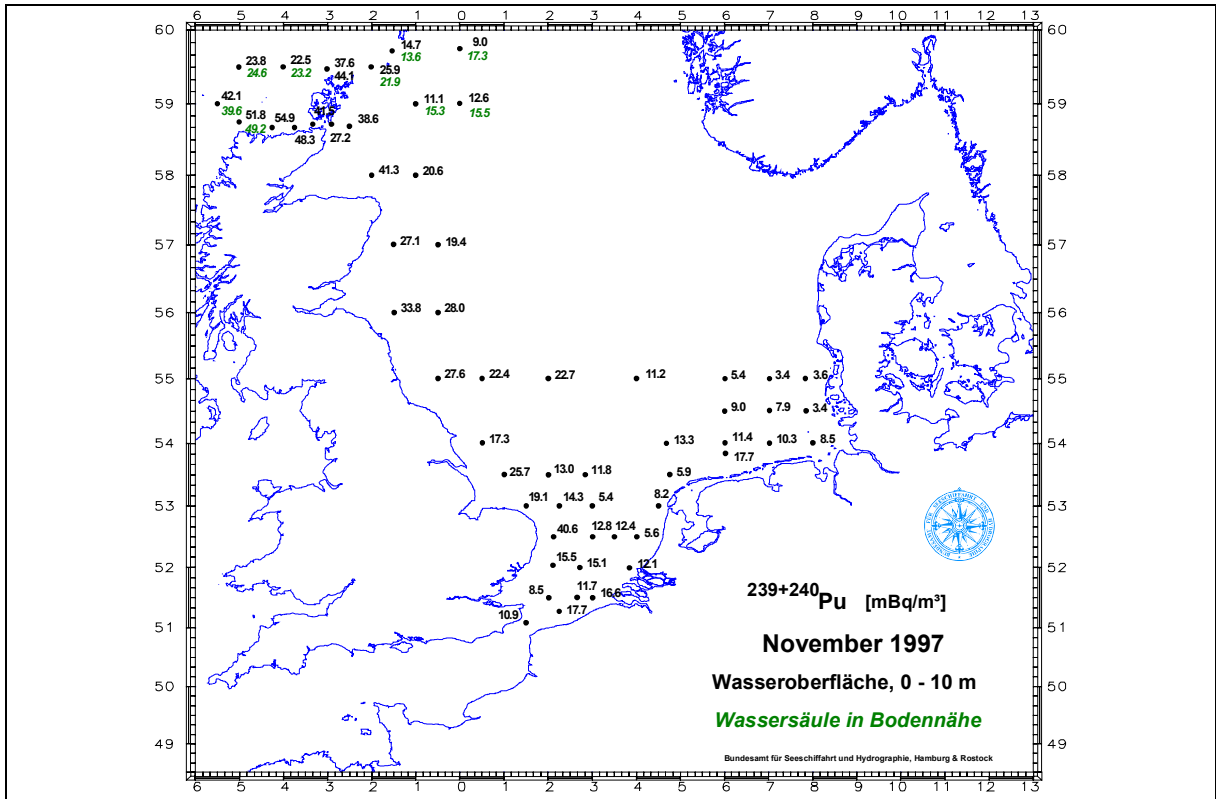
12



BSH

Die Verteilung von Technetium-99 (Bq/m³) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässen um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

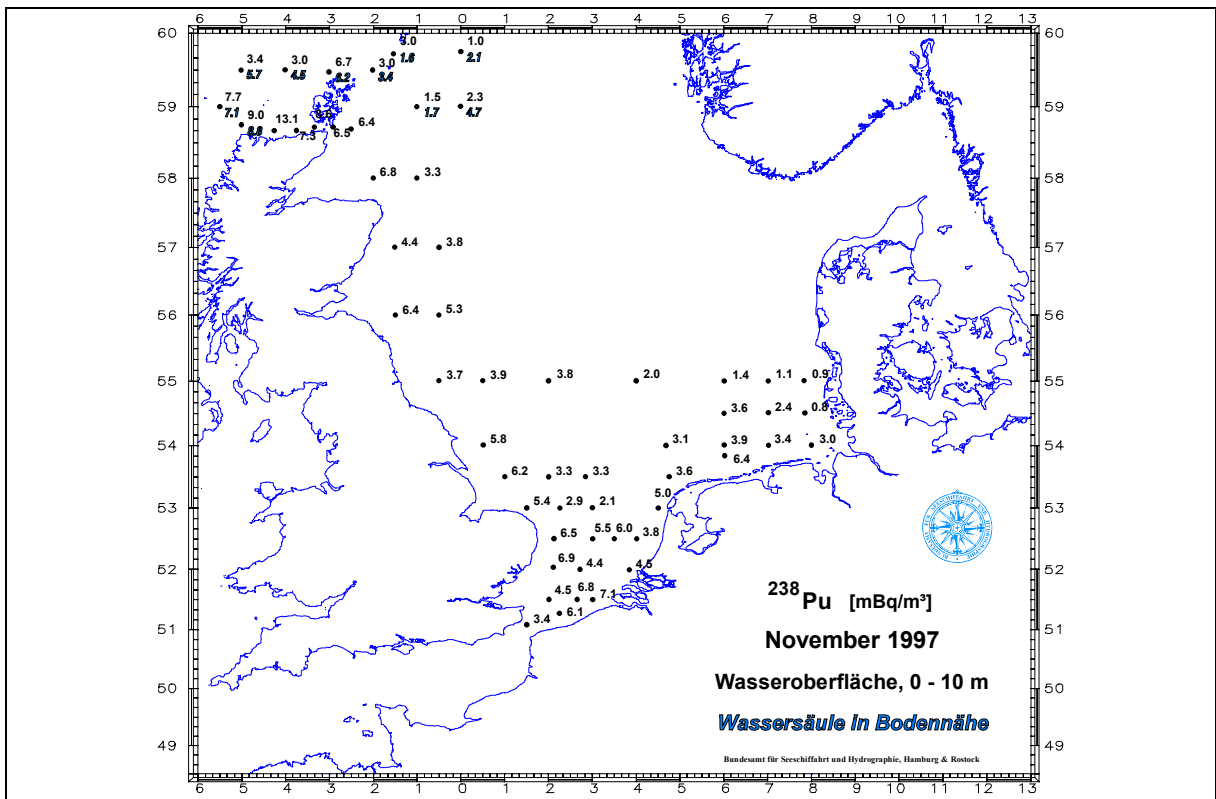
13



BSH

Die Verteilung von Plutonium-239+240 (mBq/m³) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässen um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

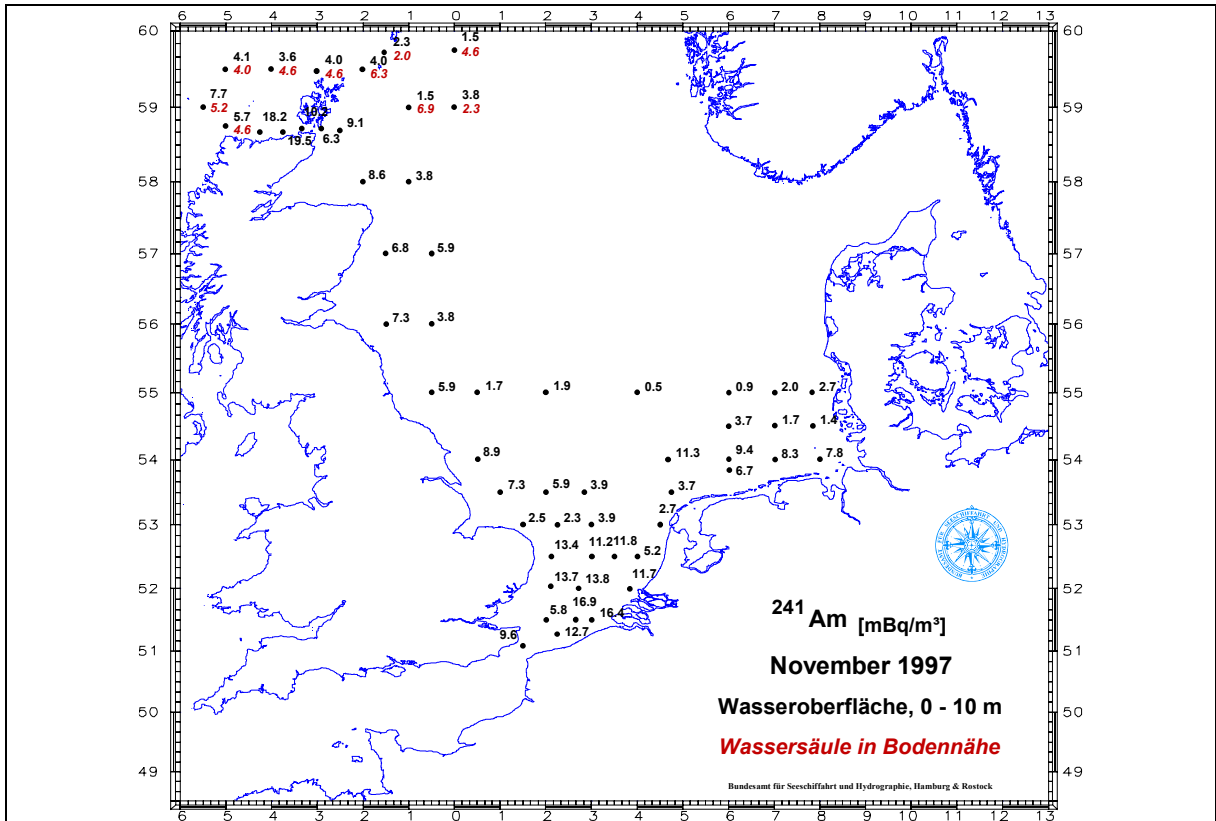
14



BSH

Die Verteilung von Plutonium-238 (mBq/m³) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässen um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

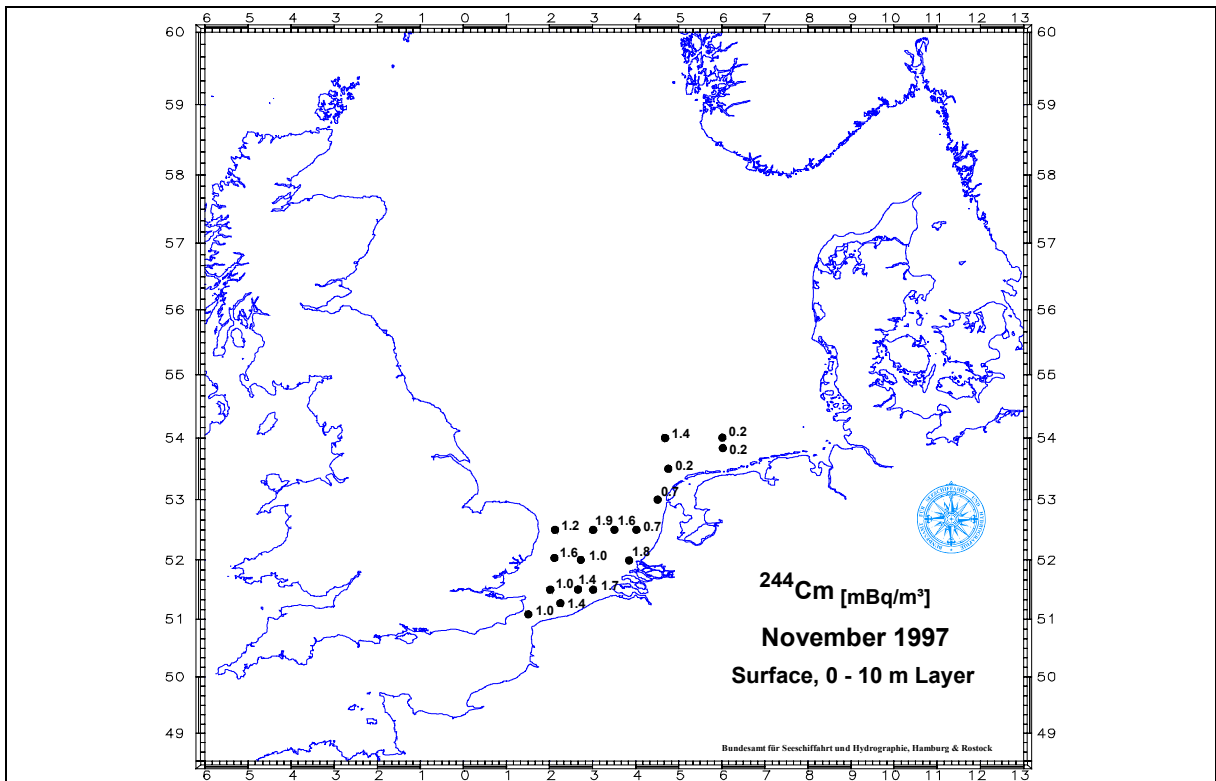
15



BSH

Die Verteilung von Americium-241 (mBq/m^3) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

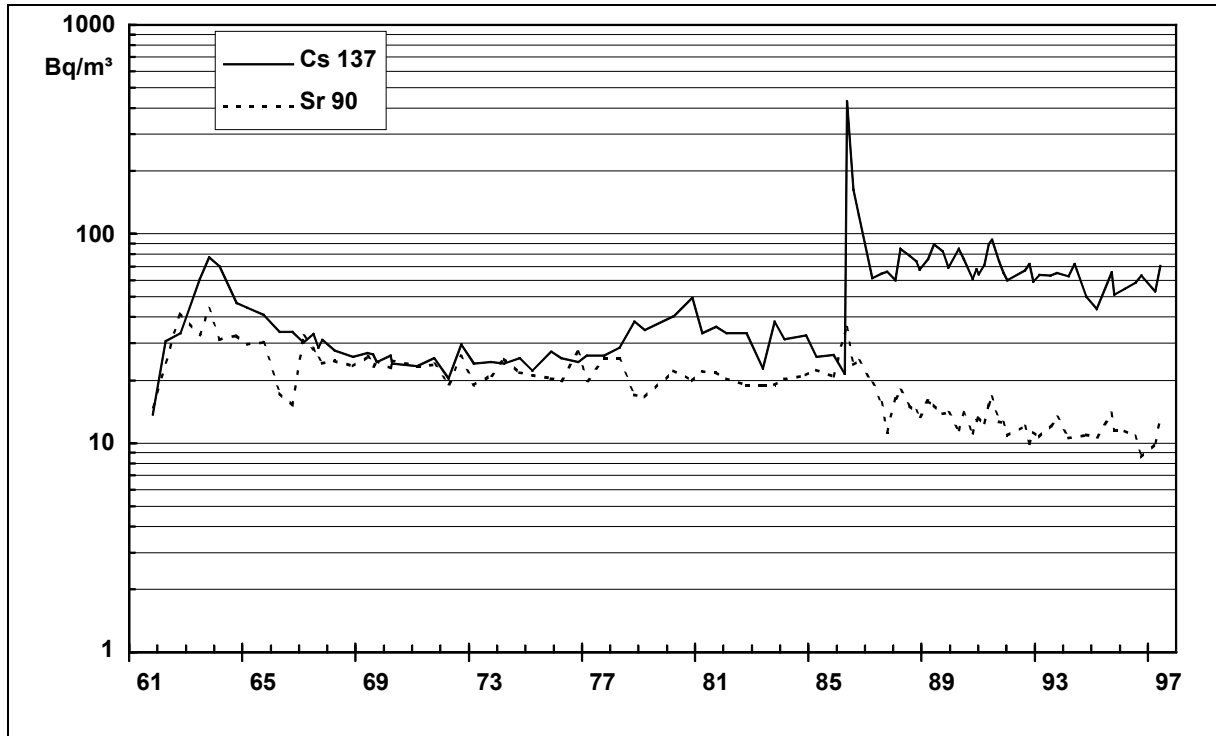
16



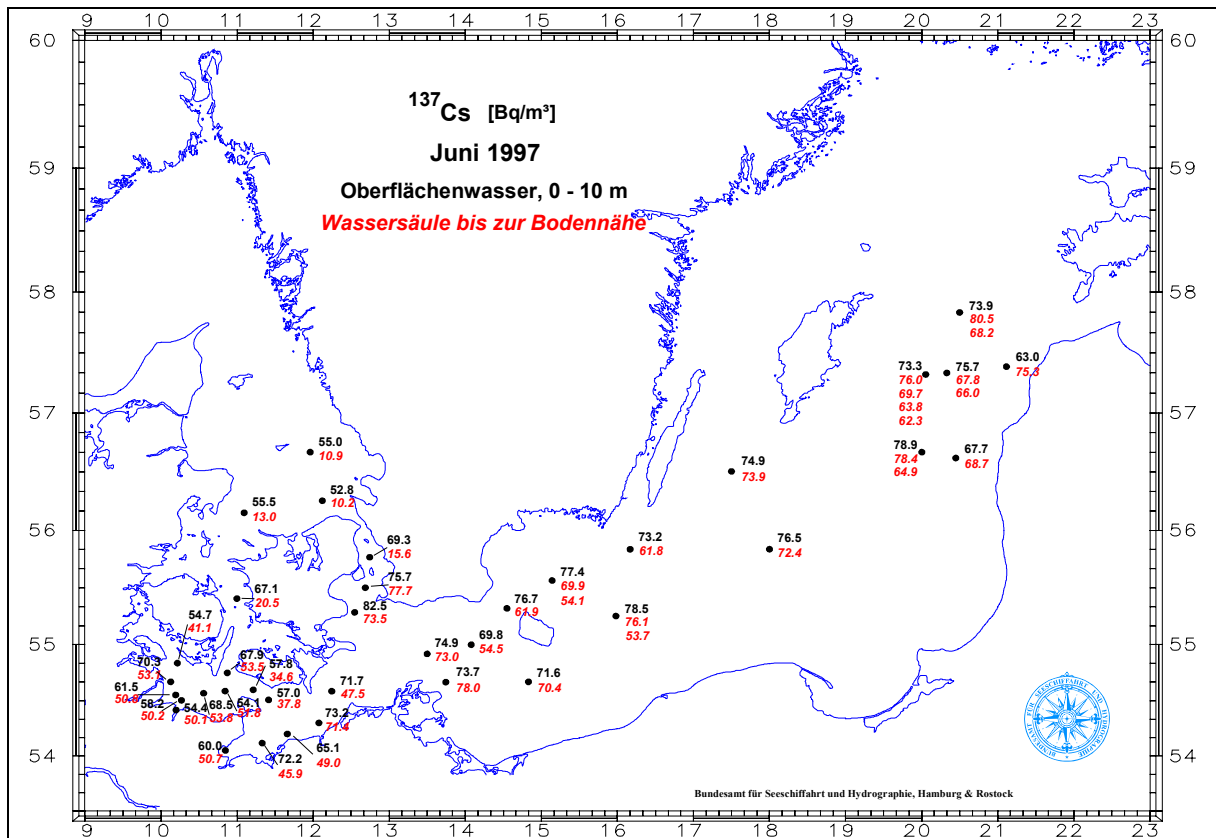
BSH

Die Verteilung von Curium-244 (mBq/m^3) in der südlichen und östlichen Nordsee, der englischen Ostküste und den Gewässern um die Orkneys im November 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)

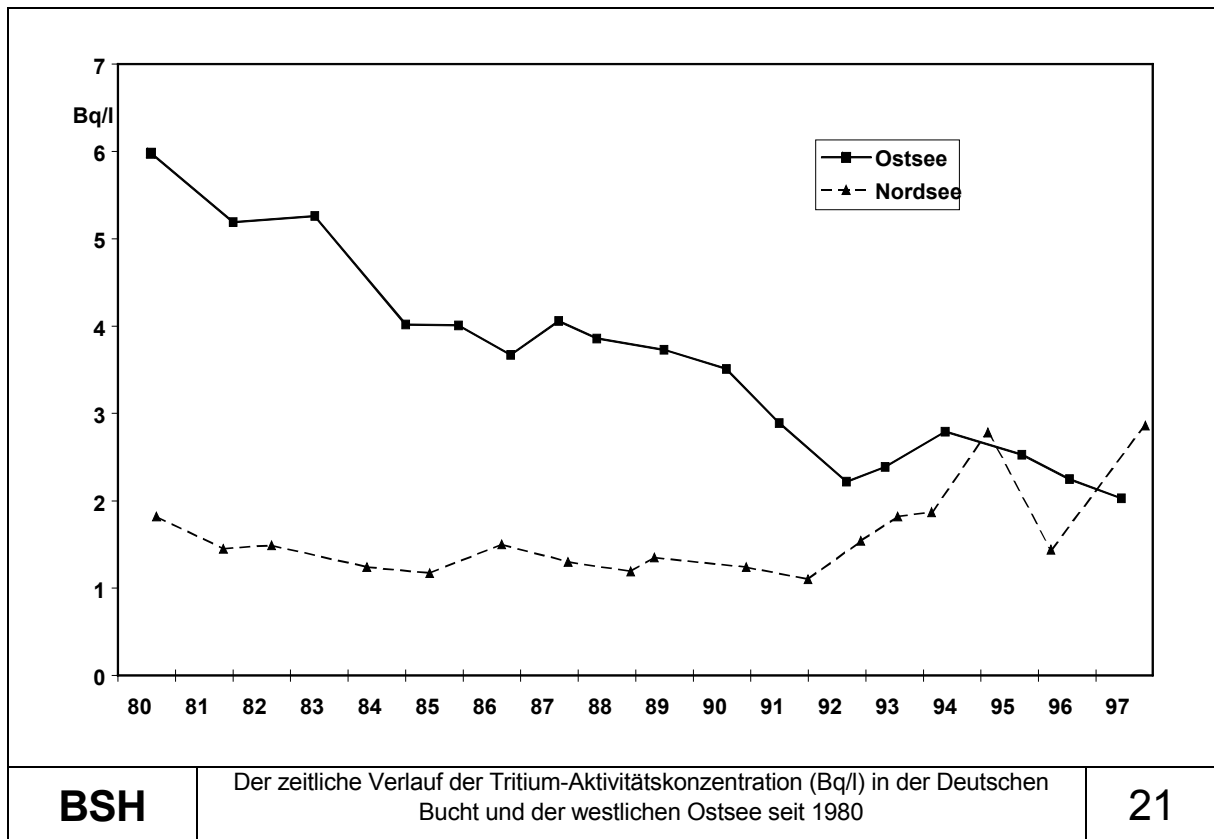
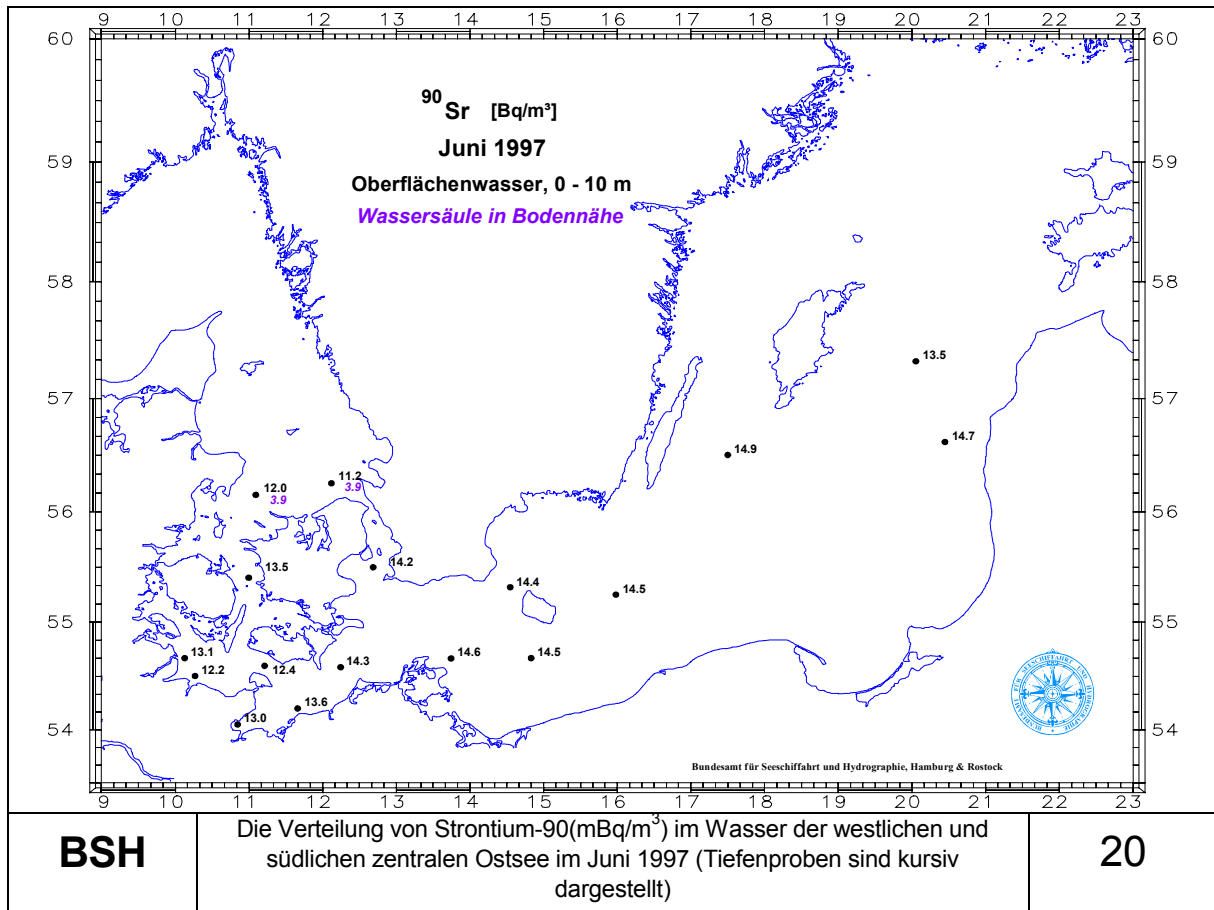
17

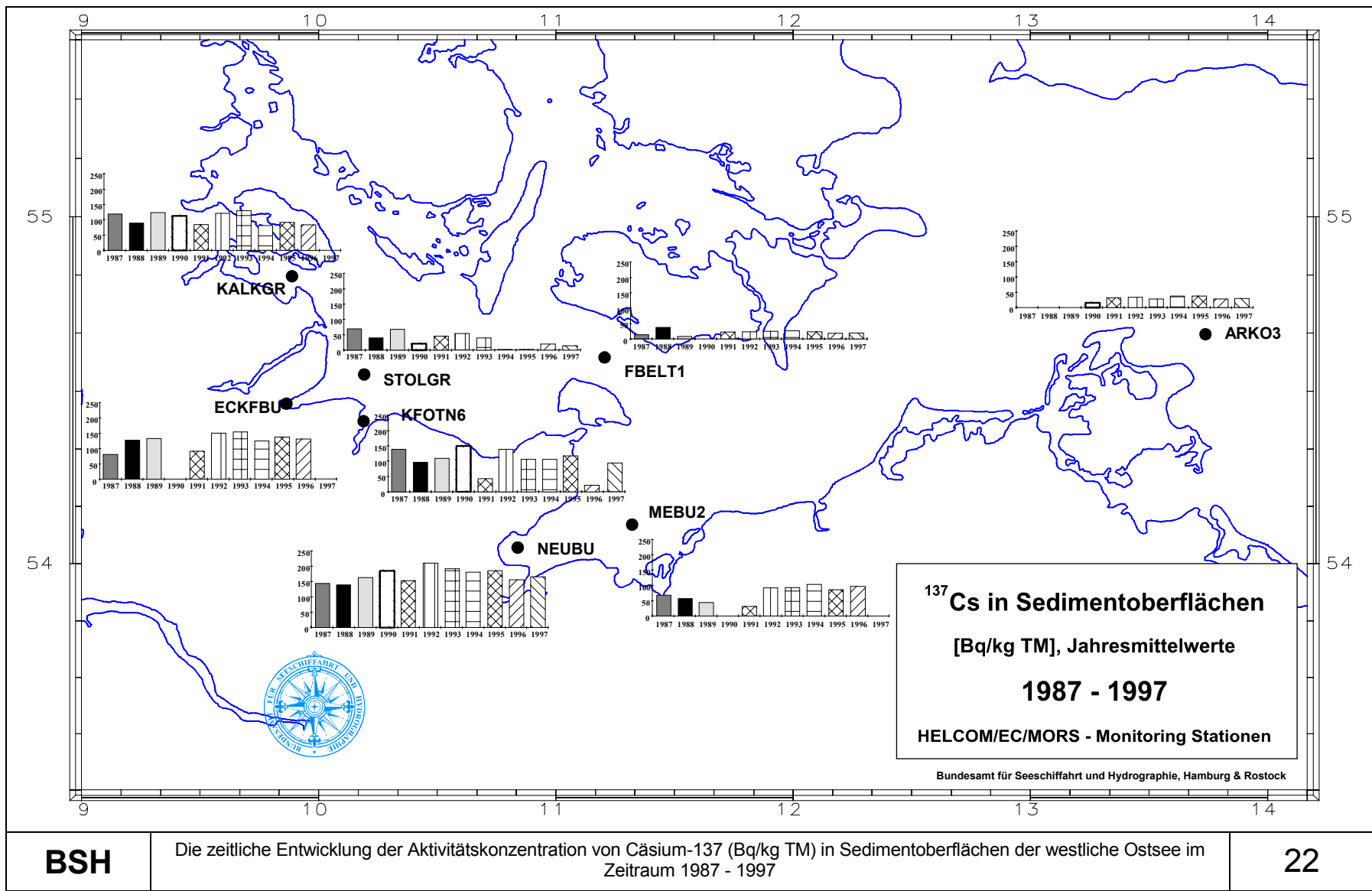


BSH	Der zeitliche Verlauf der Cäsium-137- und Strontium-90-Aktivitätskonzentration (Bq/m^3) an der Position "Schleimündung" seit 1961	18
------------	--	-----------



BSH	Die Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m^3) im Wasser der westlichen und südlichen zentralen Ostsee im Juni 1997 (Tiefenproben sind kursiv dargestellt)	19
------------	---	-----------





3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)

3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser sind im Jahr 1997 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 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1997 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung").

Grundwasser

Die allgemeine Überwachung von Grundwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz wurde an 66 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für **Cäsium-137** liegen mit Ausnahme eines Messwertes unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,2 mBq/l bis 16 mBq/l, die im wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Messwert liegt bei 1,1 mBq/l (1996: 1,2 und 2,4 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte beträgt <3,9 mBq/l (1996: <3,9 mBq/l).

In 31 % der gemessenen Proben konnte **Strontium-90** mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,6 mBq/l bis 12 mBq/l (1996: 0,18 bis 17 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei <2,7 mBq/l (1996: 2,4 mBq/l).

Tritium wurde in 5 Proben in Konzentrationen von 1,3 Bq/l bis 2,6 Bq/l (1996: 1,3 bis 4,0 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 77 Trinkwasser- und 58 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen mehr als 93 % der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,1 mBq/l bis 16 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,098 mBq/l und 34 mBq/l (1996: 0,26 und 11 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <4,8 mBq/l (1996: 4,8 mBq/l).

In 52 % der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,2 mBq/l und 13 mBq/l (1996: 0,6 und 14 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei 4,9 mBq/l (1996: 5,0 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 1997

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalw.	Maximalw.	Median
		gesamt	<NWG			
Grundwasser (Bq/)						
alle Bundesländer	Cs-137	111	110	0,0011	0,0011	<0,0039
	K-40	111	42	0,022	2,0	0,13
	Sr-90	58	40	0,0006	0,012	<0,0027
	H-3	5	0	1,3	2,6	1,5
Trinkwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Cs-137	278	261	0,000098	0,034	<0,0048
	K-40	278	151	0,003	5	0,13
	Sr-90	99	48	0,0002	0,013	0,0049

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 1996 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 Sammel tanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen "<" gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 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 1997.

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 1997 durchschnittlich 0,6 Bq/kg (Bandbreite: 0,3 bis 1,2 Bq/kg).

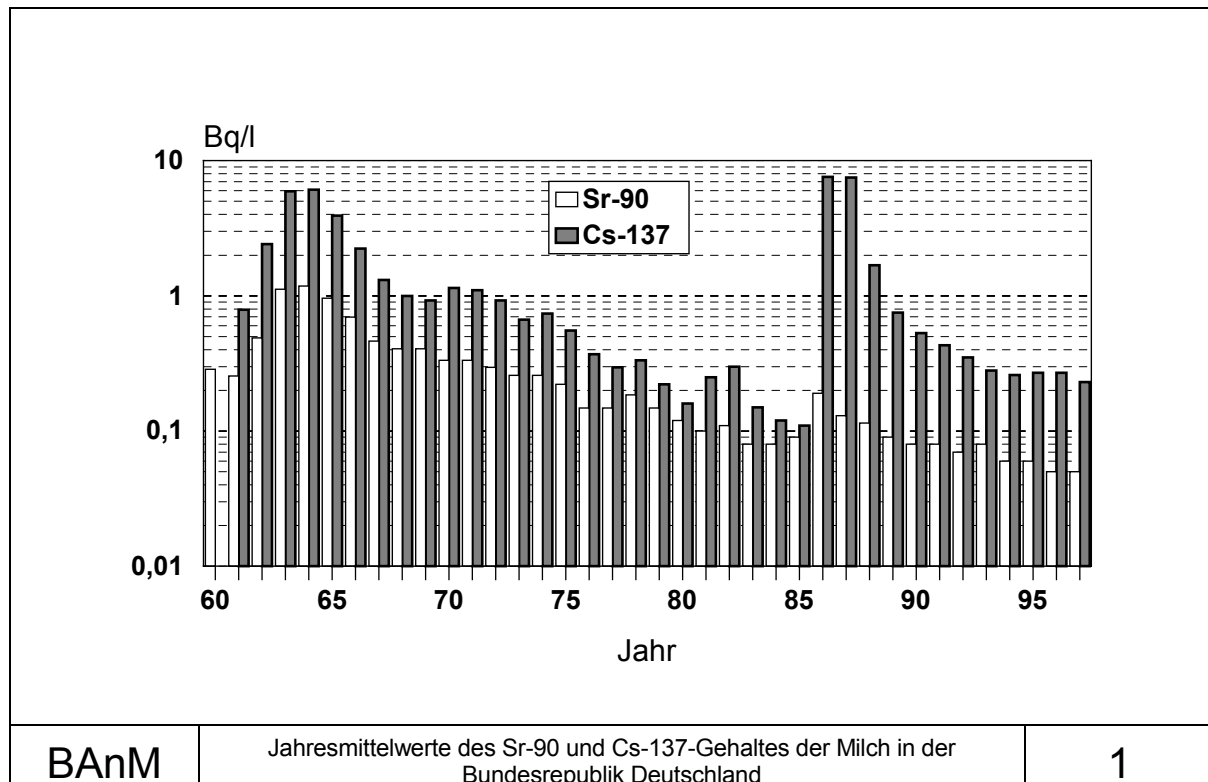


Tabelle 1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch

Bundesland	Jahr	Sr-90 Bq/l		Cs-137 Bq/l	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1995	36	0,11	93	<0,21
	1996	34	0,10	94	<0,19
	1997	35	0,10 (0,05-0,17)	96	<0,18 (<0,05-0,50)
Bayern	1995	108	0,06	277	<0,35
	1996	107	0,06	274	<0,33
	1997	104	0,06 (0,01-0,17)	272	<0,29 (0,002-1,03)
Berlin	1995	12	0,03	24	<0,14
	1996	12	0,04	25	<0,29
	1997	12	0,05 (0,02-0,09)	23	<0,12 (0,02-0,39)
Brandenburg	1995	12	0,07	34	<0,50
	1996	12	0,07	36	<0,51
	1997	12	0,06 (0,05-0,09)	36	<0,38 (<0,08-1,70)
Bremen	1995	12	<0,06	12	<0,36
	1996	12	<0,03	12	<0,47
	1997	11	<0,06 (<0,02-0,12)	11	<0,40 (<0,03-1,55)
Hamburg	1995	12	0,04	12	<0,10
	1996	12	0,05	12	<0,15
	1997	12	0,04 (0,03-0,06)	12	<0,13 (<0,09-0,26)
Hessen	1995	29	<0,06	49	<0,12
	1996	27	0,06	56	<0,17
	1997	25	0,08 (0,04-0,54)	50	<0,23 (<0,04-1,35)
Mecklenburg-Vorpommern	1995	46	0,05	72	<0,33
	1996	46	0,04	70	<0,33
	1997	46	0,04 (0,02-0,08)	70	<0,25 (<0,08-1,19)
Niedersachsen	1995	120	0,06	237	<0,39
	1996	141	0,05	246	<0,36
	1997	101	0,05 (0,03-0,07)	222	<0,29 (<0,04-1,47)
Nordrhein-Westfalen	1995	48	<0,04	137	<0,16
	1996	48	<0,04	133	<0,18
	1997	54	<0,05 (<0,02-0,16)	148	<0,15 (<0,01-1,06)
Rheinland-Pfalz	1995	22	0,06	59	<0,04
	1996	22	0,06	36	<0,10
	1997	23	0,06 (0,04-0,12)	49	<0,13 (<0,03-0,24)
Saarland	1995	12	<0,04	12	<0,20
	1996	12	<0,04	11	<0,20
	1997	12	<0,03 (< 0,02-0,03)	12	<0,20 (<0,20-<0,20)
Sachsen	1995	12	0,04	24	<0,05
	1996	12	0,05	24	<0,05
	1997	12	0,04 (0,02-0,08)	24	<0,06 (<0,04-<0,09)
Sachsen-Anhalt	1995	24	<0,04	36	<0,39
	1996	23	<0,05	35	<0,43
	1997	16	<0,06 (<0,02-0,14)	40	<0,31 (<0,08-2,50)
Schleswig-Holstein	1995	57	0,06	116	<0,17
	1996	49	0,06	109	<0,18
	1997	52	0,05 (0,03-0,08)	112	<0,14 (<0,04-0,78)
Thüringen	1995	24	0,03	36	<0,06
	1996	24	0,04	36	<0,06
	1997	19	0,03 (0,02-0,07)	31	<0,08 (0,02-0,37)
Bundesrepublik (gesamt)	1995	586	<0,06	1230	<0,27
	1996	593	<0,05	1209	<0,27
	1997	546	<0,05 (<0,01-0,54)	1208	<0,23 (< 0,002-2,50)

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	1209	<0,67	<0,001	2,50	<0,002
Trinkmilch	79	<0,19	<0,01	1,30	<0,02
Buttermilch	7	<0,20	<0,11	0,50	<0,12
Sahne	18	<0,21	<0,02	0,34	0,11
Kondensmilch	1	<0,15	-	<0,17	-
Butter	1	<0,10	-	<0,15	-
Joghurt	13	<0,20	<0,04	0,46	<0,07
Kefir	2	<0,08	<0,06	0,14	<0,12
Molke	1	<0,06	-	<0,05	-
Dickmilch	7	<0,12	<0,02	0,20	<0,02
Mischmilcherzeugnisse	12	<0,17	<0,08	0,54	<0,12
Quark	13	<0,18	<0,07	0,62	<0,12
Frischkäse	4	<0,14	<0,08	0,20	<0,08
Käse	10	<0,20	<0,03	0,43	<0,04
Schafskäse	1	<0,10	-	<0,12	-
Ziegenkäse	1	<0,14	-	0,36	-
Milchpulver (alle Sorten)	22	<0,41	<0,13	5,36	1,97
Importe					
Sahne	1	<0,10	-	0,29	-
Joghurt	2	<0,12	<0,06	<0,14	<0,07
Käse	136	<0,31	<0,01	0,75	<0,02
Frischkäse	5	0,12	<0,01	12,00	<0,01
Schafskäse	21	<0,52	<0,02	<0,61	<0,03
Ziegenkäse	3	<0,20	<0,09	<0,21	<0,11
Milchpulver	1	<0,23	-	4,07	-

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 1997 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 Cs-137-Gehalte im Fisch im wesentlichen auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen, ist für das Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fisch im Jahr 1997 ein Wert von 0,019 bis 0,014 zu erwarten. Die verwendeten Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich im Folgenden immer auf die Feuchtmasse.

Tabelle 1 zeigt für 1997 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 0,012 (Süddeutschland) und 0,014 (Norddeutschland).

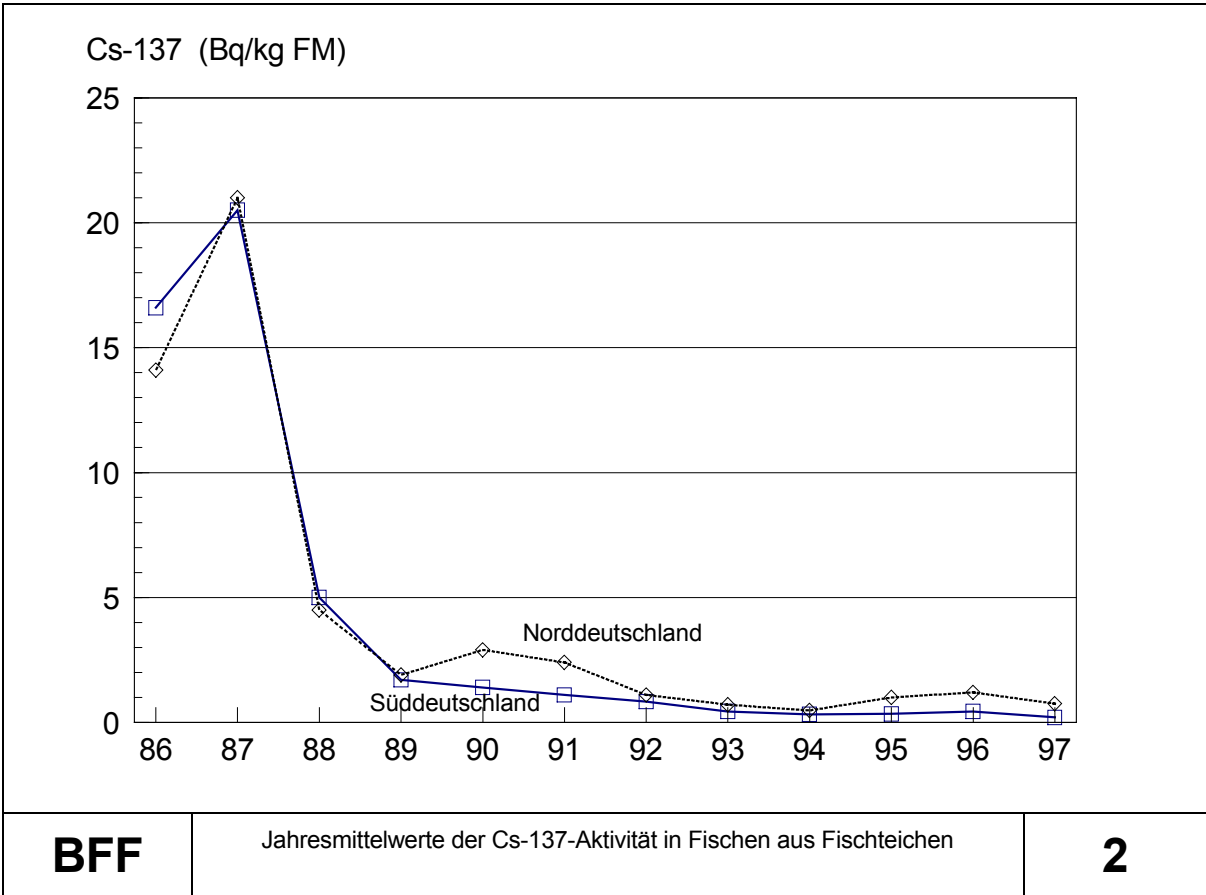
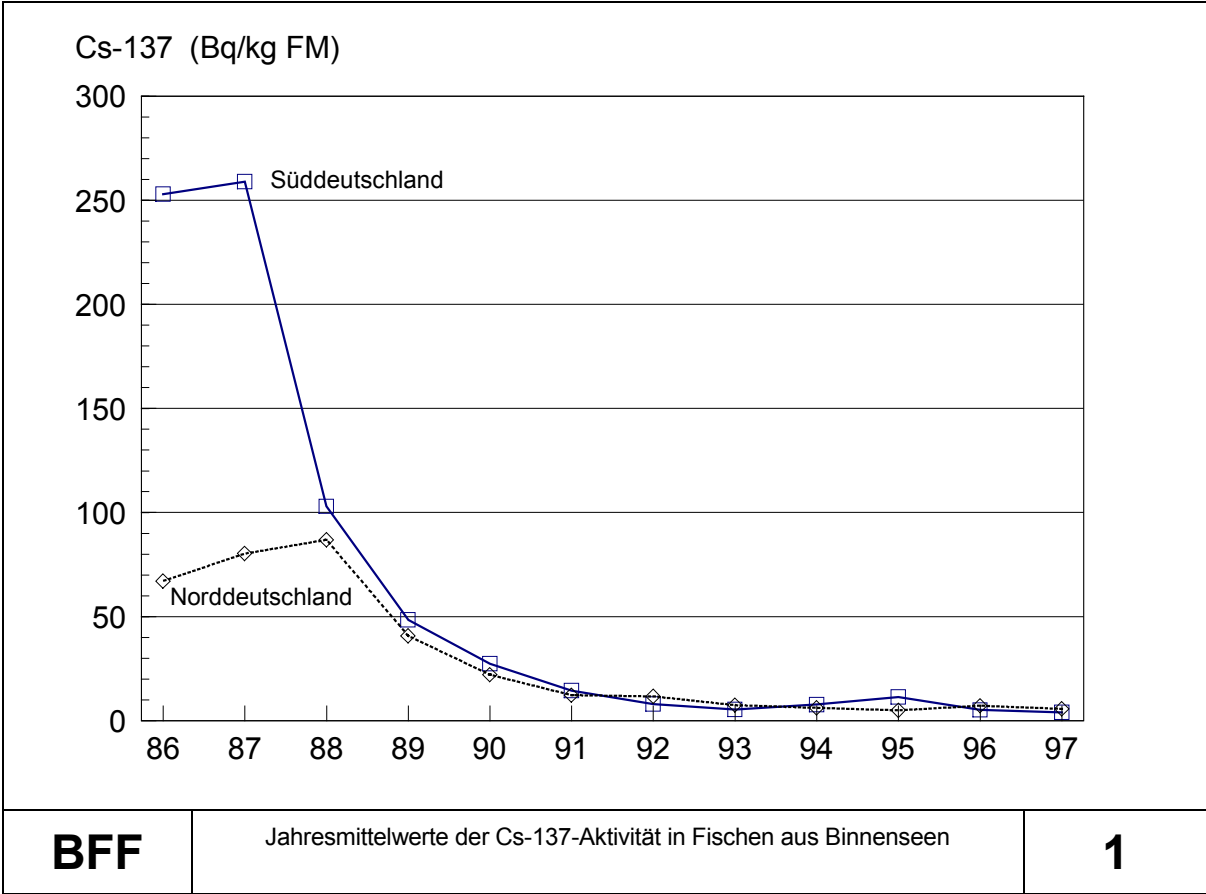
Tabelle 1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen (1997)

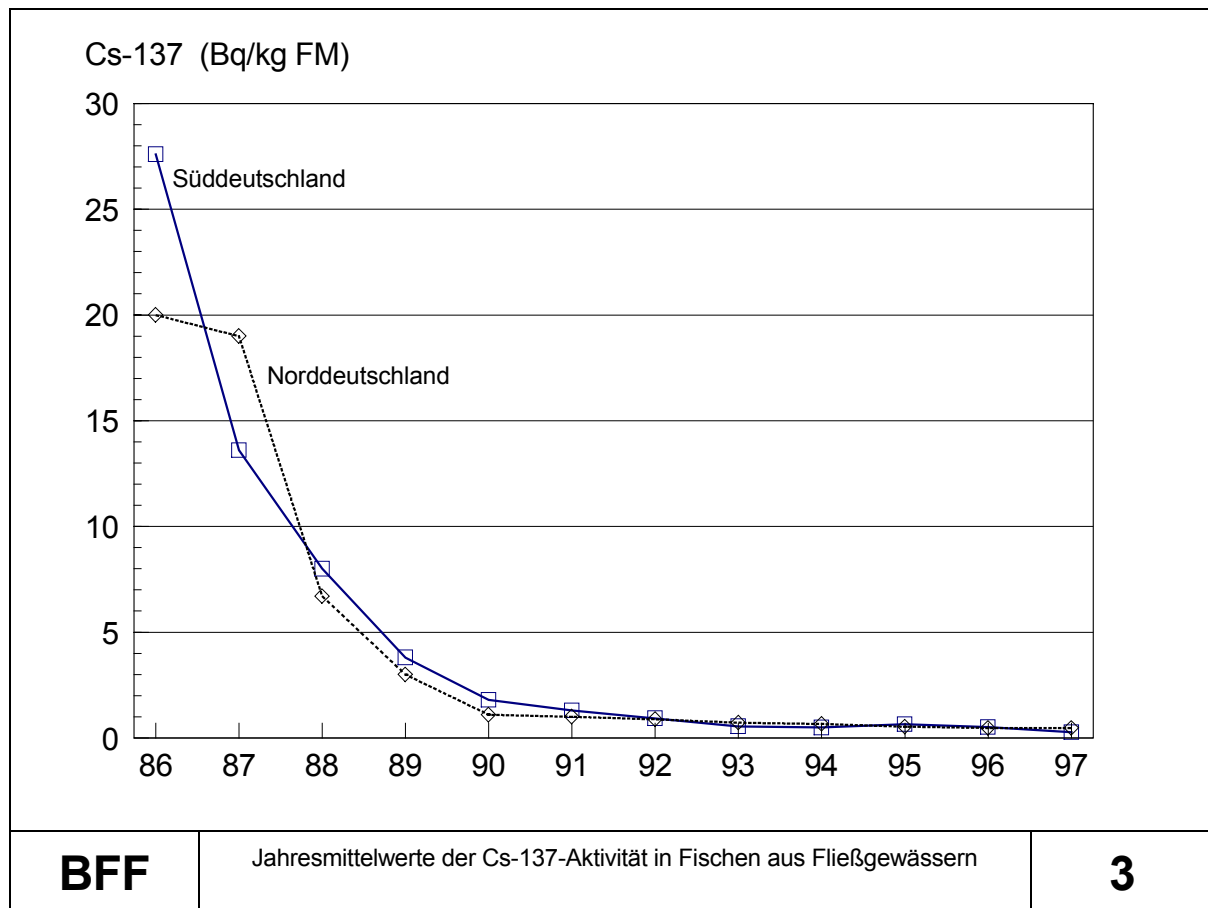
Messungen der Bundesländer (siehe Text für Einteilung der drei Regionen)
N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Gewässer	Region	N	nn	Medianwert Bq/kg FM	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM
Binnenseen	Süddeutschland	59	0	4,0	0,4	74
	Mitteldeutschland	4	2	0,21	<0,15	0,26
	Norddeutschland	72	1	5,7	0,30	56
Fischteiche	Süddeutschland	24	10	0,20	<0,1	4,4
	Mitteldeutschland	22	6	0,62	0,09	4,9
	Norddeutschland	13	0	0,75	0,14	3,5
Fließgewässer	Süddeutschland	14	4	0,27	<0,1	1,2
	Mitteldeutschland	27	9	0,27	<0,1	4,1
	Norddeutschland	9	1	0,47	<0,2	2,7
nicht spezifizierte Gewässer	Mitteldeutschland	1	0	2,4	2,4	2,4
	Norddeutschland	2	0	3,3	0,44	6,1

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, wobei sie sich ab 1991 in Norddeutschland gegenüber Süddeutschland verringerte. Bis 1997 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 ab 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.





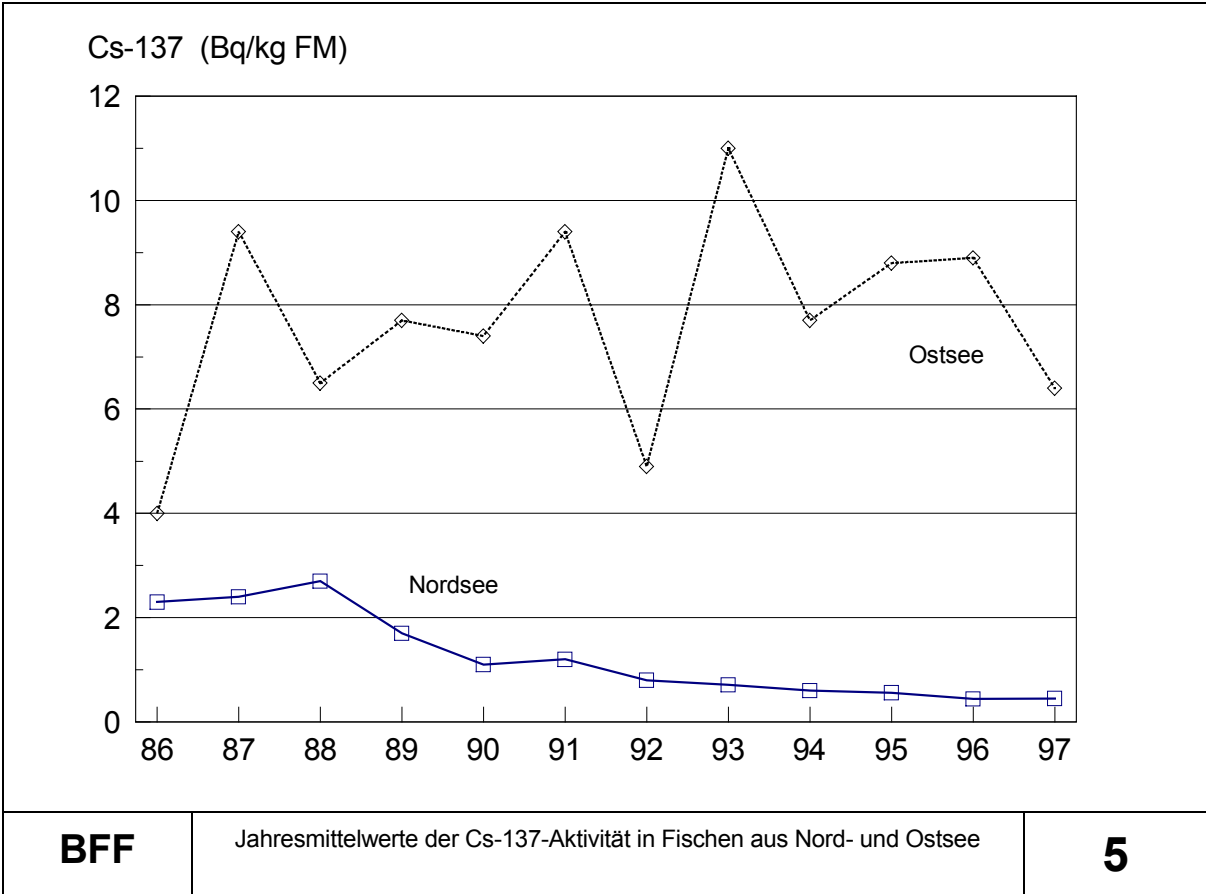
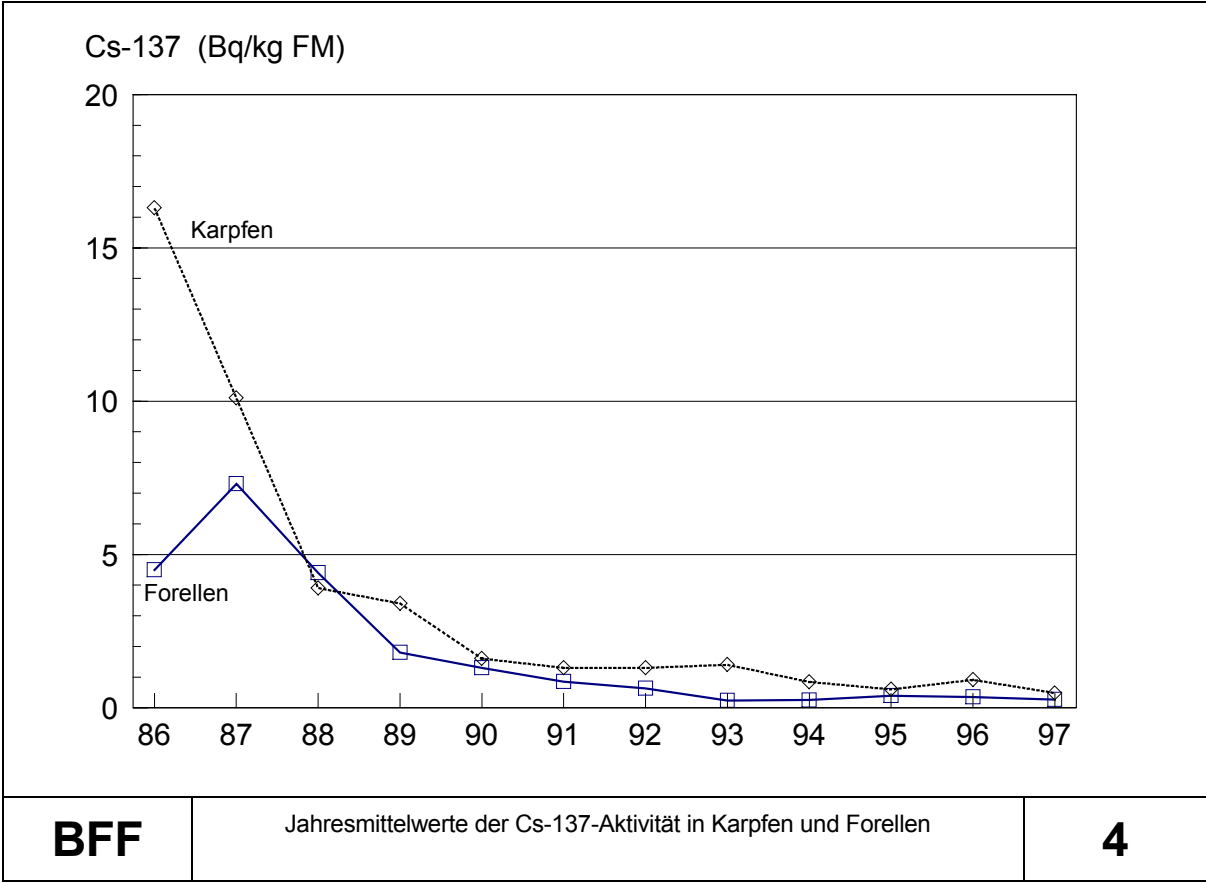
Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Gehalte (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Gehalte ergibt, dass wie in den Vorjahren (vgl. Abb. 4) auch 1997 Forellen etwas niedriger kontaminiert waren als Karpfen.

Tabelle 2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (1997)

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	42	15	0,27	0,09	21
Karpfen	35	5	0,48	0,13	7,0



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 1997 die meisten Cs-137-Werte deutlich unter maximal 1,8 Bq/kg; im Mittel bei etwa 0,45 Bq/kg (1996: 0,44 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 Cäsium 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 (1997: maximal 28 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 (1997)

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	75	0	0,45	0,11	1,8
	Garnelen	16	11	0,080	0,067	0,16
	Miesmuscheln	16	11	0,083	<0,068	0,59
Ostsee	Fische	42	0	6,4	0,17	28

Im Bereich der Nordseeküste von den Messstellen entnommene Proben von Garnelenfleisch wiesen einen Cs-137-Gehalt von etwa 0,08 Bq/kg (1996: 0,1 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln betrug er ebenfalls etwa 0,08 Bq/kg (1996: 0,07 Bq/kg; vgl. Tab. 3).

Die 1997 für Proben von Süßwasserfisch aus Importen bestimmten Jahresmedianwerte für Cs-137 (Tab. 4) lagen bei 1 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 (1997)

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	19	3	1,1	0,10	3,1
Seefisch	101	12	0,34	<0,1	23
Krusten- u. Schalentiere	17	14	0,15	<0,1	0,59

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 (1997)

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	2	0,044	<0,008	0,11
	Fischteiche	9	2	0,016	<0,009	0,037
	Fließgewässer	11	4	0,019	0,009	0,11
	Meere	5	3	0,009	<0,018	0,046
Garnelen	Nordsee	12	5	0,024	<0,02	0,065
	Miesmuscheln	12	3	0,021	0,018	0,035

Routineprogramm der Leitstelle

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für Proben aus der Nordsee, die im Januar, im Mai und im Dezember 1997 mit dem FFS "Walther Herwig III" genommen wurden und nach Veraschung sowohl γ -spektrometrisch als auch 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 0,45 und 1,8 Bq/kg. Das mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnis betrug etwa 0,007 (1996: 0,011). 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. Plutonium und Americium werden in Gesamtfisch stärker als in Fischfleisch akkumuliert. In den noch aus dem Jahr 1996 stammenden Sprottenproben wurden deren Radionuklide einwandfrei nachgewiesen. Das Verhältnis Pu-238/Pu-239+240 von 0,17 deutet auf die Abgaben der Wiederaufarbeitungsanlagen (Sellafield und La Hague) als Herkunft. Am-241 geht vermutlich auch auf diese Emittenten zurück. Als Nachtrag für 1996 sind die für Fischfleisch bestimmten Medianwerte von Sr-90, Pu-239+240 und Am-241 am Ende der Tabelle 6 aufgeführt.

Im Dezember 1997 wurden während einer Forschungsfahrt mit 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 nur γ -spektrometrisch untersucht wurden (Bestimmungen von Sr-90 und der Plutonium-Isotope stehen noch aus). Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 über alle Stationen gemittelt zusammengefasst.

Tabelle 6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee (1997)

Ergebnisse dreier "Walther-Herwig-III"-Fahrten im Januar, im Mai und im Dezember 1997
 Probeentnahme zwischen 53° und 58° Nord, Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei
 (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM	Medianwert Bq/kg FM
Hering, Filet	Cs-137	2	0	0,42	0,62	0,52
Kabeljau, Filet	Cs-137	5	0	0,49	1,2	0,64
Kabeljau, Leber	Co-60	4	3	<0,022	0,028	<0,028
	Ag-108m	4	2	<0,0076	0,12	0,010
Makrele, Fleisch	Cs-137	4	0	0,13	0,37	0,20
	Cs-137	3	0	0,27	0,47	0,45
Schellfisch, Filet	Cs-137	2	0	0,61	0,76	0,68
Scholle, Fleisch	Cs-137	5	0	0,18	0,71	0,50
Sprotte, Gesamt	Cs-137	1	0	0,33	0,33	0,33
		5	0	0,00013	0,00065	0,00039
		5	0	0,000030	0,00036	0,00011
Wittling, Fleisch	Cs-137	1	0	1,8	1,8	1,8

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (18 Messungen, nn=16): etwa 0,007
 Mittlere Sr-90- Gehalte im Fischfilet (3 Messungen, nn=1): 0,0015 Bq/kg FM

Nachtrag für 1996:

Mittlere Sr-90- Gehalte im Fischfilet (11 Messungen, nn=7): 0,0023 Bq/kg FM
 Mittlere Pu-239+240-Gehalte im Fischfilet (12 Messungen, nn=6): 0,00004 Bq/kg FM
 Mittlere Am-241-Gehalte im Fischfilet (10 Messungen, nn=9): <0,00002 Bq/kg FM
 Verhältnis Sprotte, Gesamt, Pu-238/Pu-239 +240 (5 Messungen, nn=0):
 Min.Wert 0,14
 Max.Wert 0,33
 Median 0,17
 Am-241/Pu-238+240 (5 Messungen, nn=0):
 Min.Wert 0,15
 Max.Wert 0,91
 Median 0,40

Tabelle 7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee (1997)

Ergebnisse der "Walther-Herwig-III"-Fahrt im Dezember 1997, 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	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM	Medianwert Bq/kg FM
Flunder, Fleisch	Cs-137	3	0	8,4	12	9,9
Hering, Filet	Cs-137	1	0	1,8	1,8	1,8
Kabeljau, Filet	Cs-137	7	0	5,1	20	14
Kabeljau, Leber	Ag-108m	7	2	0,0045	0,014	0,0048
	Cs-137	7	0	1,2	2,6	2,0
Scholle, Fleisch	Cs-137	3	0	5,7	8,2	6,0
Sprotte, Gesamt	Cs-137	1	0	7,4	7,4	7,4

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (14 Messungen): 0,0143 ± 0,0002
 Im Kabeljau, Leber (7 Messungen): Min.wert 0,011,
 Max-Wert 0,015
 Median 0,013

Nachtrag zu 1996:

Mittlere Sr-90-Gehalte im Filet (5 Messungen, nn=0): 0,0031 Bq/kg FM

Mittlere Pu-239+240-Gehalte im Fischfilet (6 Messungen, nn=6): <0,000034 Bq/kg FM

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 (6 bis 20 Bq/kg) mehr als etwa 3-fach höher als in der Kieler Bucht (5 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 1997 mit dem für den Tschernobyl-Fallout charakteristischen Wert von 0,0142 präzise überein. Das in der Dorschleber gefundene langlebige Silberisotop Ag-108m wies ähnliche, sehr niedrige Werte wie in den Vorjahren auf (Tabelle 7). Als Nachtrag für das Jahr 1996 sind am Ende der Tabelle 7 noch mittlere Gehalte von Sr-90 und von Pu-239+240 in Fischfiletproben aufgeführt. Es ist dabei kein wesentlicher Unterschied zur Nordsee (Tabelle 6) festzustellen.

Die Ergebnisse für Miesmuschel- und Garnelenproben, die 1997 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. Co-60 geht wie die anderen gefundenen Radionukliden künstlichen Ursprungs hauptsächlich auf Abgaben der Wiederaufarbeitungsanlagen (vor allem La Hague) zurück. Das in einer Miesmuschelprobe bestimmte Verhältnis Pu-238/Pu-239+240 ist mit 0,17 etwas niedriger als in den Vorjahren bestimmte Werte bei 0,23. Bei Miesmuscheln und Garnelen sind wie im Vorjahr etwas niedrigere Gehalte von Am-241 als Pu-239+240 gefunden worden. Das in einer Miesmuschelprobe gefundene **Curium-244** weist einen noch niedrigeren Aktivitätsgehalt als Am-241 auf.

Tabelle 8 Radionuklidgehalte von Miesmuscheln und Garnelen der Nordsee (1997)

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

Probe	Radionuklid	N	nn	Min. Wert Bq/kg FM	Max. Wert Bq/kg FM	Medianwert Bq/kg FM
Miesmuschelfleisch	Be-7	2	0	0,35	0,45	0,40
	Co-60	2	0	0,018	0,022	0,020
	Sr-90	1	0	0,019	0,019	0,019
	Cs-137	2	0	0,063	0,10	0,082
	Pu-239+240	1	0	0,0010	0,0010	0,0010
	Am-241	1	0	0,00080	0,00080	0,00080
	Cm-244	1	0	0,000048	0,000048	0,000048
Garnelenfleisch	Co-60	7	5	0,013	0,024	0,013
	Sr-90	4	2	<0,0078	0,012	0,008
	Cs-137	7	0	0,084	0,15	0,11
	Pu-239+240	4	3	<0,000069	0,00012	<0,00012
	Am-241	4	0	0,000026	0,00012	0,000080

Verhältnis Pu-238/Pu-239+240 in Miesmuschelfleisch (N=1, nn=00) 0,17

3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BFE), Karlsruhe

Die Überwachung der Radioaktivität in Lebensmitteln und landwirtschaftlichen Produkten erfasst

- natürliche Radionuklide,
- radioaktive Spaltprodukte aus atmosphärischen Kernwaffenversuchen (Fallout),
- radioaktive Stoffe aus Emissionen kerntechnischer Anlagen und
- radioaktive Kontaminationen durch unfreiwillige Freisetzungen.

Der vorliegende Bericht bezieht ausschließlich Messwerte von Proben aus der allgemeinen Überwachung ein. Über Proben aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen wird in Teil II, 1.4.6 berichtet. Die Messwerte dieses Berichts stammen von Einzellebensmitteln, Gesamtnahrung und Säuglings- und Kleinkindernahrung.

Die Tabellen weisen

- die Zahl der einbezogenen Messwerte,
- den Minimalwert (falls mehr als ein einziger Wert zur Verfügung stand),
- den Maximalwert und
- das arithmetische Mittel

als Kenngrößen der Verteilung aus. Bei der Berechnung des Mittelwerts wurden Werte unterhalb der Nachweisgrenze so einbezogen, als wäre die Nachweisgrenze selbst der Messwert gewesen. Dieses Verfahren überschätzt die reale Kontaminationssituation.

Die letzte Zeile („insgesamt“) einer jeden Tabelle fasst alle vorhergehenden Zeilen zusammen, und zwar so, als wäre der Datenbestand nicht nach Einträgen der Kopfspalte getrennt, sondern insgesamt auszuwerten. So werden Anzahlen in ihrer Summe zusammengefasst, arithmetische Mittelwerte im mit der Anzahl der Messungen gewichteten Mittel und Extremwerte im entsprechenden Extremwert aus den Einzel-Extremwerten.

Einzellebensmittel

Überwachungsrelevante Einzellebensmittel gliedern sich in 32 Umweltbereiche, von denen nur eine repräsentative Auswahl dargestellt wird. Die Gruppierung von Einzellebensmitteln lehnt sich eng an die Vorgaben von ZEBS (Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin) und IMIS (Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität) an.

Zusammengesetzte Lebensmittel wie z.B. Leberkäse, Wurst, Kuchen sind noch keinem IMIS-Umweltbereich zugeordnet. Entsprechende Messwerte erreichen die Leitstelle deshalb in der Regel noch nicht.

Die Zahl und Auswahl gemeldeter Nuklide in Einzellebensmitteln orientiert sich an den Vorgaben von IMIS an die Landesmessstellen. Im Gegensatz zu Messungen an Einzellebensmitteln pflanzlicher Herkunft wird bei Fleisch aus radioökologischen Gründen auf die Messung von **Strontium-90** verzichtet. Wo Sr-90 gemessen wurde, lag die spezifische Aktivität immer unterhalb 1 Bq/kg. Die Messungen von **Cäsium-134** lagen überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Aktivitätskonzentration von **Cäsium-137** ist in den meisten Wildfleischarten (Tab. 8), Blütenhonig (in Tab. 14) sowie in Wildbeeren (in Tab. 12) und in Speisepilzen (Tab.11) mit Ausnahme von Kulturpilzen erheblich höher als in anderen Lebensmitteln.

In Tabelle 14 sind für Weizen, Kartoffeln, Kernobst und Fleisch die Cs-137-Jahresmittelwerte und außer für Fleisch auch die Sr-90-Jahresmittelwerte seit 1960 zusammengestellt.

Tabelle 1 Weizen Inland
Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probenahme u. Messort	Radio-nuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Baden-Württemberg	Cs-137	35	<0,09	0,1	0,10	0,10
	Sr-90	9	0,08	0,284	0,14	0,13
Bayern	Cs-137	34	0,031	0,236	0,14	0,13
	Sr-90	5	0,022	0,178	0,094	0,075
Berlin	Cs-137	1	<0,065	<0,065	0,065	0,065
	Sr-90	1	0,71	0,71	0,71	0,71
Brandenburg	Cs-137	14	<0,067	0,7	0,17	0,14
	Sr-90	1	0,52	0,52	0,52	0,52
Bremen	Cs-137	3	<0,0347	<0,037	0,036	0,036
	Sr-90	1	<0,0158	<0,016	0,016	0,016
Hessen	Cs-137	1	<0,103	<0,1	0,10	0,10
Hamburg	Cs-137	2	<0,129	<0,13	0,13	0,13
Mecklenburg-Vorpommern	Cs-137	30	0,0571	0,205	0,11	0,11
	Sr-90	2	0,082	0,119	0,10	0,099
Niedersachsen	Cs-137	37	<0,01	0,71	0,11	0,083
	Sr-90	4	0,08	0,13	0,10	0,10
Nordrhein-Westfalen	Cs-137	35	<0,0393	<0,22	0,12	0,11
	Sr-90	3	0,0676	0,698	0,31	0,20
Rheinland-Pfalz	Cs-137	28	<0,03	<0,44	0,11	0,091
	Sr-90	3	0,051	0,21	0,11	0,088
Saarland	Cs-137	4	<0,2	<0,2	0,20	0,20
	Sr-90	1	0,335	0,335	0,34	0,34
Sachsen	Cs-137	10	<0,0656	<0,17	0,13	0,13
	Sr-90	3	0,028	0,124	0,088	0,073
Sachsen-Anhalt	Cs-137	15	<0,08	3,96	0,41	0,19
	Sr-90	3	0,04	0,24	0,13	0,10
Schleswig-Holstein	Cs-137	35	<0,07	1,36	0,14	0,11
	Sr-90	4	0,144	0,172	0,16	0,16
Thüringen	Cs-137	22	<0,0787	0,169	0,10	0,099
	Sr-90	1	0,0429	0,0429	0,043	0,043
insgesamt	Cs-137	306	<0,01	3,96	0,13	0,11
	Sr-90	41	<0,0158	0,71	0,16	0,12

Tabelle 2 Weizen, Einfuhr
Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Herkunftsland	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Dänemark	Cs-137	1	<0,091	<0,091	0,091	0,091
Frankreich	Cs-137	2	<0,08	<0,2	0,14	0,13
Großbritannien	Cs-137	2	<0,0548	<0,14	0,098	0,088
GUS	Cs-137	1	0,31	0,31	0,31	0,31
Türkei	Cs-137	7	<0,03	<0,12	0,073	0,065
USA	Cs-137	1	<0,04	<0,04	0,040	0,040
unbekannt	Cs-137	2	<0,11	<0,45	0,28	0,22
insgesamt	Cs-137	16	<0,03	<0,45	0,12	0,094

Tabelle 3 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Gerste	Cs-137	105	<0,03	0,48	0,13	0,12
	Sr-90	12	<0,02	0,43	0,19	0,16
Hafer	Cs-137	19	<0,05	5,5	0,56	0,22
	Sr-90	1	0,26	0,26	0,26	0,26
Mais	Cs-137	3	<0,05	<0,3	0,15	0,12
Reis	Cs-137	16	<0,04	<0,18	0,096	0,089
Roggen	Cs-137	150	<0,011	3	0,21	0,15
	Sr-90	17	0,03	0,532	0,21	0,17
insgesamt	Cs-137	293	<0,011	5,5	0,20	0,14
	Sr-90	30	<0,02	0,532	0,20	0,17

Tabelle 4 Kalbfleisch, Inland

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probenahme und gemessen in	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Baden-Württemberg	Cs-137	4	<0,2	0,9	0,55	0,46
Bayern	Cs-137	7	<0,14	4,4	1,1	0,54
Berlin	Cs-137	2	<0,14	0,3	0,22	0,20
Brandenburg	Cs-137	3	1	2,3	1,5	1,3
Bremen	Cs-137	3	<0,345	1,91	0,91	0,68
Hamburg	Cs-137	3	<0,097	1,12	0,59	0,39
Hessen	Cs-137	2	0,724	1,83	1,3	1,2
Mecklenburg-Vorpommern	Cs-137	6	0,146	7,55	3,8	2,3
Niedersachsen	Cs-137	18	0,29	4,91	1,2	0,89
Nordrhein-Westfalen	Cs-137	20	<0,0535	1,4	0,58	0,42
Saarland	Cs-137	2	<0,2	<0,2	0,20	0,20
Sachsen	Cs-137	5	<0,1	0,314	0,19	0,17
Sachsen-Anhalt	Cs-137	3	0,35	1,45	0,92	0,79
Schleswig-Holstein	Cs-137	3	<0,082	0,665	0,42	0,30
Thüringen	Cs-137	2	<0,0715	<0,079	0,075	0,075
insgesamt	Cs-137	83	<0,0535	7,55	1,0	0,55

Tabelle 5 Rindfleisch, Inland

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probenahme und gemessen in	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Baden-Württemberg	Cs-137	25	<0,16	8,42	1,2	0,50
Bayern	Cs-137	59	<0,1	7,46	0,68	0,32
Berlin	Cs-137	6	0,15	1,5	0,55	0,42
Brandenburg	Cs-137	30	<0,07	37	4,8	1,1
Bremen	Cs-137	6	1,08	1,97	1,4	1,3
Hamburg	Cs-137	5	<0,108	4,99	1,8	0,86
Hessen	Cs-137	8	<0,0526	1,57	0,37	0,19
Mecklenburg-Vorpommern	Cs-137	32	0,0491	25	2,4	0,61
Niedersachsen	Cs-137	61	<0,03	13,6	1,4	0,42
Nordrhein-Westfalen	Cs-137	37	<0,0289	2,19	0,27	0,19
Rheinland-Pfalz	Cs-137	11	<0,07	<0,29	0,17	0,16
Saarland	Cs-137	6	<0,2	0,25	0,21	0,21
Sachsen	Cs-137	29	<0,0816	0,869	0,22	0,18
Sachsen-Anhalt	Cs-137	25	<0,07	15	1,3	0,26
Schleswig-Holstein	Cs-137	21	<0,071	2,27	0,44	0,25
Thüringen	Cs-137	24	<0,0681	0,346	0,11	0,10
insgesamt	Cs-137	385	<0,0289	37	1,2	0,33

Tabelle 6 Schweinefleisch, Inland

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probenahme und gemessen in	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Baden-Württemberg	Cs-137	13	<0,18	0,34	0,21	0,21
Bayern	Cs-137	31	0,055	0,161	0,32	0,22
Berlin	Cs-137	6	<0,08	0,75	0,42	0,34
Brandenburg	Cs-137	22	<0,076	1,3	0,39	0,27
Bremen	Cs-137	6	<0,0955	1,45	0,59	0,38
Hamburg	Cs-137	7	<0,09	0,42	0,18	0,16
Hessen	Cs-137	9	<0,052	0,958	0,27	0,20
Mecklenburg-Vorpommern	Cs-137	30	0,0967	1,92	0,51	0,37
Niedersachsen	Cs-137	95	<0,02	2,08	0,24	0,17
Nordrhein-Westfalen	Cs-137	54	<0,0496	2,59	0,20	0,15
Rheinland-Pfalz	Cs-137	9	<0,07	0,335	0,15	0,13
Saarland	Cs-137	5	<0,2	<0,2	0,20	0,20
Sachsen	Cs-137	23	<0,091	3,79	0,52	0,26
Sachsen-Anhalt	Cs-137	36	<0,088	1,14	0,29	0,23
Schleswig-Holstein	Cs-137	11	<0,092	0,274	0,15	0,14
Thüringen	Cs-137	17	<0,0736	<0,2	0,11	0,10
insgesamt	Cs-137	374	<0,02	3,79	0,29	0,20

Tabelle 7 Sonstiges Fleisch und Hühnereier, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Ente	Cs-137	21	0,0721	1	0,22	0,18
Gans	Cs-137	19	0,087	0,34	0,19	0,18
Hähnchen	Cs-137	23	<0,04	0,428	0,17	0,16
Hühnereier	Cs-137	22	<0,09	<0,2	0,16	0,15
Huhn	Cs-137	120	<0,02	0,398	0,15	0,13
Kaninchen	Cs-137	8	0,0854	0,411	0,21	0,18
Lamm/Schaf	Cs-137	19	<0,0813	4,98	0,45	0,21
Pute	Cs-137	49	<0,02	<0,27	0,11	0,091
insgesamt	Cs-137	281	<0,02	4,98	0,17	0,14

Tabelle 8 Wild, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Damwild	Cs-137	6	25,7	83,3	52	48
Elch	Cs-137	1	14,2	14,2	14	14
Gämse	Cs-137	2	<0,18	98,4	49	4,2
Hirsch	Cs-137	5	<0,29	47,7	10	1,2
Mufflon	Cs-137	1	64,4	64,4	64	64
Reh	Cs-137	101	<0,23	503	41	14
Strauss	Cs-137	2	<0,086	<0,13	0,11	0,11
Wildhase	Cs-137	6	0,0406	<0,19	0,13	0,11
Wildschwein	Cs-137	99	<0,074	1150	95	13
insgesamt	Cs-137	223	0,0406	1150	63	11

Tabelle 9 Kartoffeln, Inland

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probenahme und gemessen in	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arithm. Mittel	geom. Mittel
Baden-Württemberg	Cs-137	9	<0,02	<0,24	0,19	0,16
	Sr-90	1	0,02	0,02	0,020	0,020
Bayern	Cs-137	30	<0,001	0,572	0,18	0,13
	Sr-90	3	0,022	0,083	0,045	0,038
Berlin	Cs-137	3	<0,041	<0,13	0,087	0,078
	Sr-90	1	0,027	0,027	0,027	0,027
Brandenburg	Cs-137	9	<0,096	0,4	0,17	0,15
	Sr-90	1	0,02	0,02	0,020	0,020
Bremen	Cs-137	2	0,142	0,154	0,15	0,15
Hamburg	Cs-137	1	<0,145	0,15	0,15	0,15
Hessen	Cs-137	6	<0,0696	<0,16	0,11	0,11
	Sr-90	1	0,42	0,42	0,42	0,42
Mecklenburg-Vorpommern	Cs-137	12	<0,046	0,26	0,11	0,092
	Sr-90	1	<0,01	<0,01	0,010	0,010
Niedersachsen	Cs-137	73	<0,01	0,96	0,16	0,12
	Sr-90	4	<0,02	0,048	0,034	0,031
Nordrhein-Westfalen	Cs-137	17	<0,0769	1,1	0,19	0,14
	Sr-90	4	<0,02	0,467	0,13	0,044
Rheinland-Pfalz	Cs-137	6	<0,03	<0,23	0,12	0,078
	Sr-90	3	0,028	0,049	0,035	0,034
Saarland	Cs-137	2	<0,2	<0,2	0,20	0,20
Sachsen	Cs-137	10	<0,0991	<0,18	0,15	0,15
	Sr-90	1	0,021	0,021	0,021	0,021
Sachsen-Anhalt	Cs-137	9	<0,08	<0,19	0,14	0,13
	Sr-90	2	0,06	0,07	0,065	0,065
Schleswig-Holstein	Cs-137	6	<0,077	<0,15	0,11	0,11
	Sr-90	1	0,063	0,063	0,063	0,063
Thüringen	Cs-137	6	<0,0879	<0,11	0,098	0,098
	Sr-90	1	0,0224	0,0224	0,022	0,022
insgesamt	Cs-137	201	<0,001	1,1	0,15	0,12
	Sr-90	24	<0,01	0,467	0,068	0,037

Tabelle 10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Blattgemüse	Cs-137	631	<0,01	1,18	0,14	0,12
	Sr-90	64	0,014	0,49	0,14	0,11
Fruchtgemüse	Cs-137	170	<0,01	0,4	0,13	0,12
	Sr-90	10	0,0166	0,2	0,090	0,075
Hülsenfrüchte	Cs-137	5	<0,02	1,52	0,41	0,16
Kräuter	Cs-137	4	<0,2	<0,9	0,69	0,59
Sprossgemüse	Cs-137	265	<0,009	0,626	0,13	0,12
	Sr-90	17	0,0095	0,201	0,080	0,059
Wurzelgemüse	Cs-137	209	<0,01	0,71	0,15	0,12
	Sr-90	20	<0,02	0,554	0,19	0,14
insgesamt	Cs-137	1284	0,009	1,52	0,14	0,12
	Sr-90	111	0,0095	0,554	0,14	0,10

Tabelle 11 Speisepilze, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Austernpilz	Cs-137	2	<0,0645	<0,11	0,087	0,084
Birkenpilz	Cs-137	3	<1,2	39,2	20	9,8
Butterpilz	Cs-137	1	13,1	13,1	13	13
Champignon	Cs-137	4	<0,13	0,24	0,17	0,17
Flaschenstäubling	Cs-137	1	2,19	2,19	2,2	2,2
Goldröhrling	Cs-137	2	75,3	382	230	170
Grünling	Cs-137	1	280	280	280	280
Hallimasch	Cs-137	6	0,8	34,6	10	4,5
Krause Glucke	Cs-137	5	3,3	27,8	16	12
Maronenröhrling	Cs-137	33	23,8	4560	620	370
Parasol	Cs-137	2	1,9	4,9	3,4	3,1
Pfifferling	Cs-137	40	<0,29	673	80	24
Ritterling, violetter	Cs-137	1	43,9	43,9	44	44
Rotfussröhrling	Cs-137	2	111	120	116	115
Sandröhrling	Cs-137	1	285	285	285	285
Shitakepilz	Cs-137	3	1,2	2,56	1,9	1,9
Speisetäubling	Cs-137	2	3,2	15	9,1	6,9
Steinpilz	Cs-137	17	0,14	126	60	37
Ziegenlippe	Cs-137	1	195	195	195	195
insgesamt	Cs-137	127	<0,0645	4560	210	35

Tabelle 12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Probe	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Erdbeeren u. sonst.	Cs-137	100	0,001	0,35	0,14	0,12
	Sr-90	11	0,02	0,173	0,085	0,069
Exot. Früchte	Cs-137	10	0,0265	<0,17	0,082	0,072
Kernobst	Cs-137	194	<0,01	<0,28	0,13	0,11
	Sr-90	17	0,0082	0,08	0,031	0,025
Steinobst	Cs-137	101	<0,01	<0,29	0,13	0,11
	Sr-90	10	0,011	0,121	0,053	0,044
Strauchbeeren	Cs-137	22	<0,009	<0,32	0,13	0,10
	Sr-90	3	0,046	0,064	0,058	0,057
Wildbeeren	Cs-137	16	<0,03	218	41	4,6
Zitrusfrüchte	Cs-137	18	<0,02	<0,19	0,10	0,078
insgesamt	Cs-137	461	0,001	218	1,5	0,13
	Sr-90	41	0,0082	0,173	0,053	0,040

Tabelle 13 Getränke, Inland und Einfuhr

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produkt	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Bereenfruchtsaft	Cs-137	1	<0,11	<0,11	0,11	0,11
Kernfruchtsaft	Cs-137	1	<0,01	<0,01	0,010	0,010
Zitrusfruchtsaft	Cs-137	1	<0,02	<0,02	0,020	0,020
insgesamt	Cs-137	3	<0,01	<0,11	0,047	0,028

Tabelle 14 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr
Messwerte in Bq/kg Handelsware, N = Zahl der Einzelmessungen

Probe	Radionuklid	N	Minimum	Maximum	arith. Mittel	geom. Mittel
Blütenhonigmischung	Cs-137	24	<0,03	75,2	4,1	0,26
Blütenhonig	Cs-137	37	<0,01	492	58	1,6
Honigtauhonig u. Mischungen	Cs-137	7	<0,05	61,2	9,4	0,61
Kaffee	Cs-137	4	<0,11	0,46	0,24	0,20
Ölsamen	Cs-137	16	<0,11	0,33	0,16	0,15
Schalenobst	Cs-137	29	<0,06	6,65	1,2	0,36
Tee	Cs-137	23	<0,2	112	18	3,1
insgesamt	Cs-137	140	<0,01	492	20	0,66

Tabelle 15 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Strontium-90- und Cäsium-137 in ausgewählten Lebensmitteln von 1960 bis 1997, 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
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*

*: Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die mittlere ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr an **Cäsium-137** kann für 1997 mit 0,24 Bq/(d·p) nach oben abgeschätzt werden, das bedeutet, dass sich die obere Schranke gegenüber dem Vorjahr kaum verändert hat. Gleichwohl muss in Rechnung gestellt werden, dass fast die Hälfte aller Cs-137-Messungen unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Dies führt bei der Behandlung der Werte unterhalb der Nachweisgrenze wie in 3.4.4 beschrieben zu einer vergleichsweise groben Abschätzung.

Die obere Schranke für die mittlere Aktivitätszufuhr an **Strontium-90** entspricht 1997 mit 0,11 Bq/(d·p) dem Vorjahreswert. Die berichteten Sr-90-Werte liegen aber wie in den Jahren zuvor nahe bei oder unterhalb der Nachweisgrenze der angewandten Analyseverfahren. Die gemeldeten Daten sind daher mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet.

Die mittlere ingestionsbedingte Aktivitätszufuhr lässt sich somit wie folgt abschätzen:

Strontium90: 41 Bq (a·p)
 Säsium-137: 88 Bq (a·p)

Nachfolgend ist der zeitliche Verlauf der Abschätzungen der Jahresmittelwerte an Sr-90, Cs-137 und z.T. Cs-134 graphisch dargestellt.

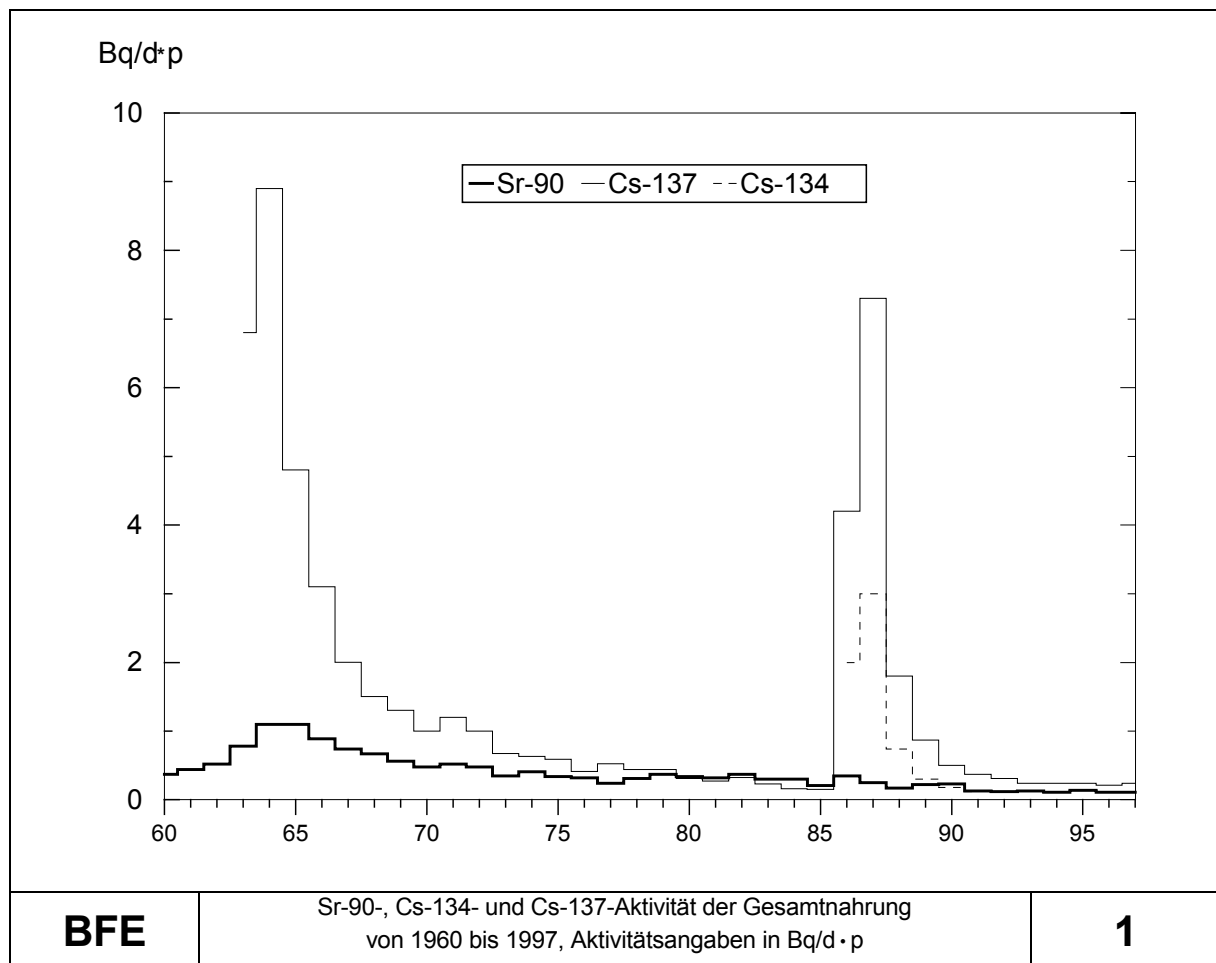


Tabelle 16 Aktivitätszufuhr von Cäsium-137 und Strontium-90 mit der Gesamtnahrung in Bq/ d · p (d = Tag und p = Person)

N = Zahl der Messwerte

Monate	Cäsium-137					Strontium-90				
	N	Min.-wert	Max.-wert	Mittel arith.	Mittel geom.	N	Min.-wert	Max.-wert	Mittel arith.	Mittel geom.
Januar	82	0,05	0,725	0,23	0,19	13	0,0232	0,22	0,11	0,099
Februar	74	0,06	0,816	0,21	0,19	15	<0,0173	0,45	0,14	0,11
März	81	0,04	6,36	0,26	0,17	16	0,0144	0,217	0,097	0,082
April	92	<0,011	1,64	0,23	0,18	17	<0,0346	0,24	0,11	0,092
Mai	87	0,003	2,8	0,23	0,16	15	<0,0222	0,43	0,13	0,10
Juni	88	0,005	1,03	0,20	0,15	23	<0,026	0,21	0,094	0,083
Juli	61	0,002	8	0,32	0,16	15	0,056	0,35	0,13	0,12
August	65	0,001	7,75	0,36	0,17	23	<0,04	0,48	0,12	0,099
September	90	0,013	2,6	0,21	0,16	20	<0,0357	0,356	0,13	0,11
Oktober	92	<0,0485	0,948	0,22	0,18	13	0,028	0,28	0,12	0,10
November	86	<0,011	1,76	0,24	0,18	21	<0,0315	0,197	0,084	0,072
Dezember	89	<0,01	2,41	0,24	0,18	17	<0,04	0,295	0,11	0,10
insgesamt	987	0,001	8	0,24	0,17	208	0,0144	0,48	0,11	0,095

Säuglings- und Kleinkindernahrung

Seit Juli 1986 werden auch die von den Messstellen übermittelten Daten der Säuglings- und Kleinkindernahrung (1. Lebensjahr) bearbeitet.

In Tabelle 17 sind die oberen Schranken für die Monatsmittelwerte der Radionuklide **Strontium-90** und **Cäsium-137** aufgelistet. Für Cs-137 ergibt sich für 1997 mit 0,21 Bq/kg eine weitere Reduzierung gegenüber dem Vorjahreswert. Die Sr-90-Belastung hält sich wie in den Jahren zuvor mit aktuell 0,072 Bq/kg auf niedrigem Niveau.

Tabelle 17 Säuglings- und Kleinkindernahrung: Spezifische Aktivität von Cäsium-137 und Strontium-90 in Bq/kg Handelsware

N = Zahl der Messwerte

Monate	Cäsium-137					Strontium-90				
	N	Min.wert	Max.-wert	Mittel arith.	Mittel geom.	N	Min.wert	Max.-wert	Mittel arith.	Mittel geom.
Januar	30	<0,04	1,2	0,23	0,15	9	<0,0123	0,104	0,060	0,050
Februar	23	<0,04	0,46	0,17	0,14	2	0,045	0,092	0,069	0,064
März	25	<0,05	0,67	0,17	0,14	1	0,046	0,046	0,046	0,046
April	30	<0,02	2,03	0,26	0,15	5	0,018	0,0901	0,045	0,036
Mai	28	<0,01	0,83	0,19	0,13	3	0,03	0,062	0,045	0,043
Juni	28	<0,03	0,92	0,22	0,16	1	0,043	0,043	0,043	0,043
Juli	27	0,001	1,18	0,17	0,095	12	0,022	0,93	0,14	0,075
August	21	<0,0483	0,65	0,20	0,16	3	0,01	0,06	0,037	0,029
September	21	<0,07	0,78	0,20	0,16	3	0,01	0,071	0,041	0,031
Oktober	22	<0,057	0,6	0,19	0,15	4	<0,01	0,036	0,029	0,026
November	37	<0,03	3,2	0,25	0,15	2	0,0308	0,041	0,036	0,036
Dezember	25	<0,009	0,84	0,16	0,12	2	0,039	0,07	0,055	0,052
insgesamt	317	0,001	3,2	0,21	0,14	47	<0,01	0,93	0,072	0,047

3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Die Funktion einer Leitstelle zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Tabakerzeugnissen, Bedarfsgegenständen sowie Arzneimitteln und deren Ausgangsstoffe wird gemäß § 11 StrVG vom Institut für Strahlenhygiene (ISH) des Bundesamtes für Strahlenschutz wahrgenommen. Da viele Arzneimittelpflanzen zugleich auch als Gewürze Verwendung finden, wurde zur Vermeidung von Doppelzuständigkeiten 1990 eine Absprache mit der Bundesanstalt für Ernährung, BfE, Karlsruhe getroffen, wonach Gewürze ebenfalls vom ISH überwacht werden.

Da im Messprogramm für den Normalbetrieb nur wenige Messungen für die Bereiche Tabakerzeugnisse und Arzneimittelpflanzen vorgeschrieben sind, werden von der Leitstelle zur Sicherung der fachlichen Kompetenz und zur Gewinnung von Referenzwerten eigene Messungen durchgeführt.

Für den Bereich der Bedarfsgegenstände sowie für Arzneimittelausgangsstoffe tierischer Herkunft sind keine routinemäßigen Messungen vorgesehen. Einzelproben, insbesondere Produkte aus den GUS-Staaten und der Region um Tschernobyl, wurden bei dem Verdacht auf Kontamination gemessen.

Arzneimittel und Gewürze

Da ca. 80 % der in der Bundesrepublik verarbeiteten Arzneimittelausgangsstoffe pflanzlicher Herkunft aus dem Ausland stammen, liegt der Schwerpunkt der Radioaktivitätsüberwachung bei der Kontrolle der Importware. Außer **Cäsium-137** wurden keine weiteren künstlichen Nuklide nachgewiesen werden. Die spezifische Aktivität ist im Vergleich zu 1996 leicht angestiegen, die Schwankungen liegen jedoch im Bereich der Vorjahre und sind hauptsächlich auf unterschiedliche Sortenauswahl und Herkunftsländer zurückzuführen.

Bei den Arzneimittelpflanzen zeigen nur noch wenige Sorten bzgl. der Aufnahme von **Radiocäsium** je nach Bodentyp, Anbauart und Region erhöhte Werte. Cs-137-Aktivitäten über 30 Bq/kg TM wurden für das Erntejahr 1997 noch in Schafgarbenblüten aus Polen (33,9 Bq/kg) und in Eichenrinde aus Deutschland (39,3 Bq/kg) gemessen. Generell zeigen Produkte aus Wildsammlung, insbesondere von Wald- und Heidestandorten, aufgrund des Bodentyps höhere Cäsiumaktivitäten als pflanzliche Produkte aus landwirtschaftlichem Anbau.

Die spezifische Aktivität von **Kalium-40**, einem natürlichen Radionuklid, erreichte in den Arzneimittelpflanzen Werte von 31,7 Bq/kg TM (Pfeffer, weiß, Indonesien) bis maximal 1598 Bq/kg TM (Selleriewurzel, Deutschland).

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 Kernkraftwerkunfalles 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 Halbwertzeiten 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 Jahre 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.

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

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf (Bq/l)							
Schleswig-Holstein	K-40	20	20	0,051	4,7	0,63	<1,1
	Co-60	20	20				<0,038
	I-131	19	0				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

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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
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

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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
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

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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	
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	

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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
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

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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
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

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte ¹	Maximal- werte ¹	Mittel-/ Einzel- werte ¹	Mediane
		gesamt	<NWG				
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, Fachbereich Strahlenschutz, Berlin

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden im Jahr 1997 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**, **Jod-131**, **Kalium-40**, **Strontium-90** 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 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1997 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung").

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 etwa 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 1997 aufgrund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,016 : 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 27 Bq/l (1996: 20 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,08 Bq/l (1996: <0,062 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,2 Bq/l bis 310 Bq/l, der Median bei 13 Bq/l (1996: 0,24 bis 250 Bq/l, Median: 11 Bq/l). H-3 wurde in 75 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 2,8 und 240 Bq/l (1996: 3,6 bis 340 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 400 Bq/kg TM (1996: 510 Bq/kg TM), der Median für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt bei 39 Bq/kg TM (1990: 40 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 350 Bq/kg TM bis 3200 Bq/kg TM, der Median bei 1400 Bq/kg TM (1996: 230 bis 3400 Bq/kg TM, Median: 1200 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,55 Bq/kg TM bis 19 Bq/kg TM (1996: 0,61 bis 580 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. In Filterstaubproben aus der Sondermüllverbrennungsanlage in Rheinland-Pfalz wurde **Kobalt-60** mit Werten von 0,58 und 1,2 Bq/kg TM (1996: 1,0 und 1,4 Bq/kg TM) gemessen.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 90 Bq/kg TM (1996: 80 Bq/kg TM). Der Median südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel liegt bei 11 Bq/kg TM (1996: 13 Bq/kg TM), nördlich davon bei 2,6 Bq/kg TM (1996: 3,8 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 57 Bq/kg TM bis 1900 Bq/kg TM (1996: 47 bis 2300 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 0,48 Bq/kg TM bis 79 Bq/kg TM (1996: 0,3 bis 190 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 1997 bei 0,55 Bq/kg TM (1996: 0,86 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 1,1 Bq/kg TM (1996: 2,2 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Messwerte liegen im Bereich von 1,6 Bq/kg TM bis 1100 Bq/kg TM (1996: 1,0 bis 1700 Bq/kg TM) mit einem Median von 37 Bq/kg TM (1996: 63 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,28 Bq/kg TM bis 5700 Bq/kg TM (1996: 0,58 bis 3200 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 (1996: keine Werte über der Nachweisgrenze) mit einem Median von <0,032 Bq/l (1996: <0,034 Bq/l), für das Gebiet der restlichen Bundesrepublik wurden Werte von 0,089 Bq/l bis 2,0 Bq/l (1996: 0,045 bis 2,3 Bq/l) mit einem Median von <0,10 Bq/l gemessen (1996: 0,10 Bq/l).

I-131 wurde in 20 Proben mit Werten zwischen 0,12 Bq/l und 380 Bq/l (1996: 0,088 und 2500 Bq/l) angegeben, der Median liegt bei 6,0 Bq/l (1996: 5,2 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 22 Bq/kg TM bis 65 Bq/kg TM (1996: 39 bis 100 Bq/kg TM) mit einem Median von 42 Bq/kg TM (1996: 61 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 3,5 Bq/kg TM und 81 Bq/kg TM (1996: 2,0 bis 62 Bq/kg TM), der Median liegt bei 14 Bq/kg TM (1996: 14 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 43 Bq/kg TM bis 1300 Bq/kg TM, der Median bei 440 Bq/kg TM (1996: 23 bis 910 Bq/kg TM, Median: 430 Bq/kg TM).

Zur radiologischen Beurteilung des Kompostes aus Kompostierungsanlagen ist anzumerken, dass dieser im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes vorzugsweise im Gartenbaubereich (Gärtnereien, Baumschulen, Parkanlagen usw.) verwendet wird. Die spezifische Cs-137-Aktivität des Kompostes liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Boden, der durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert und danach spatentief umgegraben wurde. Bei einer Aufbringung von Kompost auf Gartenflächen wird entsprechend der normalerweise aufgetragenen Kompostmengen die Kontamination nur geringfügig erhöht. Wegen des niedrigen Wurzeltransfers von Cäsium ist die resultierende zusätzliche Cäsium-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 1997 (Stand: 1.3.1999)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		gesamt	<NWG			
Hausmülldeponien						
Sickerwasser aus Hausmülldeponien (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	104	65	0,011	27	0,078
südlich *)	Cs-137	8	0	0,29	2,2	0,45
alle Länder	K-40	112	18	0,2	310	13
	H-3	101	25	2,8	240	17
Verbrennungsanlagen						
Flugasche/Elektrofilterstaub, Gewebefilterstaub, Zyklonstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	34	0	2,1	170	39
südlich *)	Cs-137	2	0	290	400	340
alle Länder	K-40	36	0	350	3200	1400
	Co-60	36	34	0,58	1,2	<0,33
	I-131	36	8	0,55	19	0,95
Rohschlacke mit und ohne Filterstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	48	0	0,26	90	2,6
südlich *)	Cs-137	2	0	9,2	14	11
alle Länder	K-40	50	0	57	1900	300
	I-131	50	18	0,48	79	<0,61
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung, Wäscherschlamm (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	37	11	0,22	47	1,1
südlich *)	Cs-137	2	0	0,21	0,88	0,55
alle Länder	K-40	37	0	1,6	1100	37
	I-131	37	7	0,28	5700	9,7
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung, Abwasser (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	22	12	0,089	2,0	<0,1
südlich *)	Cs-137	2	2			<0,032
alle Länder	K-40	24	4	0,6	55	4,0
	I-131	24	4	0,12	380	6,0
Kompostierungsanlagen						
Kompost (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	49	0	3,5	81	14
südlich *)	Cs-137	4	0	22	65	42
alle Länder	K-40	53	0	43	1300	440
	I-131	18	18			<0,48

*) 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 3 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 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
1985 a)	98	53	0,20	91	61	0,20
1986 b)	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 c)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 d)	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
Januar	31	41	1,09	28	49	1,36
Februar	24	44	0,63	27	52	1,12
März	24	45	0,65	30	55	0,89
April	25	45	0,55	27	53	0,9
Mai	22	44	0,55	24	54	0,65
Juni	27	44	0,38	28	56	0,74
Juli	24	43	0,38	30	54	0,72
August	22	42	0,38	27	53	0,67
September	23	44	0,64	28	54	0,74
Oktober	26	47	0,99	26	54	0,77
November	28	47	1,09	28	54	0,77
Dezember	28	45	1,08	29	54	0,79

a) ohne Februar und Juli 1985

b) ohne Februar und März 1986

c) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen

d) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

Tabelle 2

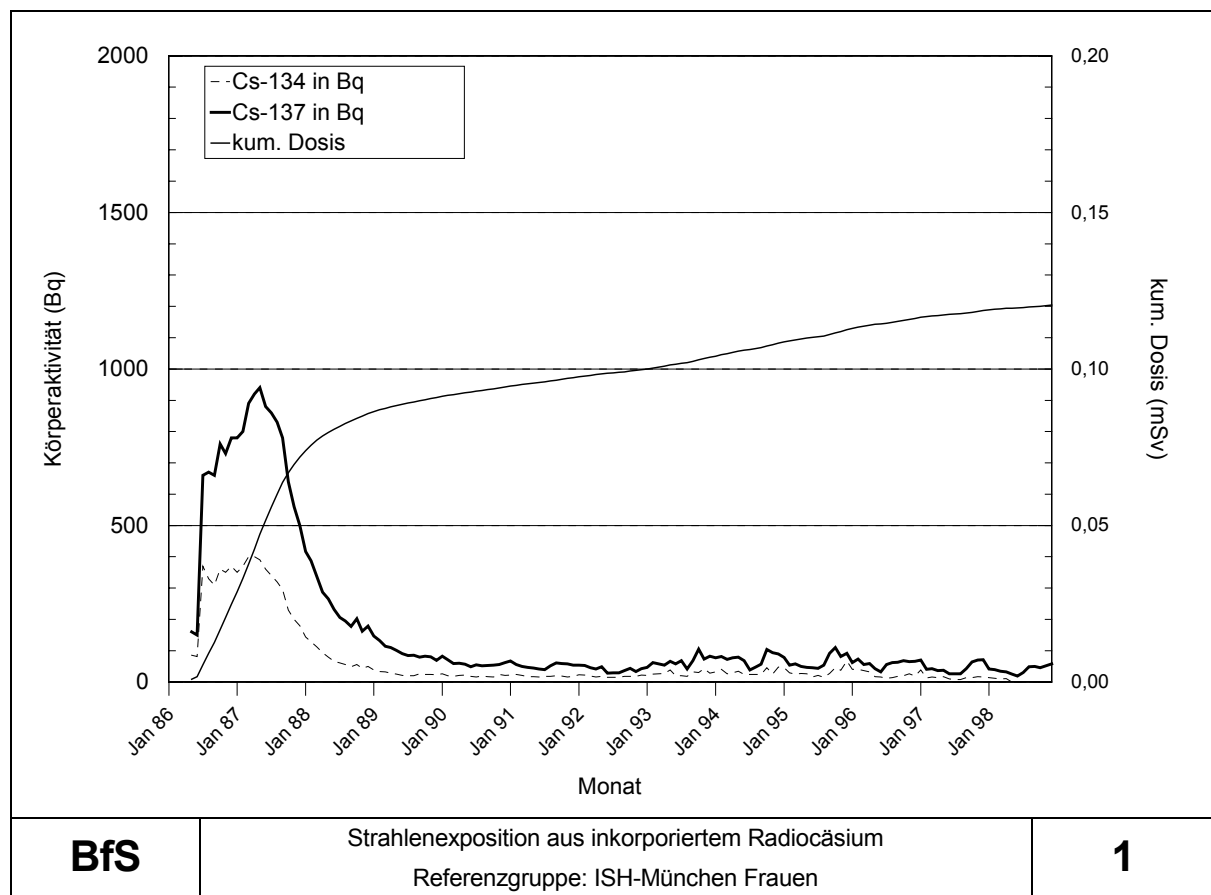
Jahres- und Monatsmittelwerte Raum Karlsruhe

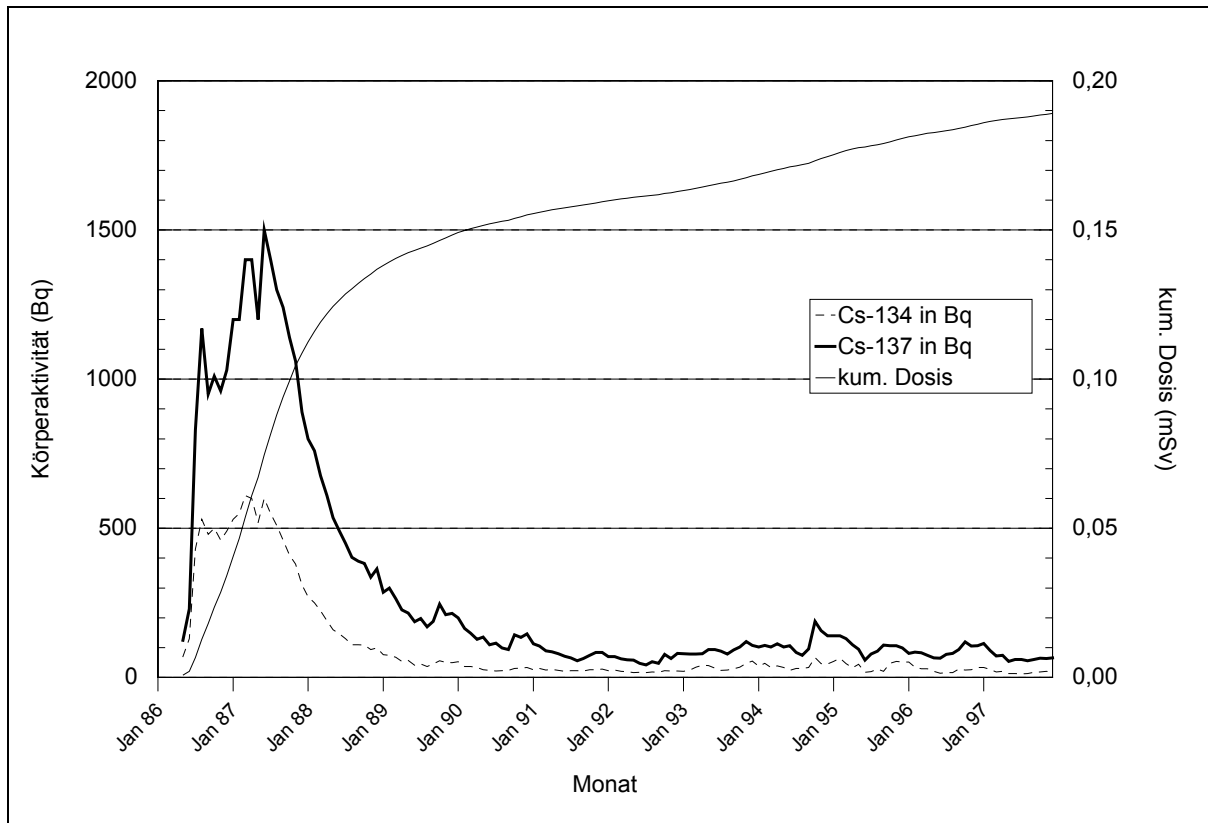
Messstelle: Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, Karlsruhe

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
Januar	10	49	0,17	10	59	0,17
Februar	10	50	0,24	10	61	0,16
März	9	48	0,21	9	60	0,23
April	10	49	0,19	8	61	0,19
Mai	8	49	0,25	8	63	0,22
Juni	9	50	0,14	9	57	0,19
Juli	9	47	0,16	9	61	0,14
August	9	51	0,2	9	63	0,22
September	10	53	0,24	10	60	0,22
Oktober	9	51	0,3	10	61	0,22
November	10	54	0,25	10	63	0,27
Dezember	9	54	0,26	10	64	0,28

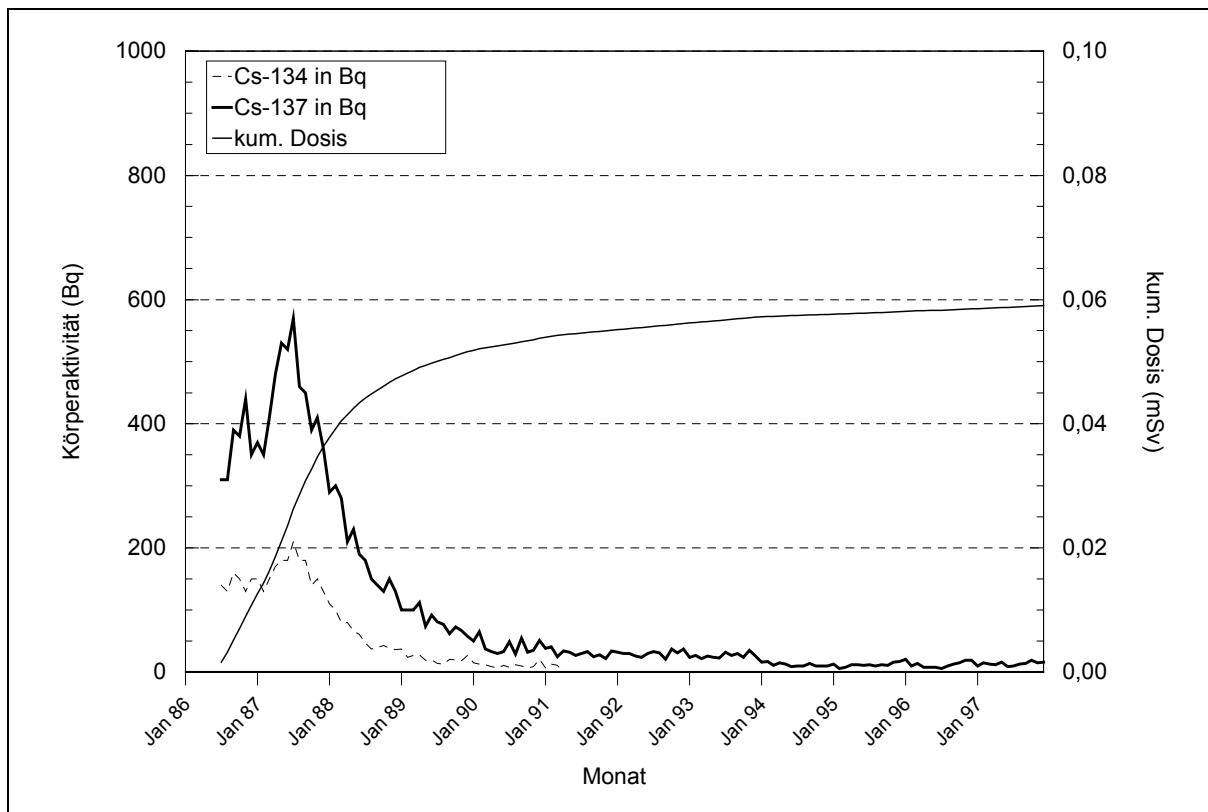
a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung

b) Mai 1996 keine Messungen

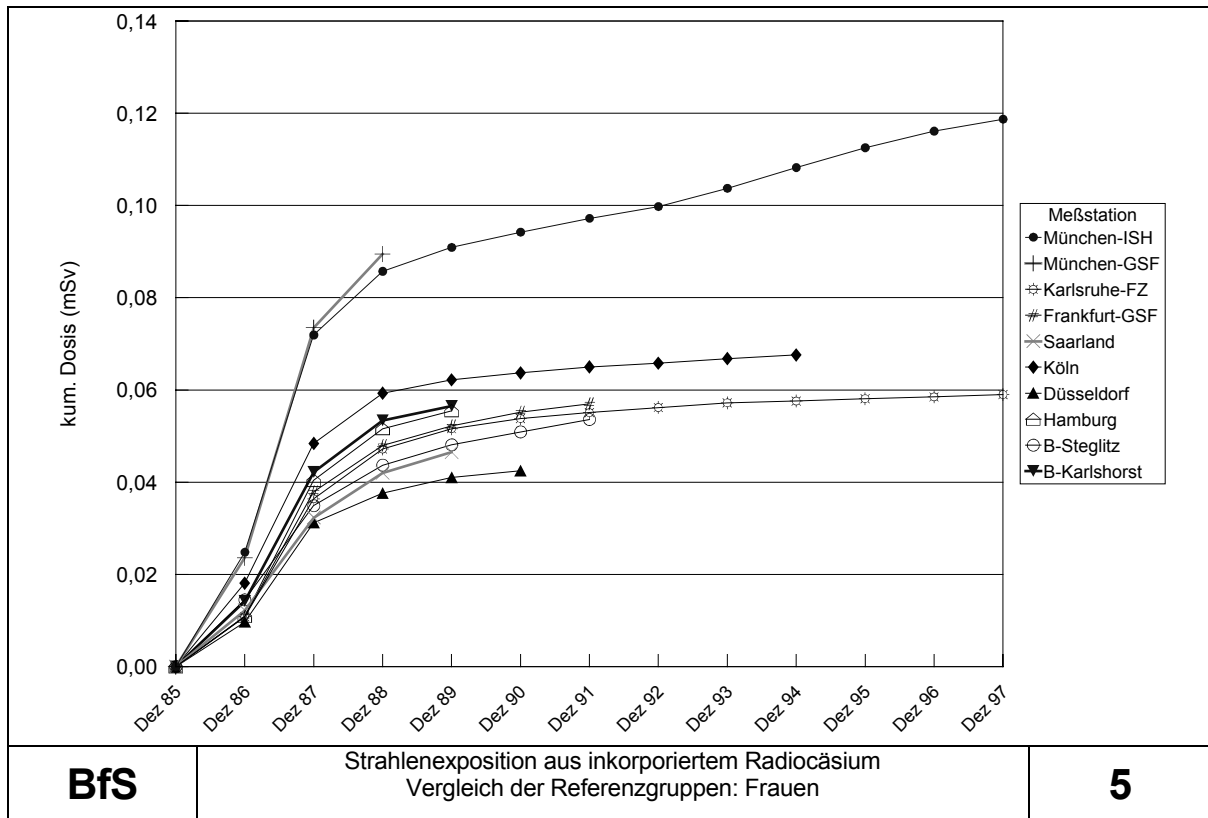
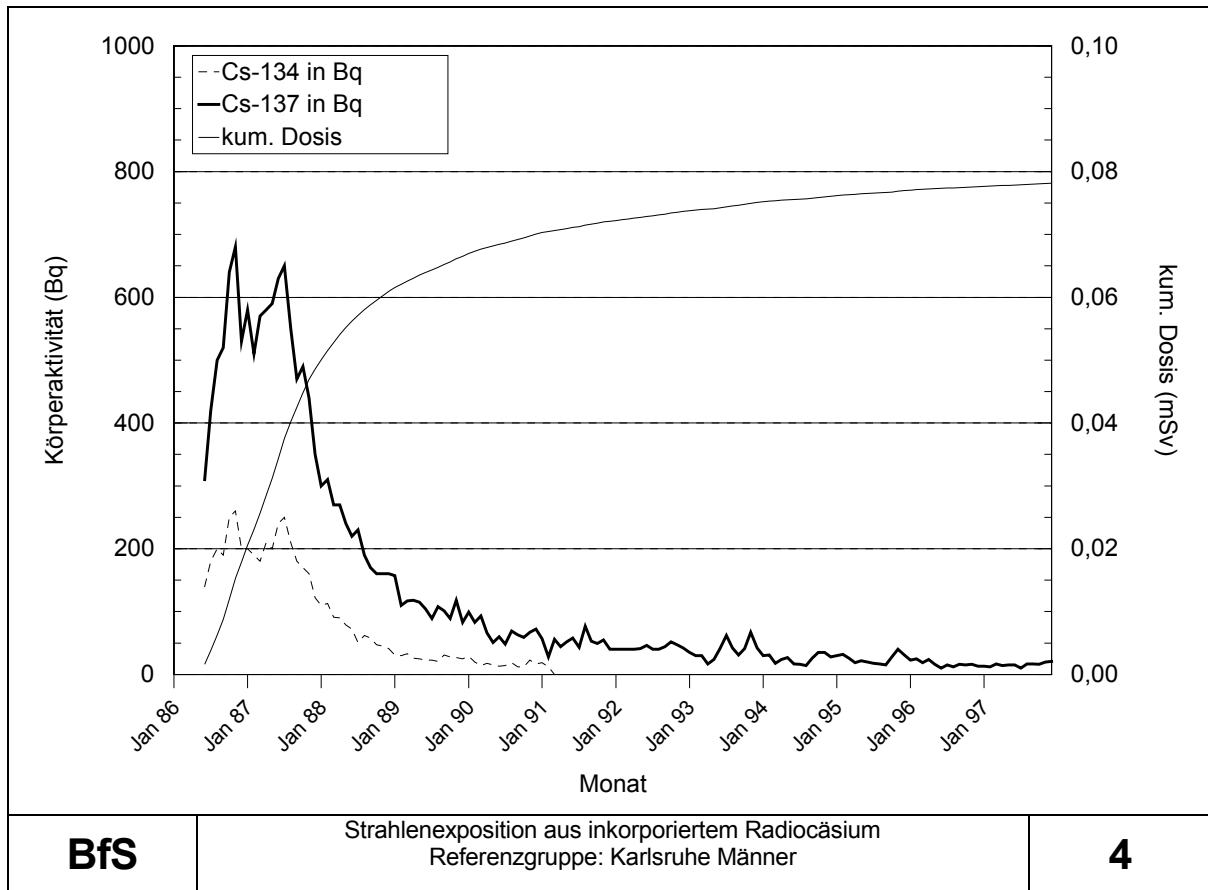


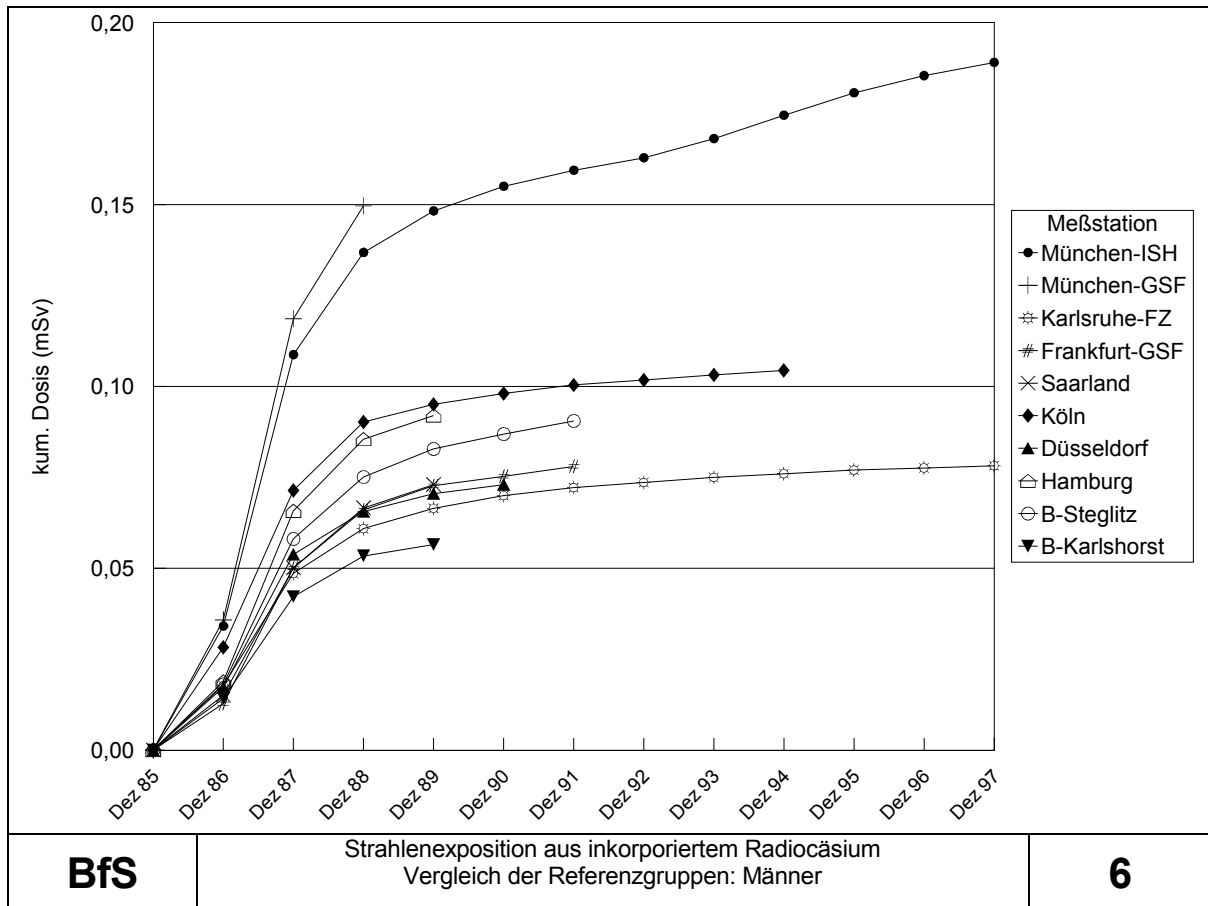


Bfs	Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium Referenzgruppe: ISH-München Männer	2
------------	---	----------



Bfs	Strahlenexposition aus inkorporiertem Radiocäsium Referenzgruppe: Karlsruhe Frauen	3
------------	---	----------





3.8 Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk 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 effektive Dosis durch Bodenstrahlung wurde 1997 zu 96 % von **Cäsium-137** und zu 4 % 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 1997 auf ca. 12 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 1997 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 1997 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 1997 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 1997 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

Im Jahr 1997 wurden erstmals seit 1959 keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Die Tabelle gibt einen Überblick aller bekannt gewordenen 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 1997 liegt unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

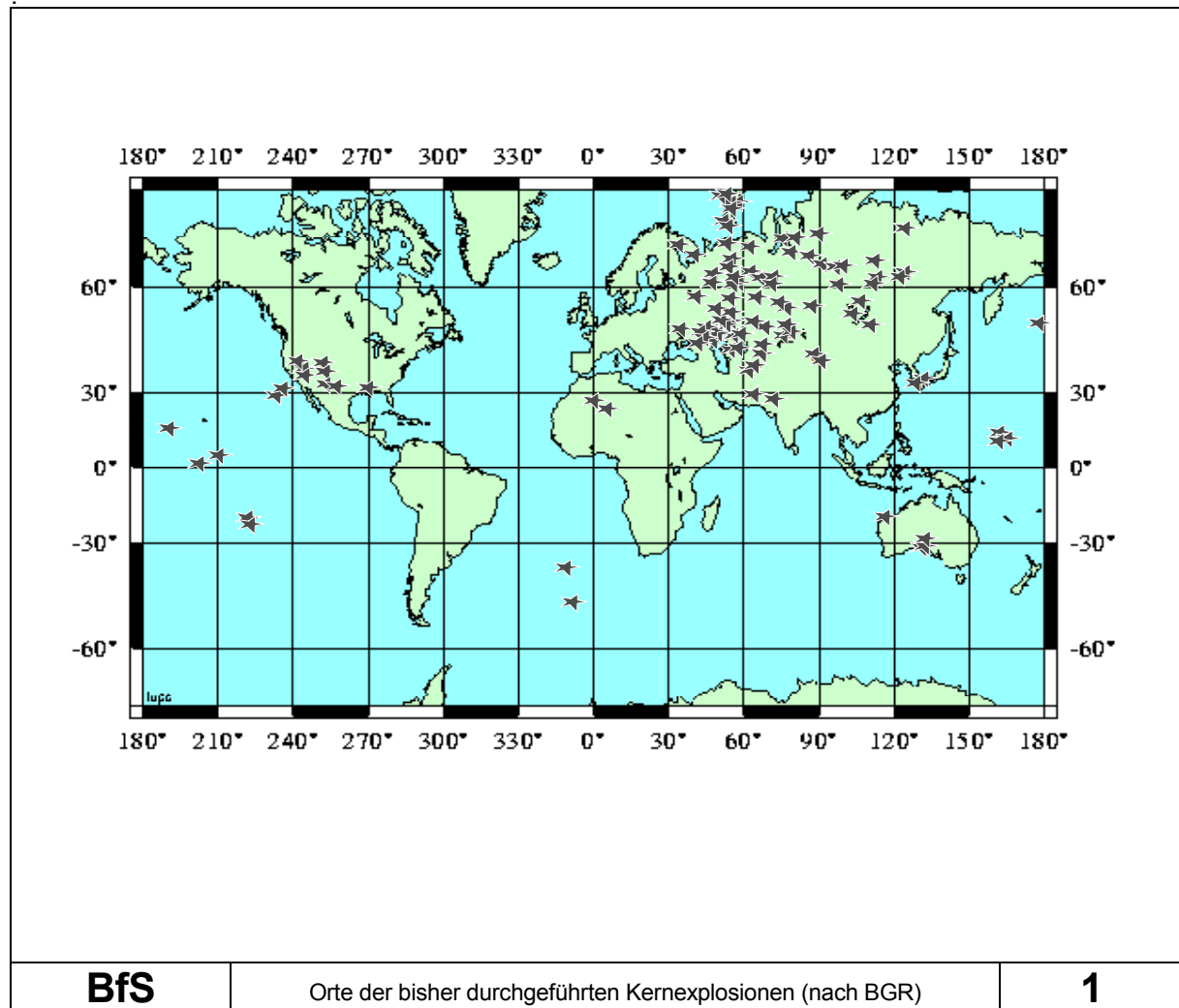


Tabelle1 Anzahl der Kernwaffenversuche a)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	15	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 2

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)
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	15	34	-	5	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-
1962	39	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-
1986	-	14	-	0	-	1	-	8	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	195	888	219	750	21	24	45	160	22	22	1

- 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 Fachbereich für Strahlenschutz, Berlin, und dem Fachbereich Eigenüberwachung des Endlagers Morsleben, Braunschweig

1.1 Allgemeine Angaben über kerntechnische Anlagen

In der Bundesrepublik Deutschland bestanden im Jahr 1997 folgende kerntechnische Anlagen:

- 19 Kernkraftwerke (Tabelle 1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22 194 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 170 TWh und einem Anteil von rund 36 % an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1997. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich war 1997 aufgrund behördlich angeordneten Stillstands wegen Aufhebung der 1. Teilerrichtungsgenehmigung 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 1997 6081 m³ radioaktive Abfälle mit einer Aktivität von 19 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 oder Einrichtungen so zu planen, dass die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus diesen Anlagen mit Luft oder Wasser bedingte jährliche Strahlenexposition des Menschen die in § 45 StrlSchV angegebenen Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr nicht überschreitet; für die effektive Dosis beispielsweise beträgt der Grenzwert 0,3 Millisievert, für die Schilddrüsendosis 0,9 Millisievert pro Jahr.

Bei kerntechnischen Anlagen werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zusätzlich Grenzwerte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser festgelegt. In einem radioökologischen Gutachten ist dabei nachzuweisen, dass auch bei voller Ausschöpfung dieser Genehmigungswerte die Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV nicht überschritten werden. Darüber hinaus ist gemäß § 28 StrlSchV grundsätzlich dafür zu sorgen, dass auch unterhalb der Genehmigungswerte die abgeleitete Aktivität so gering wie möglich ist.

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

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind

gemäß den Sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (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 1997 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 1997 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 1997 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 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Stand: 31.12.1997)

Kernkraftwerk/Standort	Typ a)	el.Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 1997 (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	333	1968	Neckar
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	20	0	1971/1991	Rhein
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	670	0	1971/1994	Weser
Kernkraftwerk Stade	DWR	672	596	1972	Elbe
Kernkraftwerk Greifswald 1 - 5	WWER	je 440	0	1973/1990	Ostsee
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1225	972	1974	Rhein
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1300	1032	1976	Rhein
Kernkraftwerk Neckarwestheim 1	DWR	840	768	1976	Neckar
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	806	609	1976	Elbe
Kernkraftwerk Isar 1	SWR	907	716	1977	Isar
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1350	1195	1978	Weser
Kernkraftwerk Philippsburg 1	SWR	926	765	1979	Rhein
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	DWR	1345	1220	1981	Main
Kernkraftwerk Krümmel	SWR	1316	1104	1983	Elbe
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	HTR	307	0	1983/1988	Lippe
Kernkraftwerk Gundremmingen B	SWR	1344	1108	1984	Donau
Kernkraftwerk Grohnde	DWR	1430	1430	1984	Weser
Kernkraftwerk Gundremmingen C	SWR	1344	1081	1984	Donau
Kernkraftwerk Philippsburg 2	DWR	1424	1336	1984	Rhein
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich b)	DWR	1302	0	1986	Rhein
Kernkraftwerk Brokdorf	DWR	1440	1351	1986	Elbe
Kernkraftwerk Isar 2	DWR	1440	1317	1988	Isar
Kernkraftwerk Emsland	DWR	1363	1283	1988	Ems
Kernkraftwerk Neckarwestheim 2	DWR	1365	1234	1988	Neckar

- a) SWR = Leichtwasser-Siedewasserreaktor; DWR = Leichtwasser-Druckwasserreaktor; D₂O-DWR = Schwere-
wasser-Druckwasserreaktor; HTR = gasgekühlter Hochtemperaturreaktor; NaR = natriumgekühlter Reaktor;
WWER = Leichtwasser-Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart
- b) 1997 nicht in Betrieb

Tabelle 2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nulleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 31.12.1997)

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

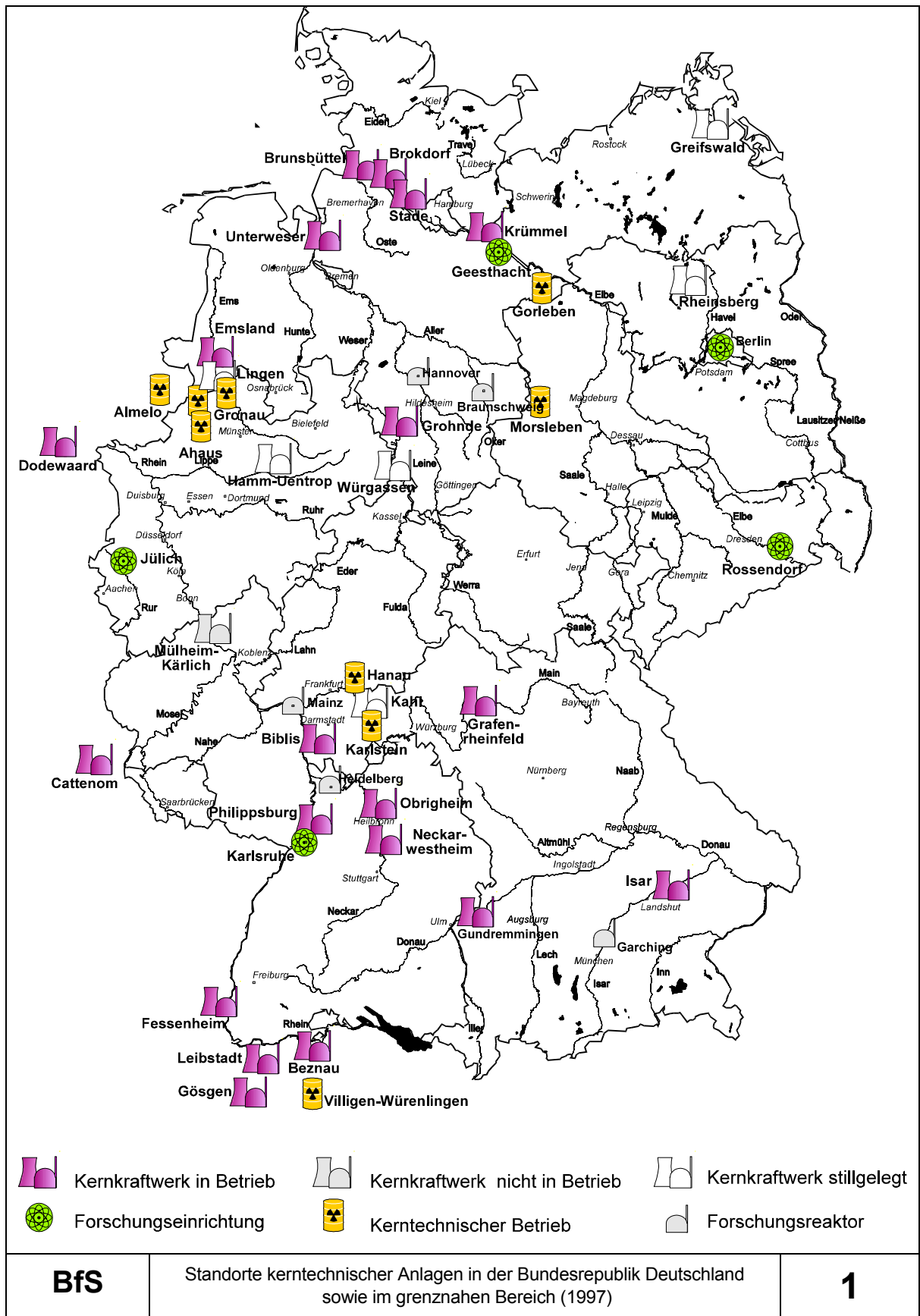
Tabelle 3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 31.12.1997)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Beginn des Betriebes	Inventar
Morsleben	Bundesamt für Strahlenschutz	ERAM	1979	31675 m ³ /385 TBq a)

a) Niedrig- und mittelradioaktive Abfälle außer Kernbrennstoffe und Wiederaufarbeitungsabfälle. Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Aktivität ein Wert von 142 TBq.

Tabelle 4 Kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland (Stand 31.12.1997)

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 1997 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 Einzelnuclidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 1997 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 1997 mit $3,8 \cdot 10^{13}$ Becquerel niedriger als 1996 mit $6,2 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 1997 mit $3,0 \cdot 10^8$ Becquerel unter dem Vorjahreswert von $3,4 \cdot 10^8$ 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 1997 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 1997 mit insgesamt $6,4 \cdot 10^5$ Becquerel niedriger als 1996 mit $1,3 \cdot 10^6$ Becquerel.

Die für das Jahr 1997 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 1997 in Becquerel

Kernkraftwerk	Edelgase	Aerosole a)	Jod-131	¹⁴ CO ₂	Tritium
Kahl b)	-	7,5E04	-	-	-
Rheinsberg c)	n.n.	2,2E06	n.n.	-	1,7E09
Gundremmingen A d)	-	5,4E06	-	-	1,4E11
Lingen d)	-	6,3E01	-	5,0E08	1,3E08
Obrigheim	2,0E11	7,4E06	7,2E04	1,1E10	1,3E11
Stade	1,2E12	2,4E05	4,0E06	1,8E10	2,1E12
Würgassen e)	-	4,1E07	-	9,4E08	6,0E09
Greifswald c)	-	8,7E07	-	1,3E10	1,7E09
Biblis A	9,9E11	6,4E06	4,5E06	8,3E09	1,8E11
Biblis B	3,5E12	2,0E06	2,4E06	2,4E10	3,1E11
Neckar 1	1,8E12	2,7E05	4,0E06	9,5E09	2,6E11
Brunsbüttel	3,9E12	2,6E07	1,1E06	1,4E11	3,5E10
Isar 1	8,1E11	1,3E07	5,7E07	1,7E11	6,0E10
Unterweser	3,5E12	7,9E05	4,7E05	3,9E10	3,5E11
Philippsburg 1	8,6E11	2,5E07	7,5E07	5,0E11	5,4E10
Grafenrheinfeld	n.n.	2,0E06	1,3E06	9,3E10	2,9E11
Krümml	1,1E13	1,5E08	1,4E08	3,4E11	4,2E10
Gundremmingen B und C	3,1E11	6,2E04	1,6E05	1,2E12	1,2E12
Grohnde	2,4E11	1,2E06	n.n.	4,7E09	1,9E11
Hamm-Uentrop f)	-	n.n.	-	n.n.	4,5E09
Philippsburg 2	5,8E12	5,3E05	4,5E06	6,6E10	1,1E12
Mülheim-Kärlich g)	n.n.	n.n.	n.n.	2,3E09	4,0E10
Brokdorf	3,7E12	n.n.	3,2E06	1,0E11	3,2E11
Isar 2	1,7E11	6,7E04	n.n.	5,2E11	9,7E11
Emsland	1,0E11	1,7E05	n.n.	1,8E11	1,9E12
Neckar 2	3,5E11	n.n.	1,7E05	6,1E10	1,3E11

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) 1997 nicht in Betrieb

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

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1997 in Becquerel

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

Radio-nuklid	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philipps- burg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmel	Gundrem- mingen B, C
Ar-41	6,7E11	4,9E10	1,8E08	4,2E11				
Kr-85m	5,0E09		1,3E07		5,7E09		2,2E11	
Kr-85	1,4E11		7,4E11	2,0E11	5,3E10		2,9E11	3,1E11
Kr-87	2,0E09		6,1E08		1,0E10		2,3E11	
Kr-88	5,0E09				7,8E09		1,3E11	
Kr-89			5,4E09					
Xe-131m	1,7E10	1,1E11					9,6E09	
Xe-133m	8,0E09	2,6E10	4,1E07				2,6E10	
Xe-133	8,8E11	2,4E11	1,9E10	2,8E12	6,2E09		2,4E12	
Xe-135m	4,0E08	6,2E11	2,9E10		3,1E11		3,8E12	
Xe-135	6,7E10	2,9E12	9,8E09	4,9E10	4,4E11		3,3E12	
Xe-137			2,9E09					
Xe-138			2,8E09		2,1E10		7,1E11	

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

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 3 Ableitung radioaktiver Aerosole mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1997 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					3,6E06				
Mn-54					2,5E04				
Fe-59									
Co-57									
Co-58					1,9E05				
Co-60	7,0E04	7,1E05	3,8E06	1,1E01	2,4E06	2,0E07	1,7E05	7,5E07	
Zn-65									
Sr-89									
Sr-90		6,8E04	7,3E04			1,5E05		5,5E05	
Zr-95									
Nb-95									
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					1,0E06				
Sb-124									
Sb-125									
Te-123m									6,4E06
Cs-134								7,0E04	
Cs-137	5,4E03	1,1E06	1,1E06	5,2E01	2,6E05	2,1E07	7,2E04	1,1E07	
Ba-140									
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		1,8E05							
Eu-154		1,1E05							
Pu-238+Am-241			4,1E04						
Pu-239+Pu-240			4,7E04						
Pu-241			2,6E05						
Cm-242									
Cm-244									

Fortsetzung Tabelle 3

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

Fortsetzung Tabelle 3

Radio-nuklid	Grohnde	Hamm- Uentrop	Philipp- burg 2	Mülheim- Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
Cr-51							5,3E04	
Mn-54			9,0E03					
Fe-59								
Co-57								
Co-58			2,5E04				1,2E04	
Co-60	1,2E06		3,8E05			6,7E04	6,4E04	
Zn-65			5,0E03					
Sr-89								
Sr-90								
Zr-95							1,4E04	
Nb-95			1,1E04				2,2E04	
Ru-103								
Ru-106								
Ag-110m			2,6E04				5,0E03	
Sb-124								
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134			1,0E04					
Cs-137			6,4E04					
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 1967 bis 1997

Jahr	Edelgase Bq	Jod-131 Bq
1967	7,3 E14	1,2 E09
1968	3,0 E14	1,4 E09
1969	6,6 E15	1,6 E10
1970	4,7 E15	1,9 E10
1971	6,9 E14	2,7 E10
1972	8,3 E14	1,5 E10
1973	1,2 E15	7,5 E10
1974	1,1 E15	5,1 E09
1975	2,0 E15	5,8 E10
1976	9,7 E14	1,8 E10
1977	5,3 E14	4,8 E09
1978	5,7 E14	6,8 E09
1979	4,4 E14	3,3 E09
1980	4,9 E14	3,1 E09
1981	2,1 E14	1,8 E09
1982	1,2 E14	1,3 E09
1983	1,4 E14	3,3 E09
1984	1,6 E14	2,2 E09

Fortsetzung Tabelle 4

Jahr	Edelgase Bq	Jod-131 Bq
1985	1,3 E14	1,3 E09
1986	2,7 E14	2,0 E09
1987	1,9 E14	8,2 E08
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

Tabelle 5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 1997 in Becquerel

Forschungszentrum	Edelgase	Aerosole a)	Jod-131	Jod-129	Kohlenstoff-14	Tritium	Strontium-90
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	3,2E12	1,1E07 ^{b)}	3,8E06	2,1E06	2,0E06	3,9E12	1,3E06
Forschungszentrum Jülich (einschl. Versuchsreaktor AVR)	2,2E11	2,1E05	9,0E07	-	2,4E10	1,5E12	1,3E03
Forschungszentrum Rossendorf	5,8E09	4,2E06	n.n.	n.n.	2,6E09	4,2E10	1,1E04
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	9,2E11	3,0E04	1,2E05	-	8,1E07	3,7E10	n.n.
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	3,8E11	8,3E02	3,5E05	-	2,9E09	5,3E10	-

a) Halbwertszeit > 8 d

b) davon α -Strahler: 3,2 E05 Becquerel

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

Tabelle 6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren Jahr 1997 in Becquerel

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
Braunschweig	n.n.	1,3E04	n.n.	7,2E07	1,4E09
Garching	3,8E11	4,7E03	2,4E04	1,9E08	2,2E10
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	4,1E09	2,7E03	-	2,5E06	1,4E07
Mainz	8,3E10	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 im Jahr 1997

Nuklid	Bq
Tritium	2,8E10
Kohlenstoff-14	1,4E09
langlebige Aerosole	2,3E06
Radon-Folgeprodukte	1,2E10

Tabelle 8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Abluft aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1997

Betrieb	Bq
NUKEM GmbH (Hanau) a)	3,1E05
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
- Betriebsteil MOX-Verarbeitung a)	<2,9E04
- Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	<2,6E05
- Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein a)	<1,6E03
ANF GmbH (Lingen)	<1,6E04
URENCO D (Gronau)	2,4E04

a) Brennelementeproduktion eingestellt

1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich für Strahlenschutz, Berlin

In den Tabellen 1 bis 3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1997 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 1997 insgesamt 11,7 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.

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1997 in Becquerel (Summenwerte, Tritium und α -Strahler)

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

- 1) Anlage stillgelegt
 2) Block A stillgelegt
 3) Anlage seit 1990 außer Betrieb

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Für die Druckwasserreaktoren lag die insgesamt abgegebene Menge an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei 2,1 GBq, für die Siedewasserreaktoren bei 2,3 GBq. Die Tritiumangaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 158 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 14 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 2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 1997 in Becquerel

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	α -Strahler
Karlsruhe(einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	1,0 E 08	5,9 E 12	5,7 E 05
Jülich	3,8 E 08	1,2 E 12	
GKSS Geesthacht	5,5 E 07	3,1 E 09	4,1 E 04
HMI Berlin		9,4 E 09	
FRM Garching	5,9 E 06	3,9 E 09	
FRZ/VKTA Rossendorf ¹⁾	8,3 E 05	2,3 E 08	4,0 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 1997 in Becquerel

Betrieb	α -Strahler
NUKEM GmbH ^{a)}	2,7 E+07
SIEMENS AG Brennelementwerk Hanau Betriebsteil MOX-Verarbeitung ^{a)} Betriebsteil Uran-Verarbeitung ^{a)} Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein ^{a)}	1,8 E+08
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	3,2 E+03

a) Brennelementproduktion eingestellt

b)

Tabelle 4 Ableitungen radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit dem Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1997 in Becquerel

Radionuklid	Jahresaktivitätsabgabe in Bq
Tritium	9,3E+04
Nuklidgemisch (außer Tritium)	2,5 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 1997 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 Millibecquerel pro Kubikmeter, Messwerte der Betreiber)

Zeitraum Probenahmestelle	N	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
HMI Berlin	2	-	-	-	-	-	< 0,23	< 0,22	< 0,20
KKW Brunsbüttel	2	< 0,12	< 0,14	< 0,13	< 0,093	-	< 0,22	< 0,26	< 0,22
KKW Brokdorf	2	< 0,25	< 0,22	-	< 0,23	< 0,19	< 0,46	< 0,54	< 0,55
KKW Krümmel	3	< 0,13	< 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
KKW Unterweser	2	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	[< 2,0] ⁹	< 2,00
KKW Grohnde	3	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 0,82	< 0,48	< 0,43	< 0,45
KKW Emsland	2	< 0,20	< 0,14	< 0,12	< 0,13	< 0,15	[< 0,38] ³	< 0,43	< 0,33
KKW Würgassen	3	0,24	< 0,2	< 0,20	< 0,19	< 1,18	< 1,43	*	*
KFA Jülich	3	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	0,63**	0,33 **
THTR Hamm-Uentrop	2	< 0,98	< 0,39	< 0,68	< 0,78	< 0,89	[< 0,38]*	*	*
KKW Biblis	3	-	-	-	< 0,65	< 1,2	< 1,2	< 0,54	< 0,53
KKW Philippsburg	4	-	-	< 0,75	< 0,51	< 0,61	< 0,74	< 0,68	< 0,65
KKW Obrigheim	3	-	-	< 0,40	< 0,35	< 0,56	< 0,68	< 0,80	< 0,78
KKW Neckarwestheim	2	-	-	< 0,067	< 0,77	< 0,54	< 0,74	< 0,77	< 0,72
KfK Karlsruhe	3	< 0,19	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	< 0,15	< 0,17	< 0,16	< 0,18	< 0,19	< 0,14	< 0,35	< 0,36
KKG Grafenrheinfeld	3	< 0,14	< 0,13	< 0,23	< 0,23	< 0,25	< 0,21	< 0,48	< 0,49
KRB Grundremmingen II	3	< 0,25	< 0,35	< 0,24	< 0,37	< 0,27	< 0,33	< 0,44	< 0,32
KKW Greifswald	2	-	-	-	-	-	< 0,38	< 0,14	< 0,10
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	-	-	< 0,22	< 0,14	< 0,06
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	Keine Messung	Keine Messung
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	-	-	-	-	-	< 0,40

- : keine Messwerte

* : Messungen eingestellt

N : Zahl der Messstationen

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

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

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

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

- : 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	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
HMI Berlin	2	77	77	82	83	-	83	79	72
KKW Brunsbüttel	2	80	94	96	93	93	83	[90] ⁹	72
KKW Brokdorf	2	56	55	57	55	62	65	62	62
KKW Krümmel	3	-	-	63	64	60	66	[68] ⁹	63
GKSS Geesthacht	1	-	78	79	78	78	80	80	84
KKW Stade	1	-	-	-	-	-	165	196	60*
KKW Unterweser	2	55	50	52	50	50	54	[54] ⁹	90
KKW Grohnde	3	90	93	92	89	88	91	88	88
KKW Emsland	2	74	75	75	75	74	[75] ³	73	66
KKW Würgassen	3	114	107	105	95	102	105	104	-
KFA Jülich	12	< 10 **	53	54	64	55	63	59	55
THTR Hamm-Uentrop	2	61	62	74	-	74	83	92	92
KKW Biblis	3	-	-	-	-	80 - 125	73 - 128	93	85
KKW Philippsburg	4	53	52	52	100	99	99	112	109
KKW Obrigheim	3	-	-	< 200	< 200	73	73	78	75
KKW Neckarwestheim	2	-	-	-	-	53	54	58	61
KfK Karlsruhe	8	111	-	-	-	86	86	96	85
KKI Niederaichbach ^a	5	95	93	99	83	78	79	80	68
KKG Grafenrheinfeld ^a	5	62	70	72	70	86	117	118	97
KRB Grundremmingen II ^a	5	90	90	90	87	85	88	89	79
KKW Greifswald	20	-	-	-	-	-	71	54 - 81	70
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	-	-	116	113	110
KKR Rheinsberg	4	-	-	-	-	-	-	110	105

- : keine Messwerte

* : Netto- γ -Dosisleistung künstlich

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 Milchforschung, Kiel

Hinsichtlich der radioökologischen Situation in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und den beobachteten Schwankungen der Messwerte in diesen Bereichen gelten die gleichen Ausführungen, die bereits in den Kapiteln I 3.2 und I 3.4.2 gemacht wurden. Auch in der Umgebung kerntechnischer Anlagen ist die Situation nach wie vor durch die zurückliegenden Depositionen nach den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre und nach dem Tschernobylunfall im 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	1995 1996 1997	11 11 11	19,1 14,6 17,4 (5,8-57,0)	4 7 8	Pu-238	Pu-239/240
					0,67	0,47
					<0,26 <0,11 (<0,01-0,21)	0,51 0,29 (<0,07-1,3)
	1996 1997			3 3	Sr-90	
					1,3 0,8 (0,3-1,6)	
	Kernkraftwerk Obrigheim	1995	8	12,6		
		1996	8	12,1		
		1997	8	10,8 (3,6-19,1)		
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	1995	8	14,3		
		1996	8	12,9		
1997		8	12,7(2,9-22,0)			
Kernkraftwerk Philippsburg	1995	14	21,4	3	<1,4	
	1996	11	17,8	a)	a)	
	1997	8	17,0 (9,2-34,0)	a)	a)	
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1995	8	43,1			
	1996	8	31,6			
	1997	8	38,4 (28,0-51,0)			
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1995	4	14,5			
	1996	4	13,5			
	1997	4	9,6 (6,3-14,0)			
TRIGA Heidelberg	1995	2	b) (19,0-29,0)			
	1996	2	b) (24,0-34,0)			
	1997	2	b) (22,0-30,0)			
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Kahl	1995	3	23,7			
	1996	3	13,1			
	1997	3	24,0 (11,0-39,0)			
Kernkraftwerk Gundremmingen	1995	12	60,6	a)	a)	
	1996	12	60,1	a)	a)	
	1997	12	58,4 (36,0-110,0)	a)	a)	
Kernkraftwerk Isar	1995	12	60,3	a)	a)	
	1996	12	79,8	a)	a)	
	1997	12	58,0 (14,0-140,0)	a)	a)	

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1995	10	Cs-137 10,0	a)	Sr-90 a)	
	1996	10	8,7	a)		
	1997	11	6,8 (3,5-11,0)	a)		
Forschungsreaktor München	1995	2	b) (37,0-220,0)	2	b) 0,11-0,24	
	1996	2	b) (100,0-150,0)			
	1997	2	b) (60,0-120,0)			
KWU Erlangen	1995	4	24,0	2	Pu-238 a)	
	1996	4	28,3	4	Pu-239/240 <0,14 (<0,05-0,23)	
	1997	4	29,8 (18,0-45,0)		b) (<0,17-<0,17)	
KWU Karlsruhe	1996	2	28,5	2	U-235 b) 0,46-0,5	
	1997	4		4	U-238 b) 10,0-12,0	
					Am-241 <0,06-<0,08	
					<0,12(0,06-<0,21)	
KWU Karlsruhe	1995	2	28,5	2	Pu-238 b) <0,2-<1,1	
	1996	2		2	Pu-239/240 b) <0,2-<0,39	
	1997	2		2	b) <0,1-<0,15 b) <0,04-<0,1 b) <0,1-<0,3 b) <0,1-<0,2	
SBWK Karlsruhe	1995	4	Gesamt-α-Aktivität 100	2	U-235 b) 0,2-1,1	
	1996	4			150	U-238 b) 5,5-22,0
	1997	4			140 (90-190)	Am-241 b) 0,05-<0,1
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1995	8	Cs-137 22,0	10	Sr-90 < 1,1	
	1996	8				19,3
	1997	8				21,9 (16,0-32,0)
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1995	8	15,0	10	a)	
	1996	8				11,3
	1997	8				11,5 (5,5-17,0)
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1995	10	8,4	10	a)	
	1996	5				8,5
	1997	10				7,5 (2,4-11,0)
Nuklearbetriebe Hanau	1995	6	Gesamt-α-Aktivität Bq/kg Asche 330	6	Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche <290	
	1996	6			370	Pu-239/240 Bq/kg Asche 0,15 (N=3)
	1997	6			615 (210-1000)	550 520 (350-660)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1995	24	Cs-137 12,8	a)	Sr-90 a)	
	1996	22				10,1
	1997	29				12,9 (0,6-66,0)
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1995	12	24,8	a)	a)	
	1996	12				18,3
	1997	24				13,9 (0,6-44,0)
Kernkraftwerk Unterweser	1995	8	42,0	a)	a)	
	1996	10				42,3
	1997	22				21,5 (2,0-60,0)
Kernkraftwerk Grohnde	1995	10	20,1	a)	Sr-90 a)	
	1996	10				26,7
	1997	10				24,3 (4,8-47,0)
Kernkraftwerk Emsland	1995	10	19,7	a)	a)	
	1996	10				26,1
	1997	10				21,1 (6,2-41,0)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
Zwischenlager Gorleben	1995	18	Cs-137 34,6	4	Sr-90		
	1996	18	38,0		<1,6 (<1,3-<2,0)		
	1997	17	33,4 (12,0-81,0)				
FMRB Braunschweig	1995	a)	a)	a)	Gesamt-α-Aktivität a)		
	1996	6	35,6	6	1,3		
	1997	4	13,5 (5,9-30)	4	1,4 (1,0-1,8)		
Schacht Konrad II	1995	24	27,1	24	27,4		
	1996	24	20,1 (5,4-87,0)	12	38,2 (29,1-46,8)		
	1997	24	14,5 (1,1-62,0)	a)	a)		
Advanced Nuclear Fuels Lingen	1995	a)	Uran μg/kg Asche a)	3	Bq/kg Asche		
	1996	a)	a)		U-234	U-235	U-238
	1997	3	386 (321-466)		3	6,3 4,5 (3,5-5,2)	0,28 0,22 (0,21-0,23)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	1995	9	Cs-137 10,0	2	Sr-90 (Bq/kg Trockenmasse) 1,6		
	1996	10	10,0	6	1,5		
	1997	10	10,7 (5,0-19,0)	6	1,8 (1,0-2,9)		
Kernkraftwerk Würgassen	1995	20	22,1	a)	a)		
	1996	20	24,9	a)	a)		
	1997	20	20,6 (7,0-55,0)	a)	a)		
Kernkraftwerk Uentrop	1995	8	31,1	a)	a)		
	1996	8	27,9	a)	a)		
	1997	8	24,9 (6,8-46,0)	a)	a)		
Zwischenlager Ahaus	1995	12	23,3	12	1,4		
	1996	6	19,7	6	1,5		
	1997	6	14,2 (9,0-24,0)	6	1,7 (0,5-2,2)		
UAG Gronau	1995	10	Uran Bq/kg Trockenmasse < 0,1	10			
	1996	10	< 0,2				
	1997	10	< 0,1 (< 0,1-< 0,1)				
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1995	8	Cs-137 19,5	8			
	1996	8	23,9				
	1997	8	16,6 (9,9-29,6)				
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1995	a)	a)	a)	a)		
	1996	a)	a)	a)	a)		
	1997	a)	a)	a)	a)		
<u>Sachsen</u> Rossendorf	1995	16	15,6	16			
	1996	16	15,0				
	1997	17	11,2 (4,2-40,0)				
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1995	10	10,4	4	Sr-90 1,1	Gesamt-β-Aktivität 625	
	1996	12	8,8	4	0,7	a)	
	1997	8	8,8 (5,0-15,0)	4	0,8 (0,7-0,9)	b) 580-650 (N=2)	
<u>Schleswig-Holstein</u> GKSS Geesthacht	1995	8	13,8	a)	Sr-90 a)		
	1996	8	10,8	a)	a)		
	1997	10	7,9 (7,4-15,0)	2	0,5 (0,4-0,6)		
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1995	8	48,6	4	2,0		
	1996	10	30,7	6	1,7		
	1997	8	31,9 (10,7-55,0)	2	1,0 (1,1-2,1)		

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Krümmel	1995	12	11,6	6	1,3
	1996	15	5,2	10	0,6
	1997	12	10,5 (5,5-15,1)	6	1,0 (0,5-2,3)
Kernkraftwerk Brokdorf	1995	14	21,3	a)	a)
	1996	16	22,9	2	b) (0,6-2,1)
	1997	16	21,6 (9,0-49,0)	16	2,5 (1,0-5,1)

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> FZ Karlsruhe	1995	6	<0,8	4	<0,08
	1996	6	<0,6	4	<0,07
	1997	6	<1,1 (<0,2-2,7)	4	<0,05
Kernkraftwerk Obrigheim	1995	8	<0,4		<0,01-<0,09
	1996	8	<0,7		
	1997	8	<1,2 (<0,5-3,4)		
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1995	8	<0,5		
	1996	8	<0,5		
	1997	8	<0,6 (0,2-1,6)		
Kernkraftwerk Philippsburg	1995	13	<1,3	2	0,9
	1996	8	<1,3	a)	a)
	1997	8	<0,7 (<0,2-2,9)	a)	a)
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt Schweiz	1995	8	3,6		
	1996	8	<2,1		
	1997	8	2,9 (0,4-7,0)		
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1995	4	<1,0		
	1996	4	2,2		
	1997	4	0,4 (0,2-0,6)		
TRIGA Heidelberg	1995	2	1,3		
	1996	2	0,5		
	1997	2	1,1 (0,9-1,2)		
<u>Bayern</u> Kernkraftwerk Kahl	1995	3	<1,9		
	1996	3	0,6		
	1997	3	<0,4 (<0,2-0,6)		
Kernkraftwerk Gundremmingen	1995	12	<1,9		
	1996	12	<2,5		
	1997	12	<1,2 (<0,4-3,0)		
Kernkraftwerk Isar	1995	12	<3,1		
	1996	12	<2,9		
	1997	12	<1,9 (<0,4-4,4)		
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1995	10	<0,5		
	1996	10	<0,4		
	1997	10	<0,4 (<0,2-0,9)		
Forschungsreaktor München	1995	2	3,1		
	1996	2	1,9		
	1997	2	<0,9 (< 0,7-1,1)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse													
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)										
KWU Erlangen	1995	4	<1,6	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sr-90</th> </tr> <tr> <th>Pu-238</th> <th>Pu-239/240</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a)</td> <td><0,1</td> </tr> <tr> <td><0,6</td> <td><0,21</td> </tr> <tr> <td><0,22 (<0,02-<0,24)</td> <td><0,04 (N=4) (<0,02-<0,07)</td> </tr> </tbody> </table>	Sr-90		Pu-238	Pu-239/240	a)	<0,1	<0,6	<0,21	<0,22 (<0,02-<0,24)	<0,04 (N=4) (<0,02-<0,07)
	Sr-90														
	Pu-238	Pu-239/240													
a)	<0,1														
<0,6	<0,21														
<0,22 (<0,02-<0,24)	<0,04 (N=4) (<0,02-<0,07)														
1996	4	<1,8	2												
1997	4	<2,0 (<0,3-5,8)	2												
KWU Karlstein	1995	2	<0,6	2	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>b) <0,1-<0,19</td> <td>b) <0,06-<0,1</td> </tr> <tr> <td>b) <0,08-<0,1</td> <td>b) <0,02-<0,1</td> </tr> <tr> <td>b) <0,04-<0,1</td> <td>b) <0,02-<0,1</td> </tr> </tbody> </table>	b) <0,1-<0,19	b) <0,06-<0,1	b) <0,08-<0,1	b) <0,02-<0,1	b) <0,04-<0,1	b) <0,02-<0,1				
	b) <0,1-<0,19	b) <0,06-<0,1													
	b) <0,08-<0,1	b) <0,02-<0,1													
b) <0,04-<0,1	b) <0,02-<0,1														
1996	2	2,4	2												
1997	2	<0,4 (<0,3-0,5)	2												
SBWK Karlstein	1995	2	84,0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sr-90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sr-90									
	Sr-90														
1996	2	81,0													
1997	2	150,0 (140-160)													
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1995	8	3,7												
	1996	8	2,7												
	1997	5	2,5 (0,9-6,2)												
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1995	8	<3,0												
	1996	8	2,2												
	1997	8	3,4 (0,7-8,4)												
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1995	7	<0,2	7	0,5										
	1996	4	<0,6	a)	a)										
	1997	10	<0,4 (<0,2-1,2)	a)	a)										
Nuklearbetriebe Hanau	1995	4	<90	4	1620	< 0,1 (N=1)									
	1996	4	80	1	380	< 0,1 (N=1)									
	1997	4	150 (60-350)	4	2350 (1200-4200)	<0,1 (N=1)									
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1995	20	<2,0			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sr-90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sr-90								
	Sr-90														
1996	19	<2,1													
1997	21	<2,9 (< 0,1-24,0)													
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1995	12	<1,8	a)	a)										
	1996	12	<0,9	a)	a)										
	1997	24	<1,1 (0,3-3,8)	a)	a)										
Kernkraftwerk Unterweser	1995	8	4,0	a)	a)										
	1996	10	<2,1	a)	a)										
	1997	16	<1,4 (<0,3-11,0)	a)	a)										
Kernkraftwerk Grohnde	1995	10	<0,4	a)	a)										
	1996	10	<0,7												
	1997	10	<0,5 (<0,3-0,8)												
Kernkraftwerk Emsland	1995	10	1,9												
	1996	10	<1,5												
	1997	10	<1,8 (<0,8-4,5)												
Zwischenlager Gorleben	1995	18	115,1	a)	a)										
	1996	18	29,8	a)	a)										
	1997	17	51,4 (4,2-150,0)	13	6,0 (1,4-12,0)										
FMRB Braunschweig	1995	a)	a)												
	1996	4	3,5												
	1997	6	4,3 (1,1-17,0)												

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse				
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	
Schacht Konrad II	1995	24	Cs-137 <2,3	24	Sr-90 a)	Gesamt-α-Aktivität 9,6
	1996	24	<1,0	24	a)	
	1997	12	<2,0 (0,4-15,0)	4	1,1 (0,6-1,9)	a)
Sr-90						
<u>Nordrhein-Westfalen</u>						
KFA Jülich	1995	9	<1,0			
	1996	10	<1,3			
	1997	10	<0,5 (<0,1-1,9)			
Kernkraftwerk Würgassen	1995	12	<1,5			
	1996	12	<1,2			
	1997	12	<0,5 (<0,1-1,3)			
Kernkraftwerk Uentrop	1995	4	<8,3			
	1996	8	<2,4			
	1997	8	<2,6 (<0,2-11,0)			
Zwischenlager Ahaus	1995	10	<5,5	10		3,5
	1996	10	< 7,9	10		3,1
	1997	13	<6,0 (<0,2-60,0)	13		<3,5 (<0,1-10,6)
			Uran Bq/kg Trockenmasse		Uran μg/kg TM	Fluor mg/kg TM
UAG Gronau	1995	12	1,55	12		3,2
	1996	12	< 0,90	12		3,5
	1997	7	< 0,3 (<0,3-<0,3) U-238	12	<0,23 (<0,23-0,23)	1,1 (<0,5-2,7)
Cs-137						
<u>Rheinland-Pfalz</u>						
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1995	8	<0,8			
	1996	8	<0,9			
	1997	8	<0,5 (<0,2-0,9)			
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1995	a)	a)	a)		a)
	1996	a)	a)	a)		a)
	1997	a)	a)	a)		a)
<u>Sachsen-Anhalt</u>						
Endlager Morsleben	1995	12	<0,6	4		Gesamt-β-Aktivität 940
	1996	12	<3,3	a)		a)
	1997	2	<1,8 (<0,4-3,1)	2		b) (980-1200)
Sr-90						
<u>Sachsen</u>						
Rosendorf	1995	16	<3,6			
	1996	16	<3,6			
	1997	16	<3,4 (<0,9-19,0)			
<u>Schleswig-Holstein</u>						
GKSS	1995	8	2,7			
Geesthacht	1996	9	3,9			
	1997	8	1,3 (0,4-3,0)			
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1995	8	1,5	4		1,9
	1996	12	<1,2	a)		a)
	1997	8	<0,5 (<0,3-1,4)	a)		a)
Kernkraftwerk Krümmel	1995	8	0,7	6		3,5
	1996	13	<0,6	11		2,0
	1997	8	1,7 (0,4-4,4)	6		4,1 (2,5-6,2)
Kernkraftwerk Brokdorf	1995	14	0,7	a)		a)
	1996	16	<0,8	2		b) (1,3-1,3)
	1997	14	<0,9 (<0,2-1,6)	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	Mittelwert (Bereich)
		Sr-90		Cs-137		I-131	
<u>Baden-Württemberg</u>							
FZ Karlsruhe	1996	4	0,05	4	<0,08	2	<0,011-<0,011
	1997	4	0,06 (0,04-0,08)	4	<0,32 (0,05-1,10)	a)	a)
Kernkraftwerk Obrigheim	1996	4	0,04	4	<0,06	10	<0,008-<0,020
	1997	4	0,04 (0,02-0,06)	4	<0,09 (<0,06-<0,13)	10	<0,008-<0,014
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1996	4	0,03	4	<0,07	10	<0,008-<0,010
	1997	4	0,03 (0,02-0,05)	4	<0,13 (<0,10-<0,15)	9	<0,008-<0,015
Kernkraftwerk Philippsburg	1996	4	0,03	6	<0,04	12	<0,008-<0,01
	1997	4	0,03 (0,03-0,04)	5	<0,07 (<0,02-<0,12)	12	<0,007-<0,037
Kernkraftwerk Beznau/Leibstadt,Schw eiz	1996	5	0,06	5	< 0,05	13	<0,009-<0,010
	1997	5	0,05 (0,03-0,09)	5	<0,11 (0,07-<0,15)	9	<0,006-<0,011
Kernkraftwerk Fessenheim, Frankreich	1996	4	0,03	6	<0,06	10	<0,011-<0,018
	1997	4	0,03 (0,02-0,04)	4	<0,11 (<0,10-<0,13)	9	<0,007-<0,018
<u>Bayern</u>							
Kernkraftwerk Gundremmingen	1996	6	0,05	6	<0,14	18	<0,010-<0,040
	1997	7	0,04 (0,13- 0,05)	7	<0,21 (<0,20-<0,24)	16	<0,010-<0,010
Kernkraftwerk Isar	1996	4	0,06	4	<0,33	12	<0,010-<0,04
	1997	4	0,06 (0,05 -0,08)	4	<0,12 (0,03- 0,23)	12	<0,010-<0,01
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1996	6	0,02	6	<0,10	17	<0,01-<0,01
	1997	6	0,02 (0,01- 0,02)	6	<0,10 (<0,10-<0,10)	17	<0,01-< 0,01
<u>Brandenburg</u>							
Kerkraftwerk Rheinsberg	1996	4	0,03	4	<0,09	a)	a)
	1997	4	0,02 (0,01-0,04)	4	<0,09 (<0,06-<0,12)	a)	a)
<u>Hessen</u>							
Kernkraftwerk Biblis	1996	12	0,03	12	<0,05	26	<0,005-<0,01
	1997	10	0,02 (0,01-0,03)	10	<0,11 (<0,01-<0,19)	27	<0,007-<0,01
<u>Mecklenburg- Vorpommern</u>							
Kernkraftwerk Greifswald	1996	6	0,03	6	<0,28	6	< 0,06-< 0,11
	1997	6	0,03 (0,02-0,04)	6	<0,15 (<0,07-0,29)	6	<0,07-< 0,11
<u>Niedersachsen</u>							
Kernkraftwerk Stade	1996	a)	a)	4	<0,09	12	<0,007-<0,009
	1997	4	0,03 (0,03-0,04)	12	<0,14 (<0,03-0,27)	12	<0,002-<0,008
Kernkraftwerk Unterweser	1996	a)	a)	4	<0,1	12	<0,006-<0,009
	1997	4	0,03 (0,02-0,04)	12	<0,21 (<0,02- 0,83)	12	<0,002-<0,002
Kernkraftwerk Grohnde	1996	a)	a)	4	0,13	12	<0,005-<0,008
	1997	4	0,03 (0,02-0,04)	10	<0,09 (<0,02-<0,13)	12	<0,002-<0,007
Kernkraftwerk Emsland	1996	a)	a)	4	0,21	12	<0,003-<0,009
	1997	4	0,03 (0,02-0,03)	12	<0,13 (<0,03- 0,25)	12	<0,005-<0,024
Schacht Konrad II	1996	a)	a)	10	<0,04	-	-
	1997	12	0,02 (0,01-0,04)	12	<0,12 (<0,11-<0,13)	-	-
Zwischenlager Gorleben	1996	a)	a)	24	0,96	-	-
	1997	12	0,03 (0,01-0,05)	24	0,66 (0,08-3,6)	-	-
<u>Nordrhein-Westfalen</u>							
KFA Jülich	1996	4	0,13	2	<0,05	50	<0,01-<0,05
	1997	4	0,03(0,01-0,05)	4	<0,08 (<0,02-<0,16)	51	<0,004-<0,01

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Würgassen	1996	3	Sr-90 0,04(0,03- 0,05)	3	Cs-137 <0,03 (<0,02-<0,04)		I-131
	1997	a)	a)	a)	a)		
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	1996	4	<0,03 (<0,02-0,04)	4	<0,02 (<0,01-<0,03)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)		
UAG Gronau	1996	12	Uran Bq/l <0,23	12	Fluor mg/l <0,08 (<0,08-<0,08)		
	1997	12	<0,23(<0,23-<0,23)	12	<0,08 (<0,08-<0,08)		
<u>Rheinland-Pfalz</u> Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1996	6	Sr-90 0,05	6	Cs-137 <0,04	12	<0,007-<0,008
	1997	4	0,05 (0,04-0,08)	4	0,03 (0,02-0,04)	12	<0,007-<0,008
Kernkraftwerk Cattenom ,Frankreich	1996	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1996	2	0,07	2	<0,10	-	-
	1997	a)	a)	6	<0,21 (<0,01-0,45)	-	-
<u>Sachsen</u> Rossendorf	1996	2	0,04	16	<0,07	2	<0,018-<0,04
	1997	2	0,04 (0,04-0,04)	18	<0,24 (<0,03-<0,25)	2	<0,03-<0,04
<u>Schleswig-Holstein</u> GKSS Geesthacht	1996	4	0,07	4	0,14	14	<0,004-<0,006
	1997	4	0,07 (0,06-0,07)	4	0,27(0,07-0,80)	12	<0,004-<0,008
<u>Schleswig-Holstein</u> Kernkraftwerk Brunsbüttel	1996	8	0,05	16	0,10	33	<0,003-<0,01
	1997	4	0,05 (0,04-0,07)	4	0,09 (0,03-0,19)	29	<0,007-<0,01
Kernkraftwerk Krümmel	1996	10	0,05	14	0,07	30	<0,003-<0,009
	1997	8	0,05 (0,02-0,09)	8	<0,06 (0,04-0,11)	24	<0,006-<0,01
Kernkraftwerk Brokdorf	1996	8	0,04	8	<0,05	25	<0,003-<0,01
	1997	8	0,04 (0,04-0,05)	8	<0,06 (0,03-0,13)	24	<0,007-<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 Messungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Die Auswertung der insgesamt 3220 (1996: 2690) Einzelwerte von 265 (1996: 288) Entnahmestellen erfolgte gemäß den Hinweisen in Abschnitt 3.3.1 von Teil I.

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 Einleitbauwerken genommen wurden, gemessen mit Jahresmittelwerten bis 2800 Bq/l (KKW Emsland). Infolge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die Werte wieder deutlich zurück (Entnahmestelle Geeste, km 106,3: 22 Bq/l). Vereinzelt durchgeführte Bestimmungen von **Plutonium-238** und **Plutonium-239/240** in Wasserproben von oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle ließen bei Nuklidgehalten von weniger als 0,005 Bq/l ebenfalls 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 Einleitbauwerk entnommenen Sedimentproben mittlere Nuklidgehalte an **Kobalt-60** bis 8 Bq/kg TM gemessen (KKW Würgassen/Weser), die jedoch bei in geringer Entfernung vom Standort entnommenen bzw. gemessenen Proben rasch wieder zurückgingen. 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, 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 nachweisbar. Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und Pu-239/240 ergaben durchweg Gehalte unterhalb von 1 Bq/kg TM (KKW Brunsbüttel/Elbe).

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 z.B. in der Mosel mit mittleren Werten von bis zu 22 Bq/l auf (Entnahmestelle Wincheringen, km 222,2). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, kann die auf dem "Trinkwasserpfad" für Erwachsene resultierende 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 Expositionspfad mit ca. 2 µSv/a einen deutlich höheren Dosisbeitrag bei.

Mittlere Gehalte an **Kobalt-58** (0,3Bq/kg TM), Co-60 (1,4 Bq/kg TM) und **Silber-110m** (0,7 Bq/kg TM) aus dem französischen Kernkraftwerk Cattenom konnten an **Sedimentproben** aus dem deutschen Moselabschnitt (Entnahmestelle Palzem; km 230,1 - 239,9) 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 externe effektive Strahlendosis 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	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächenw. (Bq/l)	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,026	<0,027	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,028	<0,055	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,033	<0,056	nn	nn
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,026	<0,027	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,028	<0,055	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,033	<0,056	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Aare-Einmündung	2	-	14,0	16,0	15,0	9,40
		vor KKW Leibstadt	2	1	<0,71	24,0	<12,4	15,0
		nach KKW Leibstadt	2	-	13,0	16,0	14,5	12,3
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil	12	11	<8,0	9,0	<8,1	<8,2
		Neuf-Brisach/Rheinseitenkanal	11	10	<8,0	9,0	<8,1	-
	Cs-137	Weil	12	12	<0,023	<0,060	nn	nn
		Staustufe Weisweil	1	1	<0,090	<0,090	nn	nn
		Neuf-Brisach/Rheinseitenkanal	11	11	<0,027	<0,050	nn	-
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grißheim, km 206,5	2	-	1,00	1,90	1,45	nn
		Breisach, km 232	1	-	2,70	2,70	2,70	nn
	Cs-137	Grißheim, km 206,5	1	-	12,0	12,0	12,0	10,2
		Breisach, km 232	2	-	10,0	11,0	10,5	7,20
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Altrhein, vor Einleitbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Altrhein, nach Einleitbauwerk	12	-	41,0	1100	383	476
	Co-60	Altrhein, vor Einleitbauwerk	4	4	<0,011	<0,026	nn	nn
		Altrhein, nach Einleitbauwerk	4	4	<0,017	<0,035	nn	nn
	Cs-137	Altrhein, vor Einleitbauwerk	4	4	<0,011	<0,026	nn	nn
		Altrhein, nach Einleitbauwerk	4	4	<0,017	<0,035	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Altrhein, vor Einleitbauwerk	-	-	keine Werte			
		Altrhein, nach Einleitbauwerk	-	-	keine Werte			
	Cs-137	Altrhein, vor Einleitbauwerk	4	4	3,80	45,0	21,0	10,8
		Altrhein, nach Einleitbauwerk	5	5	3,90	23,0	12,6	6,68
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk	12	11	<8,0	10,0	<8,2	<8,3
		am Einleitbauwerk	12	8	<8,0	15,0	<9,3	<9,4
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	4	<0,015	<0,026	nn	nn
		am Einleitbauwerk	4	4	<0,019	<0,031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk	4	2	1,90	2,70	2,30	2,37
		am Einleitbauwerk	4	1	3,20	9,40	6,83	9,40
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	-	14,0	27,0	19,8	21,7
		am Einleitbauwerk	4	-	16,0	19,0	17,8	29,0
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	am Einleitbauwerk	3	-	7,3	130	50,1	42,8
	Cs-137	am Einleitbauwerk	3	3	<0,030	<0,030	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk	2	-	<0,70	1,10	<0,90	nn
		nach Einleitbauwerk	2	-	1,30	1,50	1,40	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	1	-	3,60	3,60	3,60	56,5
		nach Einleitbauwerk	1	-	16,0	16,0	16,0	7,10
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (z.Zt. außer Betrieb)								
Oberflächenw. (Bq/l)		vor Einleitbauwerk, km 604,5	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		nach Einleitbauwerk, km 605,9	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)		vor Einleitbauwerk, km 596,5	2	-	19,3	22,5	20,9	19,6
		nach Einleitbauwerk, km 621,4	2	-	19,0	20,9	20,0	18,5

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umweltmedium	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
NECKAR / Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk I und II	4	3	<8,0	10,0	<8,5	nn
		nach Einleitbauwerk I und II	4	-	52,0	70,0	61,0	45,3
	Cs-137	vor Einleitbauwerk I und II	4	4	<0,017	<0,035	nn	nn
		am Einleitbauwerk I und II	4	4	<0,044	<0,049	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	2	-	6,90	12,0	9,45	8,80
		nach Einleitbauwerk	2	-	3,20	4,00	3,60	9,57
NECKAR / KKW Obrigheim								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk	4	-	9,0	16,0	13,3	<12,5
		am Einleitbauwerk	4	-	22,0	74,0	38,3	29,5
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	2	0,036	0,041	0,039	nn
		am Einleitbauwerk	4	4	<0,020	<0,042	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	2	-	0,48	0,67	0,58	nn
		nach Einleitbauwerk	2	-	19,0	20,0	19,5	15,8
MAIN / KKW Grafenrheinfeld								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk, km 324,6	4	-	2,0	2,1	2,0	2,1
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	-	2,6	8,7	4,5	6,2
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 324,6	4	1	0,0009	0,0016	0,0013	0,0015
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	1	0,0003	0,0006	0,0004	0,0013
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk, km 324,0	4	4	<0,12	<0,16	nn	nn
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	4	<0,13	<0,17	nn	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 324,0	4	-	40,0	53,0	48,3	56,3
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	-	40,0	53,0	47,5	59,3
KINZIG / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächenw. (Bq/l)	G α	Ablauf Kläranlage Hanau	9	9	<0,10	<0,13	<0,12	<0,67
		Doppelbiergraben	5	1	<0,030	0,36	<0,14	0,086
	R β	Ablauf Kläranlage Hanau	9	7	<0,38	0,52	<0,44	<0,36
		Doppelbiergraben	5	3	<0,13	0,33	<0,20	<0,21
	Sr-90	Hanau	4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,0059	<0,042	nn	nn
	U-234		4	1	0,011	0,020	0,017	0,015
	U-235		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
	U-238		4	1	0,0070	0,011	0,0090	0,0080
	Pu-238		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
	Pu-239/240		4	4	<0,0050	<0,0050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	G α	vor Einleitung Doppelbiergraben	2	-	750	800	775	535
		nach Einleitung Doppelbiergraben	2	-	630	790	710	660
	R β	vor Einleitung Doppelbiergraben	2	-	350	600	475	405
		nach Einleitung Doppelbiergraben	2	-	510	730	620	570
	Cs-137	Hanau	4	1	4,32	5,18	4,63	12,5
	U-234	Doppelbiergraben	-	-	keine Werte		-	580
	U-235		-	-	keine Werte		-	0,23
	U-238		-	-	keine Werte		-	280
Pu-239/240		-	-	keine Werte		-	0,0005	
MOSEL / KKW Cattenom (Frankreich)								
Oberflächenw. (Bq/l)	Sr-90	Mosel, km 230	-	-	keine Werte	s. a. Teil I Abschnitt 3.3.1		
	Cs-137	Mosel, km 230	-	-	keine Werte			
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Mosel, km 230	-	-	keine Werte	s. a. Teil I Abschnit 3.3.1		
	Cs-137	Mosel, km 230	-	-	keine Werte			

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umweltmedium	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk	4	-	2,2	2,5	2,3	2,5
		Staustufe Faimingen, km 2546,0	4	-	3,0	5,3	4,0	4,7
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	2	0,0008	0,0009	0,0009	0,0004
		Staustufe Faimingen, km 2546,0	4	2	0,0005	0,0011	0,0008	0,0009
Sediment (Bq/kg)	Co-60	vor Einleitbauwerk	4	4	<0,14	<0,15	nn	nn
		Staustufe Faimingen, km 2548,5	4	-	2,60	8,70	6,35	3,55
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	-	160	180	168	210
		Staustufe Faimingen, km 2548,5	4	-	76,0	120	93,3	128
ISAR / KKW Isar 1 und 2								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk 1	4	-	2,2	2,8	2,4	2,5
		Staustufe Gummering, km 52,86	4	-	5,3	9,9	7,1	6,8
	Cs-137	vor Einleitbauwerk 1	4	2	0,0018	0,0044	0,0031	0,0006
		Staustufe Gummering, km 52,86	4	3	<0,0004	0,0005	<0,0004	0,0006
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk 1	4	4	<0,064	<0,18	nn	nn
		Staustufe Gummering, km 52,86	4	4	<0,094	<0,15	nn	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk 1	4	-	99,0	140	115	128
		Staustufe Gummering, km 52,86	4	-	100	130	108	118
ISAR / Forschungsreaktor München								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	2,1	2,2	2,2	2,5
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	2,0	2,2	2,2	2,6
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	0,0004	0,0007	0,0004	0,0004
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	3	<0,00007	0,0011	<0,0003	0,0012
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Isamninger Brücke, km 133,7	4	-	12,0	79,0	52,0	38,0
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	11,0	110	54,8	42,0
EMS / KKW Emsland								
Oberflächenw. (Bq/l)	H3	vor Einleitbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte		-	-
		am Einleitbauwerk	4	-	77,0	9400	2800	820
	Sr-90	nach Einleitbauwerk, km 106,30	-	-	keine Werte		-	1,8
		vor Einleitbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte		-	-
	Cs-137	nach Einleitbauwerk, km 106,3	-	-	keine Werte		-	0,0055
		vor Einleitbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte		-	0,0016
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	am Einleitbauwerk	4	4	<0,034	<0,035	nn	nn
		nach Einleitbauwerk, km 106,3	-	-	keine Werte		-	nn
WESER / KKW Würgassen								
Oberflächenw. (Bq/l)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		am Einleitbauwerk	4	3	<0,050	0,064	<0,054	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	am Einleitbauwerk, km 49,61	2	-	7,10	9,00	8,05	40,1
		Wehrden, km 60,2	2	2	<2,00	<2,00	nn	nn
	Cs-137	am Einleitbauwerk, km 49,61	2	-	33,0	40,0	36,5	39,5
		Wehrden, km 60,2	2	-	20,0	37,0	28,5	21,5
WESER / KKW Grohnde								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk, km 116,4	4	-	1,5	1,7	1,6	1,6
		nach Einleitbauwerk, km 126,5	4	-	1,5	92,0	24,2	1,8
	Sr-90	vor Einleitbauwerk, km 116,4	4	-	0,0010	0,0028	0,0018	0,0021
		nach Einleitbauwerk, km 126,5	4	-	0,0010	0,0019	0,0016	0,0024
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 116,4	4	4	<0,0001	<0,0001	nn	<0,0001
		nach Einleitbauwerk, km 126,5	4	4	<0,0001	<0,0001	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,31	<0,60	nn	nn
		Hameln, km 135	4	4	<0,43	<0,76	nn	0,61
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	-	21,0	32,0	25,8	18,8
		Hameln, km 135	4	-	25,0	100	48,8	24,0

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umweltmedium	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
WESER / KKW Unterweser								
Oberflächenw. (Bq/l)	Sr-90	vor Einleitbauwerk, km 44,0	-	-	keine Werte			
		nach Einleitbauwerk, km 60,1	-	-	keine Werte			
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 44,0	-	-	keine Werte			
		nach Einleitbauwerk, km 60,1	-	-	keine Werte			
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk, km 44,1	4	-	0,36	1,60	1,22	1,43
		nach Einleitbauwerk, km 57,7	4	-	0,89	1,40	1,15	1,03
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 44,1	4	-	5,00	14,0	11,0	13,8
		nach Einleitbauwerk, km 57,7	4	-	8,90	15,0	11,2	12,2
RUR / Forschungsanlage Jülich								
Oberflächenw. (Bq/l)	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	-	23,0	25,0	24,0	22,0
		Jülich-Süd	2	-	20,0	22,0	21,0	20,5
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächenw. (Bq/l)	G α	Einlauf Retentionsanlage	4	3	<0,060	0,11	<0,10	<0,090
		unterhalb der Straßenkreuzung	12	12	<0,060	<0,060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Retentionsanlage	2	-	190	240	215	315
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	-	37,0	49,0	43,0	44,0
	U-238	Retentionsanlage	2	-	47,0	65,0	56,0	44,0
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<35,0	<35,0	nn	nn
Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächenw. (Bq/l)	G α	Ahauser Aa	4	4	<0,060	<0,060	nn	nn
	R β		4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
	Cs-137		4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Moorbach	4	-	52,0	79,0	62,5	39,8
		Ahauser Aa	4	-	-	-	92,0	100
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächenw. (Bq/l)	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0040	<0,0060	nn	nn
		nach Einleitbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0040	<0,0070	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 578,6	2	-	0,47	0,55	0,51	7,35
		nach Einleitbauwerk, km 579,6	2	-	0,56	0,67	0,62	23,8
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächenw. (Bq/l)	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 568,9	12	12	<0,0076	<0,016	nn	nn
		nach Einleitbauwerk, km 588,3	12	12	<0,0073	<0,016	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 580	4	-	0,82	2,00	1,27	1,04
		nach Einleitbauwerk, km 583,4	4	1	0,46	0,98	0,71	0,65
ELBE / KKW Brokdorf								
Oberflächenw. (Bq/l)	Sr-90	vor Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,0073
		nach Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,0071
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,015
		nach Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,019
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	8	-	0,34	12,0	3,62	4,42
		nach Einleitbauwerk	6	1	0,78	9,10	4,56	4,01
	Pu-238	vor Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,021
		nach Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,014
	Pu-239/240	vor Einleitbauwerk	-	-	keine Werte		-	0,11
nach Einleitbauwerk		-	-	keine Werte		-	0,047	

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umweltmedium	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
ELBE / KKW Stade								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk	4	3	<10,0	10,0	<10,0	<7,8
		am Einleitbauwerk	3	2	<10,0	32,0	<17,3	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	3	<0,0067	0,0039	<0,0067	nn
		am Einleitbauwerk	4	2	0,0052	0,0056	0,0054	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk, km 654	4	4	<0,24	<0,50	nn	<0,27
		nach Einleitbauwerk, km 660	4	2	0,48	0,58	0,53	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk, km 654	4	-	5,10	11,0	7,93	6,90
		nach Einleitbauwerk, km 660	4	-	8,20	14,0	11,6	12,9
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächenw. (Bq/l)	Sr-90	Elbe, km 690	4	-	0,0063	0,0093	0,0075	0,0070
		Elbe, km 693	2	-	0,0070	0,0070	0,0070	0,0072
		Elbe, km 698	2	-	0,0060	0,0091	0,0076	0,0068
	Cs-137	Elbe, km 690	4	2	0,0041	0,0080	0,0061	0,011
		Elbe, km 693	2	1	<0,0097	0,035	<0,0010	0,011
		Elbe, km 698	2	1	<0,010	0,024	<0,017	0,021
	Pu-239/240	Elbe, km 690	1	-	0,0001	0,0001	0,0001	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	-	0,76	3,40	2,47	6,88
		nach Einleitbauwerk	4	-	1,50	2,80	2,33	2,98
	Pu-238	vor Einleitbauwerk	1	-	0,018	0,018	0,018	0,060
		nach Einleitbauwerk	1	-	0,016	0,016	0,016	0,032
	Pu-239/240	vor Einleitbauwerk	1	-	0,10	0,10	0,10	0,31
	nach Einleitbauwerk	1	-	0,10	0,10	0,10	0,16	
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächenw. (Bq/l)	Co-60	vor Einleitbauwerk	4	4	<0,0010	<0,0017	nn	nn
		nach Einleitbauwerk	4	4	<0,0009	<0,0013	nn	nn
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	-	0,0094	0,011	0,010	0,012
		nach Einleitbauwerk	4	-	0,011	0,013	0,012	0,011
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Einleitbauwerk	2	1	<0,13	0,85	<0,49	0,42
		nach Einleitbauwerk	2	-	0,21	0,62	0,42	0,51
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	2	-	17,0	28,0	22,5	26,0
		nach Einleitbauwerk	2	-	9,10	14,0	11,6	27,5
OSTSEE / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	vor Einleitbauwerk	12	9	<4,3	5,5	<4,3	<3,7
		nach Einleitbauwerk	12	6	<4,5	7,6	<4,4	<3,8
	Co-60	vor Einleitbauwerk	12	12	<0,0036	<0,0052	nn	nn
		nach Einleitbauwerk	12	12	<0,0035	<0,0053	nn	0,0077
	Cs-137	vor Einleitbauwerk	12	-	0,016	0,037	0,028	0,030
		nach Einleitbauwerk	12	-	0,025	0,049	0,036	0,039
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Einleitbauwerk	4	-	8,20	12,0	10,8	14,5
		nach Einleitbauwerk	4	-	6,40	14,0	8,30	6,70
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Salzbach vor Zufluss in die Aller	-	-	keine Werte		-	nn
	Cs-137		-	-	keine Werte		-	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Schwanefeld	1	-	6,20	6,20	6,20	10,5

Fortsetzung Tabelle 1

GEWÄSSER/ Anlage Umweltmedium	Nuklid Aktivität	Ort, Fluss-km	Anzahl		Einzelwerte 1997		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min-Wert	Max-Wert	1997	1996
ELBE / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<13,0	<13,0	nn	nn
		Kalter Bach	4	-	51,0	150	108	156
		Elbe oberhalb der Wesenitz	2	2	<12,0	<13,0	nn	<8,00
		Elbe unterhalb der Wesenitz	2	2	<12,0	<13,0	nn	nn
	Co-60 Cs-137	Kalter Bach	4	-	0,015	0,12	0,045	0,033
		Dittersbach	2	2	<0,0016	<0,0025	nn	nn
		Kalter Bach	4	1	0,0082	0,055	0,025	0,026
		Elbe oberhalb der Wesenitz	2	2	<0,0020	<0,0025	nn	nn
	Elbe unterhalb der Wesenitz	2	1	<0,0027	0,0056	<0,0042	nn	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	2	-	1,60	1,80	1,70	5,40
		Elbe unterhalb der Wesenitz	2	1	<0,052	0,34	<0,20	nn
	Cs-137	Dittersbach	2	-	6,70	10,0	8,35	4,30
		Kalter Bach	2	-	13,0	15,0	14,0	28,5
		Elbe unterhalb der Wesenitz	2	-	2,10	18,0	10,1	59,0

1.4.4 Fische und Wasserpflanzen

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen 1997 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 nur im Flussunterlauf der Ems nachgewiesen. Bei den Fischen ist 1997 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich im Mittel ein etwa 5%-iger Rückgang des **Cäsium-137** 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 Cäsium-Aktivitäten, auch Cs-134, 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 0,016 stimmt annähernd mit einem für den Tschernobyl-Fallout zu erwartenden Verhältnis überein.

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 1997
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)
(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg Feuchtmasse)							
Donau	KRB II Gundremmingen	Cs-137	3	0	0,27	0,35	0,30
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,36	0,51	0,41
	KKK Krümmel	Sr-90	8	0	0,022	0,066	0,033
		Cs-137	8	0	0,32	0,78	0,45
		Pu-239+240	4	4	<0,00034	<0,00041	<0,00041
	PKA Gorleben	Cs-137	8	0	0,31	1,0	0,43
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,33	0,49	0,44
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	2	<0,0062	0,19	0,076
		Cs-137	6	0	0,29	1,9	0,40
	KKB Brunsbüttel	Sr-90	9	5	<0,0058	0,017	0,008
		Cs-137	14	0	0,26	1,8	0,42
		Pu-239+240	1	1	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Ems	KKE Emsland	Cs-134	8	6	<0,014	0,055	0,021
		Cs-137	8	0	0,64	3,0	1,0
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-134	8	5	<0,036	0,13	0,066
		Cs-137	8	0	0,64	7,1	1,2
Jungferensee	HMI Berlin	Cs-137	1	1	<0,088	<0,088	<0,088
Harthteich	Rossendorf	Sr-90	2	0	0,039	0,039	0,039
		Cs-137	3	0	0,44	1,9	1,0

Fortsetzung Tabelle 1

Fluss	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	1	<0,31	0,65	0,49
Main	KKG Grafenrheinfeld VAK Kahl	Cs-137	4	0	0,19	0,74	0,42
		Cs-137	2	0	0,13	5,2	2,7
Neckar	GKN Neckarwestheim KWO Obrigheim	Cs-137	1	0	0,13	0,13	0,13
		Co-60	4	4	<0,1	<0,23	<0,23
Rhein	Beznau/Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,31	3,6	2,0
	Biblis	Sr-90	4	0	0,020	0,051	0,036
		Cs-137	4	0	0,12	0,16	0,15
	Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	0	0,19	2,4	0,30
	KKP Philippsburg Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	0	0,16	0,53	0,26
		Sr-90	4	0	0,012	0,037	0,020
Cs-137	4	0	0,15	0,18	0,17		
Rheinnieder- rungskanal	KZK Karlsruhe	H-3	16	12	<8	280	23
		Sr-90	3	2	<0,001	0,0028	<0,0028
		Cs-137	3	0	0,33	0,53	0,47
Rur	KFA Jülich	Cs-137	4	0	0,23	0,40	0,35
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-134	2	0	0,30	1,5	0,90
		Cs-137	3	0	12	140	31
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-134	1	0	0,20	0,20	0,20
		Cs-137	2	0	9,9	16	13
Weser	KWG Grohnde KKU Unterweser KWW Würgassen	Cs-137	6	0	0,074	0,11	0,097
		Cs-137	6	0	0,20	0,32	0,29
		Cs-137	4	0	0,096	0,20	0,11
Wasserpflanzen (Bq/kg Trockenmasse)							
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	2	2	<0,3	<0,3	<0,3
		Cs-137	1	0	4,8	4,8	4,8
Donau	KRB II Gundremmingen	Mn-54	1	0	120	120	120
		Co-58	1	0	7,2	7,2	7,2
		Co-60	2	1	<0,26	71	<36
		Cs-137	2	0	9,8	12	11
Isar	FRM Garching	I-131	4	1	<1,2	110	27
		Cs-134	4	2	<0,22	0,85	0,34
		Cs-137	4	0	4,5	53	24
	KKI 1/2 Isar	Mn-54	1	0	0,76	0,76	0,76
		Co-60	1	0	1,4	1,4	1,4
		Cs-137	1	0	4,0	4,0	4,0
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	2	0	1,0	1,3	1,2

1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz, Berlin

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischen Anlagen sind im Jahr 1997 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 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen zum Jahresbericht 1997 "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung") vorgenommen.

Grundwasser

Im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen wurden Messwerte von 227 Grundwasserentnahmestellen gemeldet.

1997 wurde in 13 Proben **Kobalt-60** mit Werten von 31 mBq/l bis 330 mBq/l (1996: 11 bis 1400 mBq/l) gemessen. Diese Werte wurden in Proben bestimmt, die aus der Grundwasserüberwachung auf dem Gelände des Forschungszentrums Rossendorf stammen. Grund für diese Verunreinigungen sind Undichtigkeiten in den - inzwischen nicht mehr benutzten - Beton-Abklingbecken des Forschungszentrums. Bei allen Messungen außerhalb des Betriebsgeländes wurden keine Verunreinigungen festgestellt.

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 49 % der Messwerte unterhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,1 mBq/l bis 290 mBq/l. Messwerte über der Nachweisgrenze liegen im Konzentrationsbereich zwischen 0,96 mBq/l und 63 mBq/l (1996: 0,96 bis 63 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <27 mBq/l (1996: < 20 mBq/l).

Die Werte für die **Strontium-90**-Aktivitätskonzentrationen (43 % der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 1,1 mBq/l und 8,5 mBq/l (1996: 0,10 bis 16 mBq/l). Der Median liegt bei 2,7 mBq/l (1996: 2,3 mBq/l).

Die **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,030 Bq/l und 7,3 Bq/l (1996: 0,016 bis 6,4 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von 0,13 Bq/l (1996: <0,20 Bq/l), wobei sämtliche Messwerte oberhalb 0,25 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 0,11 Bq/l und 3,3 Bq/l (1996: 0,10 bis 3,7 Bq/l). Auch hier stammen die höchsten Messwerte aus der Umgebungsüberwachung der Hanauer Nuklearbetriebe.

Der Median der **Tritium**-Konzentrationen betrug < 7 Bq/l (1996: < 8,9 Bq/l). Dieser Wert liegt etwas über den derzeitigen Werten des Niederschlags in der Größenordnung von etwa 1 bis 2 Bq/l. An vier Probenentnahmestellen für oberflächennahes Grundwasser auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle (Kontrollbereich) des VKTA-Rossendorf wurden außergewöhnlich hohe Tritiumkonzentrationen mit einigen hundert bis maximal 630 Bq/l festgestellt (1996: Bis 2500 Bq/l). Ursache sind Leckagen eines inzwischen nicht mehr betriebenen Beton-Abklingbeckens für kontaminierte Abwässer. Außerhalb des Forschungsstandortes entnommene Proben weisen Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5,0 Bq/l auf.

Trinkwasser

Im Jahr 1997 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 19 Trinkwasser- und 24 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für **Cäsium-137** wurde in einer von 81 Proben ein Messwert von 0,34 mBq/l (1996: 0,61 mBq/l) oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,09 mBq/l bis 89 mBq/l ermittelt. Der Median aller - Cs-137-Werte liegt bei <10 mBq/l (1996: <10 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für **Strontium-90** liegen zwischen 0,12 mBq/l und 10 mBq/l (1996: 0,11 bis 10 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 5,0 mBq/l (1996: 5,7 mBq/l).

Die Werte für die **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentrationen sind größtenteils natürlichen Ursprungs. Die gemessenen Werte über der Nachweisgrenze liegen zwischen 35 mBq/l und 70 mBq/l (1996: 39 mBq/l bis 110 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte liegt bei 60 mBq/l (1996: 50 mBq/l).

Bei den Messungen der **Rest- β** -Aktivität liegt einer der Werte über den gefundenen Nachweisgrenzen, der Median aller Rest- β -Werte liegt bei <180 mBq/l (1996: <180 mBq/l).

In 33 Proben (von 110 gemessenen Proben) wurde **Tritium** in Konzentrationen zwischen 1,9 mBq/l und 5,1 Bq/l (1996: 0,46 bis 280 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei <7,2 Bq/l (1996: <6,0 Bq/l).

Die über den derzeitigen Werten im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z.B. als Uferfiltrat) zu erklären, das durch Tritium-Emissionen aus dem Abwasser kerntechnischer Anlagen belastet ist.

Die 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 1997
(Grundwasser und Trinkwasser, Stand 1.3.1999)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		gesamt	<NWG			
Grundwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Co-60	578	565	0,031	0,33	<0,034
	Cs-137		281	0,00027	0,021	<0,027
	K-40		47	0,018	20	0,094
	Sr-90	60	34	0,0011	0,0085	0,0027
	R- β	230	139	0,11	3,3	<0,23
	G- α	312	95	0,03	7,3	0,13
	H-3	644	375	0,09	630	<7,0
Trinkwasser (Bq/l)						
alle Bundesländer	Cs-137	81	80	0,00034	0,00034	<0,01
	K-40		24	0,00016	28	0,14
	Sr-90	54	29	0,00012	0,01	<0,005
	R- β	4	3	0,26	0,26	<0,18
	G- β	9	1	0,035	0,07	0,06
	H-3	110	77	0,0019	5,1	<7,2

1.4.6 Einzellebensmittel

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BFE), Karlsruhe

Soweit vergleichbar, unterschieden sich Messwerte von Proben aus dem Bereich kerntechnischer Anlagen (Tabelle 1 und 2) kaum von Messwerten, die von Proben aus der allgemeinen Umweltüberwachung stammen. Messwerte von Referenzorten wurden der allgemeinen Umweltüberwachung (I 3.4.4.) zugeordnet. Ein Teil der Messungen von Cäsium-137 liegt unter der Nachweisgrenze.

Tabelle 1 Proben aus dem Nahbereich von kerntechnischen Anlagen im Bundesgebiet, einschließlich grenznaher Gebiete zu Frankreich (Cattenom, Fessenheim) und der Schweiz (Beznau und Leibstadt).

Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse; N = Zahl der Einzelmessungen

Produktgruppe	Produkt	Nuklid	N	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert
Fleisch	Kalbfleisch	Co-60	2	<0,062	0,072	0,067
		Cs-137	1	0,20	0,20	0,20
	Rindfleisch	Co-60	12	<0,052	0,11	0,083
		Cs-137	4	0,11	0,35	0,23
	Schweinefleisch	Co-60	10	<0,059	0,11	0,086
		Cs-137	2	0,14	0,27	0,21
Frischgemüse	Blattgemüse	Be-7	19	<0,22	6,50	1,70
		Co-60	65	<0,027	0,28	0,13
		Cs-134	30	<0,015	0,24	0,083
		Cs-137	42	<0,020	0,39	0,14
		H-3	3	1,9	16	7,0
		K-40	23	40	200	95
		Ru-106	11	<0,25	2,50	0,81
		Sr-90	45	0,035	0,84	0,26
	Fruchtgemüse	Be-7	3	<0,60	5,70	2,4
		Co-60	28	<0,050	0,54	0,13
		Cs-134	6	<0,042	0,70	0,18
		Cs-137	10	<0,038	0,73	0,13
		K-40	3	44	56	49
		Ru-106	2	<0,75	5,80	3,30
		Sr-90	14	0,030	0,33	0,095
		Sprossgemüse	Be-7	6	<0,10	3,5
	Co-60		23	<0,010	1,50	0,20
	Cs-134		8	<0,015	0,16	0,071
	Cs-137		13	<0,020	0,22	0,074
	K-40		5	27	120	75
	Ru-106		4	<0,54	1,3	1,0
	Sr-90		10	0,058	0,60	0,19
	Wurzelgemüse		Be-7	5	<0,24	0,71
		Co-60	25	<0,020	0,21	0,11
		Cs-134	11	<0,020	0,20	0,088
		Cs-137	15	0,017	0,20	0,077
		H-3	1	7,5	7,5	7,5
		K-40	7	44	120	75
		Ru-106	3	<0,48	6,6	2,6
		Sr-90	19	0,033	0,64	0,21

Fortsetzung Tabelle 1

Produktgruppe	Produkt	Nuklid	N	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert
Frischobst mit Rhab.	Beerenobst	Be-7	2	<0,53	0,86	0,70
		Co-60	9	<0,030	61	6,9
		Cs-134	9	<0,020	38	4,3
		Cs-137	9	<0,020	54	6,5
		K-40	6	34	110	71
		Ru-106	3	<0,53	380	130
		Sr-90	3	0,046	53	18
		Be-7	4	<0,066	0,74	0,42
	Kernobst	Co-60	27	<0,007	0,22	0,077
		Cs-134	11	<0,005	0,20	0,053
		Cs-137	18	<0,006	0,20	0,061
		K-40	12	11	61	35
		Sr-90	18	<0,01	0,14	0,029
		Be-7	1	<0,42	<0,42	<0,42
		Co-60	9	<0,045	0,59	0,23
		Cs-134	2	<0,034	0,047	0,041
	Rhabarber	Cs-137	3	<0,044	0,23	0,16
		K-40	1	79	79	79
		Ru-106	1	<0,47	0,47	0,47
		Sr-90	6	0,047	0,76	0,23
		Be-7	1	<0,55	<0,55	<0,55
		Co-60	7	<0,038	0,11	0,082
		Cs-134	7	<0,009	0,10	0,048
		Cs-137	8	<0,026	0,10	0,065
	Steinobst	K-40	6	50	77	61
		Sr-90	7	0,030	0,31	0,092
		Be-7	1	12	12	12
		Co-60	20	<0,040	0,33	0,19
Cs-134		4	<0,068	0,20	0,12	
Cs-137		7	0,058	0,74	0,20	
K-40		15	79	210	130	
Sr-90		9	0,11	1,70	0,49	
Hafer	Co-60	8	<0,050	0,45	0,27	
	Cs-134	1	<0,13	<0,13	<0,13	
	Cs-137	5	<0,050	1,3	0,42	
	K-40	7	87	160	130	
	Sr-90	2	0,14	0,93	0,54	
	Be-7	1	1,0	1,0	1,0	
	Co-60	15	<0,051	0,22	0,14	
	Cs-134	5	<0,060	0,20	0,13	
Mais	Cs-137	8	0,018	0,20	0,10	
	K-40	9	19	120	68	
	Sr-90	9	0,017	0,24	0,058	
	Be-7	3	4,2	7,6	5,4	
	Co-60	12	<0,051	0,40	0,19	
	Cs-134	5	<0,034	0,11	0,078	
	Cs-137	7	<0,038	0,42	0,15	
	K-40	10	100	130	120	
Roggen	Sr-90	3	0,090	0,21	0,17	
	K-40	1	100	100	100	
	Sr-90	1	0,19	0,19	0,19	
	Be-7	1	12	12	12	
	Co-60	20	<0,040	0,33	0,19	
	Cs-134	4	<0,068	0,20	0,12	
	Cs-137	7	0,058	0,74	0,20	
	K-40	15	79	210	130	
Triticale	Sr-90	9	0,11	1,70	0,49	
	Co-60	8	<0,050	0,45	0,27	
	Cs-134	1	<0,13	<0,13	<0,13	
	Cs-137	5	<0,050	1,3	0,42	
	K-40	7	87	160	130	
	Sr-90	2	0,14	0,93	0,54	
	Be-7	1	1,0	1,0	1,0	
	Co-60	15	<0,051	0,22	0,14	

Fortsetzung Tabelle 1

Produktgruppe	Produkt	Nuklid	N	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert
Getreide	Weizen	Be-7	9	1,3	35	5,7
		Co-60	46	<0,040	56	1,40
		Cs-134	21	<0,030	0,2	0,097
		Cs-137	34	<0,030	59	3,10
		H-3	3	0,19	0,34	0,27
		K-40	27	82	1400	170
		Ru-106	5	<0,53	4709	4
		Sr-90	36	0,050	480	27
Getränke	Fruchtsäfte	Co-60	1	<0,10	<0,10	<0,10
		Cs-134	1	<0,10	<0,10	<0,10
		Cs-137	1	<0,10	<0,10	<0,10
		Sr-90	1	0,01	0,01	0,01
	Weine	Co-60	17	<0,024	0,09	0,056
		H-3	17	<8,0	8,0	8,0
		Sr-90	11	0,008	0,03	0,018
Kartoffeln	Kartoffeln	Be-7	3	<0,3	0,88	0,53
		Co-60	27	<0,020	1,7	0,18
		Cs-134	13	<0,010	0,2	0,063
		Cs-137	19	0,028	0,21	0,091
		H-3	2	2,3	2,5	2,4
		K-40	10	89	150	120
		Ru-106	1	<0,95	<0,95	<0,95
		Sr-90	25	0,015	0,15	0,049
Pilze	sonstige Wildpilze	Co-60	3	<0,14	0,19	0,17
		Cs-134	2	<0,14	0,8	0,47
		Cs-137	3	19	83	49
		K-40	1	57	57	57
	Wildröhrenpilze	Co-60	2	<0,062	0,2	0,13
		Cs-134	2	0,81	1,2	1,0
		Cs-137	2	82	110	96
		K-40	1	50	50	50
sonst. Nahrungsmittel	Gewürze, Blätter, Kräuter	Be-7	3	24	73	440
		Co-60	4	<0,2	0,68	0,43
		Cs-134	4	<0,2	0,77	0,47
		Cs-137	4	<0,4	0,8	0,59
		Ru-106	3	0,64	4,8	3,2
	Ölsamen	Sr-90	1	1,6	1,6	1,60
		Co-60	8	<0,21	0,6	0,37
		Cs-137	1	5,4	5,4	5,40
		K-40	6	100	550	270

Tabelle 2 Gesamt- α , Thorium, Uran und Plutonium in Einzellebensmitteln aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen
Messwerte in Bq/kg Feuchtmasse, N = Zahl der Einzelmessungen

Produktgruppe	Produkt	Radio-nuklid	N	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH						
Frischgemüse	Blattgemüse	Np-239	1	<0,26	<0,26	<0,26
Getreide	Weizen	Np-239	1	22	22	22
Gronau, Urananreicherungsanlage (UAG)						
Frischgemüse	Blattgemüse	U-238	5	<0,20	0,95	0,39
	Fruchtgemüse	U-238	1	<0,28	<0,28	<0,28
Frischobst mit Rhab.	Beerenobst	U-238	2	<0,21	0,21	0,21
	Rhabarber	U-238	7	<0,28	0,28	0,28
Getreide	Gerste	U-238	4	<0,027	0,027	0,027
	Mais	U-238	2	<0,038	0,038	0,038
	Triticale	U-238	1	<0,028	<0,028	<0,028
sonst. Nahrungsmittel	Gewürze, Samen	U-238	2	<0,20	0,20	0,20
Siemens AG, Sonderfertigung Karlstein						
Fleisch	Haarwild	Ges.- α	1	0,22	0,22	0,22
Getreide	Mais	Ges.- α	1	0,10	0,10	0,10
	Roggen	Ges.- α	1	0,71	0,71	0,71
sonst. Nahrungsmittel	Honig	Ges.- α	1	0,040	0,040	0,040
Endlager Morsleben						
Frischgemüse	Fruchtgemüse	Pb-210	1	<3,1	<3,1	<3,1
Frischobst mit Rhab.	Kernobst	Pb-210	2	37	56	47
	Steinobst	Pb-210	1	62	62	62
Getreide	Gerste	Pb-210	1	<4,6	<4,6	<4,6
	Roggen	Pb-210	1	63	63	63
	Weizen	Pb-210	2	37	39	38

1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen

Die für das Jahr 1997 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 1997 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		
	der effektiven Dosis		der Schilddrüsendosis
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Kahl	<0,1	<0,1	<0,1
Rheinsberg a)	<0,1	<0,1	<0,1
Lingen	<0,1	<0,1	<0,1
Obrigheim	2	3	3
Stade	0,2	0,3	0,4
Würgassen	0,2	0,2	0,2
Greifswald a)	<0,1	<0,1	<0,1
Biblis A, B	0,5	0,8	1
Neckar 1, 2	0,4	0,7	0,7
Brunsbüttel	0,7	1	1
Isar 1,2	2	4	4
Unterweser	0,1	0,2	0,2
Philippsburg 1, 2	4	7	7
Grafenrheinfeld	0,4	0,6	0,6
Krümmling	2	3	3
Gundremmingen A, B, C	1	2	2
Grohnde	<0,1	<0,1	<0,1
Hamm-Uentrop	<0,1	<0,1	<0,1
Mülheim-Kärlich	<0,1	<0,1	<0,1
Brokdorf	0,3	0,5	0,5
Emsland	0,3	0,4	0,4

a) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da 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 1997 in der Umgebung von **Kernkraftwerken** durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder über sämtliche relevanten Expositionspfade: γ -Strahlung aus der Abluftfahne (γ -Submersion), γ -Strahlung am Boden abgelagerter radioaktiver Stoffe, Inhalation und Ingestion. Tabelle 1 zeigt als größten

Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 4 μSv (rund 1 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 7 μSv (rund 2 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7 μSv (rund 1 % des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

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

Tabelle 2 Strahlenexposition im Jahr 1997 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	0,3	0,2
Obrigheim	0,2	0,2
Stade	< 0,1	< 0,1
Würgassen	0,1	0,1
Biblis A und B	0,1	0,1
Neckar 1 und 2	0,5	0,6
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	0,1	0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	< 0,1
Emsland	0,6	0,6
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.

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 2 μSv für Erwachsene und Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personengruppen 0,4 bzw. 0,5 μSv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,2 μSv und an der Donau bei 0,4 μSv . Zu diesen Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen aus früheren Jahren bedingt ist.

Die in Tabelle 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 1997 als höchsten Wert 1,5 μSv (0,5 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 2,4 μSv (0,8 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 7,0 μSv (rund 1 % des Grenzwertes) ebenfalls beim For-

schungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich aus den jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte für die effektive Dosis im Jahr 1997 von 12, 33 bzw. 3 µSv.

Tabelle 3 Strahlenexposition im Jahr 1997 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)	0,6	0,7	1,2
Forschungszentrum Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	1,5	2,4	7,0
Forschungszentrum Rossendorf (FZR)	0,2	0,2	0,2
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,2	0,2	0,2
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,2	0,1	0,1

*) Entnommen den Jahresberichten 1997 sowie nach Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, 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 0,8 µSv (rund 0,1 % des Grenzwertes).

Tabelle 4 Strahlenexposition im Jahr 1997 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	0,8
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	<0,1	<0,1	<0,1
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

Die durch die Ableitungen von 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 1997 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 HOBEG)	< 0,1
SIEMENS AG	
Brennelementewerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsteil Uran-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsteil 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 1997 0,4 µSv, für Kleinkinder 0,6 µSv; dies sind ca. 0,1 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Lungendosis errechnete sich zu 1,85 µSv für Erwachsene und 3,5 µSv für Kleinkinder (ca. 0,2 bzw. ca. 0,4 % des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 1997 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 6 Strahlenexposition im Jahr 1997 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	0,4	1,8	<0,1
Kleinkinder	0,6	3,5	<0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Abschnitt II 1.1, Tabelle 4) führte 1997 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 7 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 1997 Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

1.5.2 Bewertung

Die für 1997 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 Organosen 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 1997 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

2 Radioaktive Stoffe aus Uran-Bergbauanlagen

2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben

Im Jahr 1997 wurden in den vier Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH Königstein, Aue/Pöhla, Ronneburg und Seelingstädt die Arbeiten fortgesetzt. Auch 1997 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 ist das Radon von besonderer Bedeutung, bei den Schacht- und Abwässern dagegen Uran und Radium. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenden jährlichen Abgabemengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

In Tabelle 1 wurden die aus den Betrieben im Jahr 1997 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei den Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und der Abluft ergaben sich 1997 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 1997 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)

Sanierungsbetrieb	Anzahl der Abwetterschächte und Wetterbohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a	Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Rn-222 in TBq/a		langlebige α-Strahler in MBq/a	
Schlema/Alberoda	2	3,881 (6)	693 (1180)	9,1 (32,5)		
Pöhla	2	0,824 (-)	0,4 (1,6)	0,82 (2,1)		
Dresden-Gittersee	1	0,85 (-)	0,11 (1,6)	0,1 (1,6)		
Königstein	8	16,697 (-)	252 (315)	18,3 (88,5)		
Ronneburg	5	6,915 (5,1)	58,1 (76)	15,1 (16)		
Seelingstädt	7	0,264 (0,44)	0,03 (0,06)	0,69 (2,4)		

In Tabelle 2 wurden die im Jahr 1997 insgesamt in die Flusssysteme abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern wurden die Jahresgenehmigungswerte eingehalten. Im Vergleich mit dem Vorjahr haben sich die Ableitungen mit Abwasser im Sanierungsbetrieb Aue infolge der Ableitung von Grubenwässern der Grube Schlema-Alberoda geringfügig erhöht. Die Ableitung dieser Wässer war erforderlich zur Verzögerung des Flutungswasseranstieges und damit zur Durchführung untertägiger Sanierungsarbeiten.

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer 1997 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)

Sanierungsbetrieb	Abwassermenge in $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$	Gesamte Ableitung radioaktiver Stoffe	
		Uran in t/a	Ra-226 in GBq/a
Einleitung in Zwickauer Mulde,	7,843 (-)	11,8195 (19,846)	4,9475 (15,03)
davon: Schlema/Alberoda	5,957 (-)	11,636 (18,811)	4,908 (14,448)
Crossen	1,73 (-)	0,176 (0,86)	0,0352 (0,346)
Pöhla	0,156 (-)	0,0075 (0,175)	0,0043 (0,236)
Einleitung in Elbe			
Königstein	4,193 (-)	1,586 (3,2)	4,016 (11)
Einleitung in Pleiße			
Ronneburg	3,005 (3,524)	0,406 (1,123)	0,335 (0,6002)
Einleitung in Weiße Elster,	10,217 (13,37)	2,523 (5,61)	0,839 (3,067)
davon: Ronneburg	6,914 (8,00)	2,182 (4,00)	0,770 (2,000)
Seelingstädt	3,303 (5,37)	0,341 (1,61)	0,069 (1,067)

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

Im Jahr 1997 wurden der Wismut GmbH insgesamt 524 Genehmigungen zur Realisierung von Sanierungsarbeiten erteilt und es wurden 520 neue Genehmigungsanträge bei den zuständigen Behörden der Freistaaten Sachsen und Thüringen eingereicht. Schwerpunkt der Sanierung sind nach wie vor die untertägigen Arbeiten in Zusammenhang mit der Flutung der Grubengebäude. Weitere Schwerpunkte waren die Schaffung von Voraussetzungen zur In-situ-Verwahrung der IAA Helmsdorf durch Absenkung des Freiwasserspiegels, die Fortführung der Verfüllung des Tagebaurestloches Lichtenberg durch Abtrag der Absetzerhalde sowie Abriss- und Demontearbeiten auf Betriebsflächen. Zusätzlich zu einem Basismonitoring wurden auf die jeweiligen Vorhaben ausgerichtete sanierungsbegleitende Überwachungsmaßnahmen in den entsprechenden Umweltmedien durchgeführt. Insgesamt wurden als Ergebnisse dieser Überwachungsmaßnahmen mehr als 900 000 Einzelwerte erfasst und in einer Datenbank gespeichert.

Im Rahmen der Immissionsüberwachung wurden vor allem 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 (Mittelwerte der Einzelmessungen) 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 1997 (Messwerte der Landesmessstellen)

Betrieb	Probenahmestelle	Uran (nat.) mg/l	Radium-226(ges.)* mBq/l
Sächsische Bergbaubetriebe			
Königstein	Elbe Schmilka	0,001	6
	Elbe Dresden	0,003	9
	Elbe Rathen	0,004	14
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,015	20
	Kaitzbach nach Einleitung	0,025	25
Aue	Mulde in Aue	0,002	18
	Mulde bei Hartenstein	0,09	28
Pöhla	Luchsbach vor Schachanlage	<0,001	8
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,035	20
Crossen	Mulde Wehr Mühlgraben	0,04	21
	Mulde Brücke Schlunzig	0,04	22
	Helmsdorfer Bach	0,14	25
	Zinnborn	0,78	125
Thüringer Bergbaugebiete			
Seelingstädt	Culmitzschbach	0,677	5
	Weißer Elster am Pumpwerk Berga	0,004	7
	Weißer Elster unterhalb Berga	0,009	10
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,381	20
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,014	10
Ronneburg	Wipsemündung	0,248	106
	Weißer Elster Milbitz	0,023	15
	Sprotte Burkersdorf	0,068	24

* Ra-226 (gesamt): Summe der Konzentration in abfiltrierbaren Stoffen und im gelösten Wasser

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.

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. Die aus den bergbaulichen Außenanlagen (vor allem Industrielle Absetzanlagen und Halden) freigesetzte Radonmenge kann aus der bekannten Ra-226-Konzentration der Materialien berechnet werden. 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. Die tatsächlich aus diesen Anlagen freigesetzte Radonmenge ist aber geringer, da bei den Berechnungen neben der unter konservativen Annahmen abgeleiteten normierten Freisetzungsrates auch die wiederum konservative Annahme zugrunde gelegt wurde, dass diese Freisetzungsrates für die Gesamtfläche aller Halden und Industriellen Absetzanlagen, d. h. auch für die mit Wasser bedeckten Flächen der Industriellen Absetzanlagen sowie für die mit nicht kontaminierten Materialien abgedeckten Flächen von Halden gilt. Außerdem ist 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 1997 fortgeführt. In Umsetzung behördlicher Anordnungen wurden im Jahr 1997 die vorhandenen Messstellen nach ihrer Lage zu potentiellen Emittenten in "bergbaulich beeinflusste Messstellen" und "bergbaulich nicht beeinflusste Messstellen" klassifiziert. In Tabelle 4.1 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die auffällig hohen Werte der Rn-222-Konzentration sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich einige Messpunkte in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten, Halden) oder auf Betriebsflächen befinden.

Tabelle 4 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Bq/m³ - bergbaulich beeinflusste Messstellen (Winter 1996/97 und Sommer 1997; Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messstellen	≤ 30 Bq/m ³	31 - 80 Bq/m ³	> 80 Bq/m ³
Winter 1996/97				
Schlema/Alberoda	56	2	33	21
Pöhl	23	19	4	0
Seelingstädt	30	25	5	0
Crossen	42	18	22	2
Königstein	17	16	1	0
Gittersee	28	12	16	0
Ronneburg	59	54	15	0
Sommer 1997				
Schlema/Alberoda	57	0	33	24
Pöhl	26	19	6	1
Seelingstädt	34	27	7	0
Crossen	42	20	19	3
Königstein	15	6	8	1
Gittersee	26	22	4	0
Ronneburg	72	59	11	2

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 (Winter 1996/97 und Sommer 1997; Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Messpunkte	Minimum	Maximum	Median
Winter 1996/97				
Schlema/Alberoda	53	19	54	33
Pöhl	31	16	33	23
Seelingstädt	34	12	25	19
Crossen	54	16	37	24
Königstein	31	12	33	19
Gittersee	21	22	51	33
Ronneburg	40	13	19	29
Sommer 1997				
Schlema/Alberoda	47	21	53	34
Pöhl	31	13	30	22
Seelingstädt	34	11	28	19
Crossen	50	10	35	17
Königstein	32	21	38	28
Gittersee	19	14	36	25
Ronneburg	39	11	34	20

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 1996/97; Messergebnisse des Bundesamtes für Strahlenschutz)

Gebiet	Anzahl Messpunkte	Minimum	Maximum	Median
Annaberg-Buchholz	68	< 5	57	10
Aue/Schlema	56	7	250	22
Crossen	70	< 5	46	13
Dittrichshütte	24	< 5	44	10
Freiberg	71	< 5	23	8
Freital	62	< 5	31	14
Gottesberg	13	< 5	55	28
Johanngeorgenstadt	110	< 5	430	16
Königstein	28	< 5	24	9
Lengenfeld	60	< 5	100	16
Mansfeld	51	< 5	22	10
Marienberg	76	< 5	37	9
Ronneburg	84	6	48	14
Seelingstädt	45	6	49	14
Zobes-Mechelgrün	12	6	22	10
Zwickau	11	9	30	18

Um den natürlichen Radonkonzentrationspegel in den Bergbaugebieten zu ermitteln und auf diese Weise den Einfluss der Radonfreisetzungen aus den bergbaulichen Anlagen auf die Strahlenexpositionssituation in den Bergbaugebieten besser abschätzen zu können, wurde in Gebieten, in denen der Einfluss des Bergbaus auf den Radongehalt in der bodennahen Luft ausgeschlossen werden kann und in denen oberflächennah sehr ähnliche geologische Formationen vorkommen, eine Bestimmung der natürlichen Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führen zu dem Schluss, dass die natürlichen Konzentrationen in derartigen Gebieten im Jahresmittel bis zu 80 Bq/m^3 reichen können.

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Aktivitätswerten von 10 bis 15 Bq/m^3 liegen, die aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an industriellen Absetzanlagen auf. Durch Messungen wurde bestätigt, dass die Radonkonzentration in der bodennahen Luft mit zunehmender Entfernung von bergbaulichen Anlagen, aus denen Radon freigesetzt wird, rasch abnimmt. Über dem regionalen natürlichen Niveau liegende Radonkonzentrationen treten nur in einem eng begrenzten Gebiet um die bergbaulichen Anlagen auf.

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), die auch bei der Berechnung der Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen verwendet werden, lässt sich die aus der Ableitung resultierende Konzentration radioaktiver Stoffe in den Vorflutern berechnen. Sie liegt im Jahr 1997 bei Uran zwischen 0,01 und $0,7 \text{ Bq/l}$ und bei Ra-226 zwischen 0,001 und $0,01 \text{ Bq/l}$. Bei Zugrundelegung von MNQ-Werten (mittlerer Niedrigwasserabfluss) würden sich für natürliches Uran Werte zwischen 0,02 und $3,2 \text{ Bq/l}$ und für Ra-226 zwischen 0,001 und $0,06 \text{ Bq/l}$ ergeben.

Aus den so berechneten Werten lässt sich die Strahlenexposition für die Bevölkerung bei Annahme einer Wassernutzung abschätzen. Unter der Annahme, dass die durch die radioaktiven Ableitungen betroffenen Hauptvorfluter Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße direkt zur Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden, wurden die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe resultierenden individuellen effektiven Dosen berechnet. Sie betragen für einjährige Kinder mit einem mittleren jährlichen Trinkwasserkonsum von 250 l 0,001 bis 0,002 mSv (Nutzung der Elbe), 0,05 bis 0,26 mSv (Nutzung der Zwickauer Mulde), 0,01 bis 0,04 mSv (Nutzung der Weißen Elster) und 0,02 bis 0,05 mSv (Nutzung der Pleiße). Die Spannweite der so berechneten effektiven Dosen ergibt sich aus der Zugrundelegung mittlerer und niedriger Abflussmengen des Vorfluters.

Da aber aus diesen Gewässern keine Direktentnahme von Wasser zur Trinkwassergewinnung sondern in Einzelfällen nur eine Uferfiltratentnahme erfolgt, liegen die tatsächlichen aus den Ableitungen resultierenden Expositionswerte weit unterhalb der oben berechneten Werte.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, und vom Fachbereich 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-, β -Strahlen) 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. Der Gesamtzahl entspricht einer deutlich geringeren Anzahl von realen Personen, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind.

Tabelle 1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 1997, Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich *)

Bundesland	Überwachte		Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Brandenburg	4876	4022	391	302
Berlin	17358	13367	1202	933
Baden-Württemberg	51297	31245	3787	3031
Bayern	56749	40692	4643	3977
Bremen	32287	2639	296	236
Hessen	29438	18529	1996	1544
Hamburg	13245	7068	910	631
Mecklenburg-Vorpommern	5237	3634	310	257
Niedersachsen	31646	21980	2572	2151
Nordrhein-Westfalen	71704	56452	6292	5364
Rheinland-Pfalz	14778	11770	1098	951
Schleswig-Holstein	12517	8817	1160	963
Saarland	5019	4505	466	397
Sachsen	10462	8128	816	590
Sachsen-Anhalt	6654	5413	457	326
Thüringen	5128	4440	378	306
Summe 1997	339395	242701	26774	21959
Anteil Medizin		71,5%		82,0%
Summe 1996	335659	237999	27060	22193
Anteil Medizin		70,9%		82,0%
Änderung	1,1%	1,9%	-1,1%	-1,1%

*) Stand: 31.12.1997

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 Überwachtenzahl - bei 0,1 Promille.

Tabelle 2 Anzahl von Personendosisfeststellungen mit Messwerten oberhalb von Grenzwerten nach § 49 StrlSchV und § 31 RöV im Jahr 1997

Bundesland	Personendosis >25 mSv / Vierteljahr			Personendosis >50 mSv/ Jahr		
	Arbeitsbereich			Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin
Baden-Württemberg	1	1	0	1	1	0
Bayern	4	1	3	3	1	2
Berlin	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	0	0	0	0	0	0
Bremen	0	0	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	0	0	0
Hessen	3	0	3	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	6	6	0	1	1	0
Nordrhein-Westfalen	12	8	4	2	2	0
Rheinland-Pfalz	0	0	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	0	0	0	0	0	0
Summe 1997	26	16	10	7	5	2
Bezogen auf Überwachtenzahl 1997 (in Promille)	0,08	0,07	0,10	0,02	0,02	0,02
Summe 1996	44	28	16	7	4	3
Bezogen auf Überwachtenzahl 1996 (in Promille)	0,13	0,12	0,16	0,02	0,02	0,03

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 der Tabelle 2 berücksichtigt.

Die Zusammenstellung über die Fälle erhöhter Personendosis (Tabelle 2) gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Jahressumme der den Einsendern der Dosimeter mitgeteilten monatlichen Personendosiswerte einer Person. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In 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 15 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen verteilte.

Tabelle 3 Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 1997

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	242701	896	104	64	45	23	10	1,7	0,4
Nichtmedizin	96694	752	248	193	163	117	79	34	13
Gesamt	339395	855	145	100	78	50	30	11	3,9
		Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		>15 mSv	>20 mSv	>25 mSv	>30 mSv	>35 mSv	>40 mSv	>45 mSv	>50 mSv
Medizin		0,2	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
Nichtmedizin		4,9	2,09	0,93	0,37	0,06	0,02	0,02	0,02
Gesamt		1,5	0,65	0,30	0,14	0,04	0,03	0,02	0,02

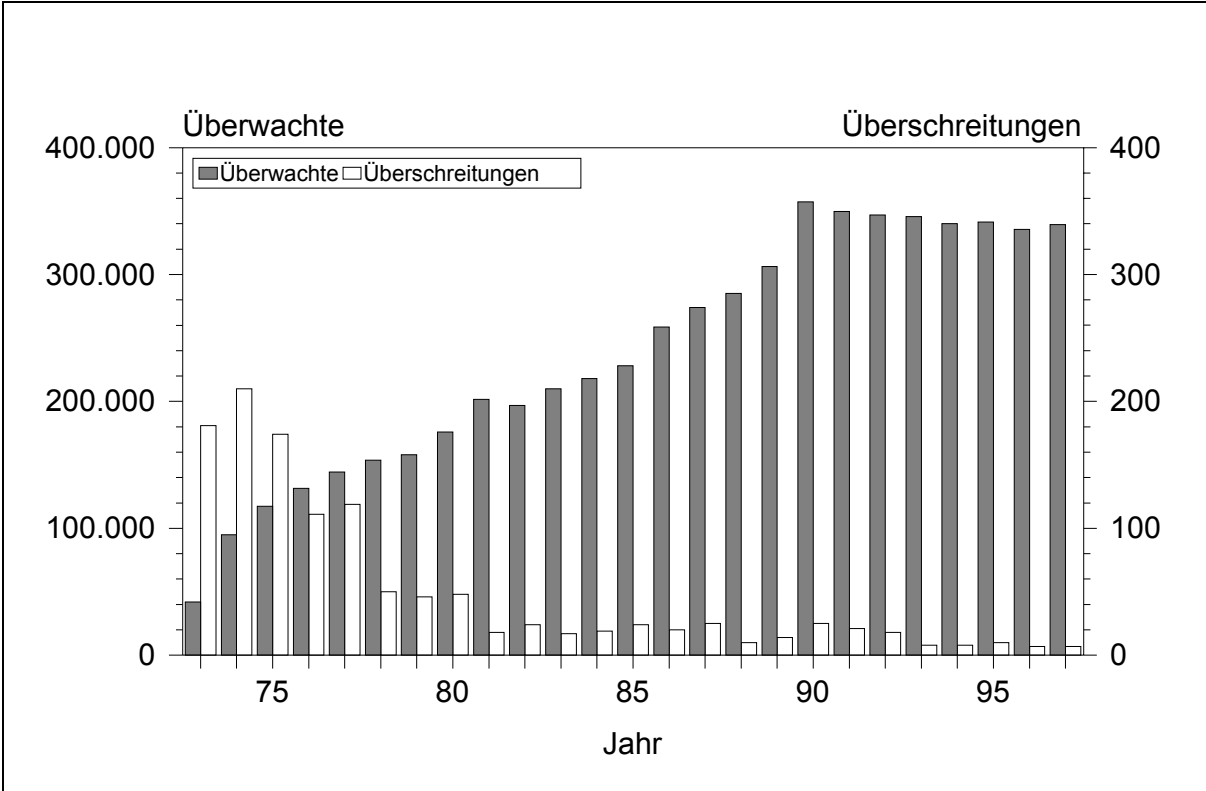
Die Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte werden zur Berechnung zweier Kenngrößen der beruflichen Strahlenexposition herangezogen. Tabelle 4 enthält Angaben über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen für die letzten Jahre. Die mittlere Jahrespersonendosis betrug 1997 0,24 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 1997 höchstens 82,6 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 1997 auf weniger als 0,01 Millisievert.

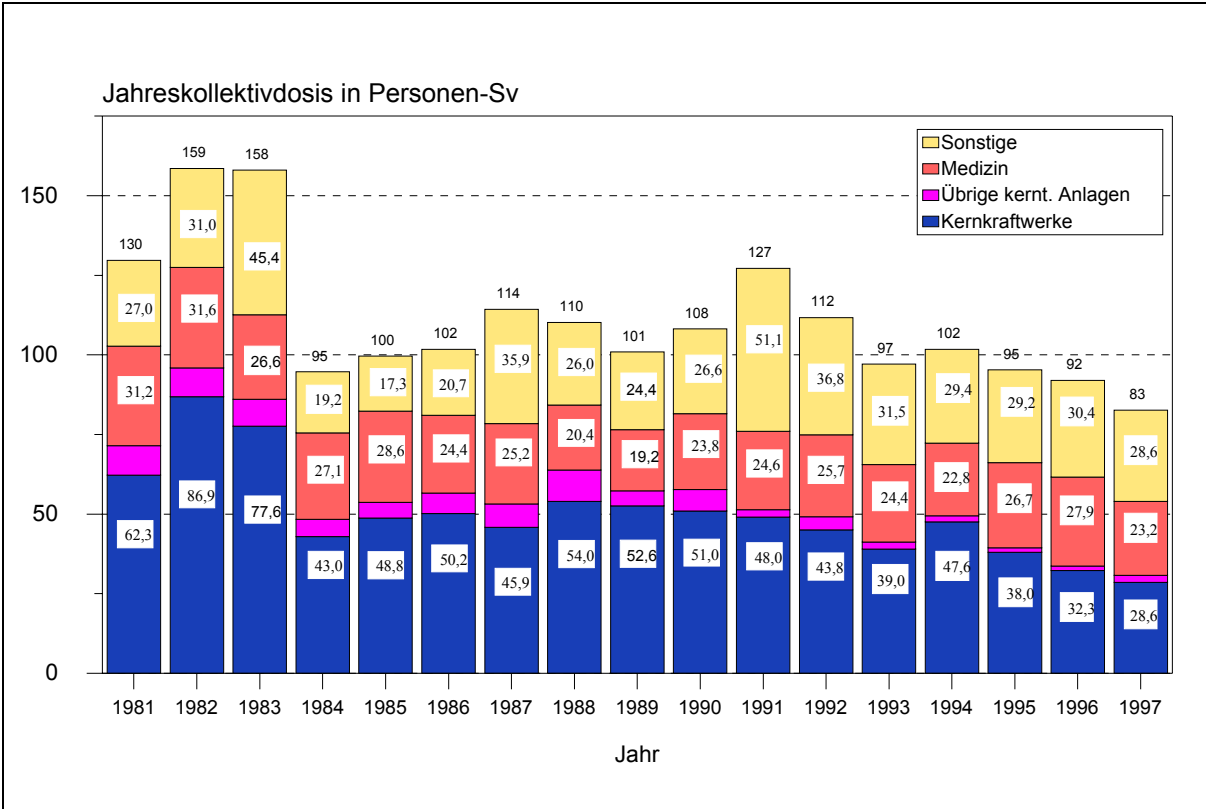
Tabelle 4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen (Stand 1.3.1999)

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

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), Stand 1.3.1999	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 die Tabellen 5 bis 7 eine Übersicht über das dort tätige Eigen- und Fremdpersonal sowie die Kollektivdosiswerte.

Tabelle 5 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren
(Stand 1.3.1999)

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

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

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

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz, Berlin

In den neuen Bundesländern wird gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR entsprechend der "Verordnung über die Gewährleistung von Atom Sicherheit und Strahlenschutz" vom 11. Oktober 1984 (VOAS) auch die Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und kurzlebigen Radonzerfallsprodukten im Bergbau und bei anderen 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 dieser Zerfallsprodukte den Wert von $4 \cdot 10^6$ MeV/m³ überschreiten (entsprechend 10 % des DAC-Wertes), unterliegen die jeweiligen Arbeitsbereiche und das Personal der Überwachung, die entsprechend der Festlegung der zuständigen Länderbehörde vom Betreiber der betroffenen Einrichtung durchzuführen ist.

1997 wurde diese Überwachung bei ca. 2 700 Personen vorgenommen, von denen 80 % Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Mehr als ein Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurde 1997 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 1997 einschließlich der Exposition durch langlebige α -Strahler und äußere Bestrahlung ca. 9,5 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 lediglich 6,0 Personen-Sv ergeben. Im nachfolgenden Text werden die auf dieser Grundlage berechneten Dosisangaben in eckige Klammern gesetzt. Fast 7,5 Personen-Sv [5,0 Personen-Sv] entfielen auf die Beschäftigten der Wismut GmbH (Abbildung 2). Bei diesen Beschäftigten wurde auch die Exposition durch Inhalation langlebiger α -Strahler aus der Uran/Radium-Zerfallsreihe und durch Photonenstrahlung messtechnisch erfasst. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte (Abbildung 3) liefern diese Expositionsarten im Allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der bei den Dosisberechnungen pauschal mit insgesamt 10 % der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Im Jahr 1997 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchste ermittelte effektive Jahresdosis eines einzelnen Beschäftigten betrug 33 mSv [16,5 mSv].

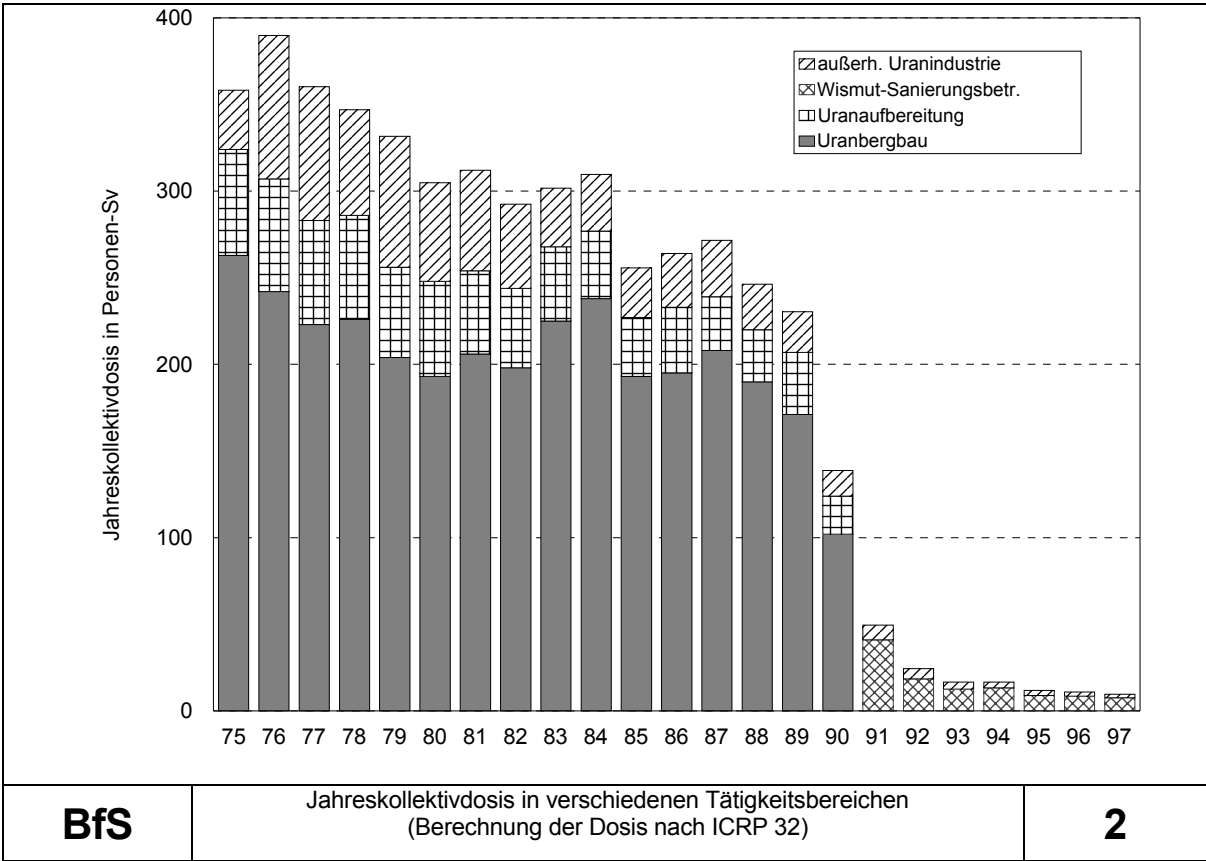
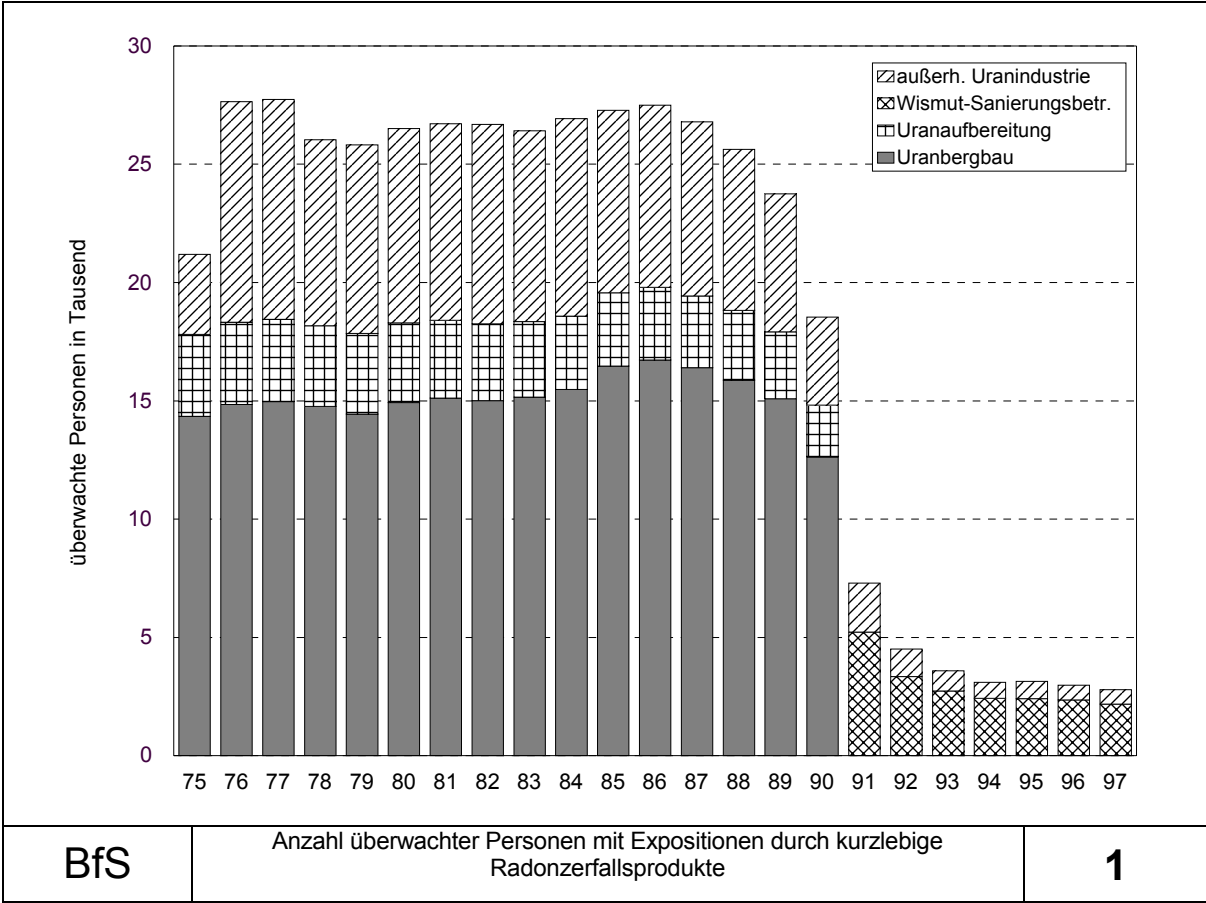
Die mittlere effektive Jahresdosis aller überwachten Personen, die durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponiert waren, betrug 3,5 mSv [2,2 mSv] und lag damit weit unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 50 mSv pro Jahr. Sie ist für einzelne Arbeitsbereiche ab 1975 in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Die höchste mittlere effektive Jahresdosis erhielten die Beschäftigten in einer wissenschaftlichen Einrichtung und in einem Radiumbad (Arbeitsbereichskategorie Sonstige) mit 6,0 mSv [3,0 mSv], gefolgt von den Beschäftigten in Wasserwirtschaftsbetrieben mit 4,2 mSv [2,1 mSv], bei Förderung und Sanierung im Nichturanbergbau mit 4,0 mSv [2,0 mSv], in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 3,8 mSv [1,9 mSv], in der Wismut GmbH mit 3,7 mSv [2,3 mSv], und in Bergsicherungsbetrieben mit 2,4 mSv [1,2 mSv]. In Schachtbaubetrieben gab es 1997 keine überwachten Arbeitsplätze mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte.

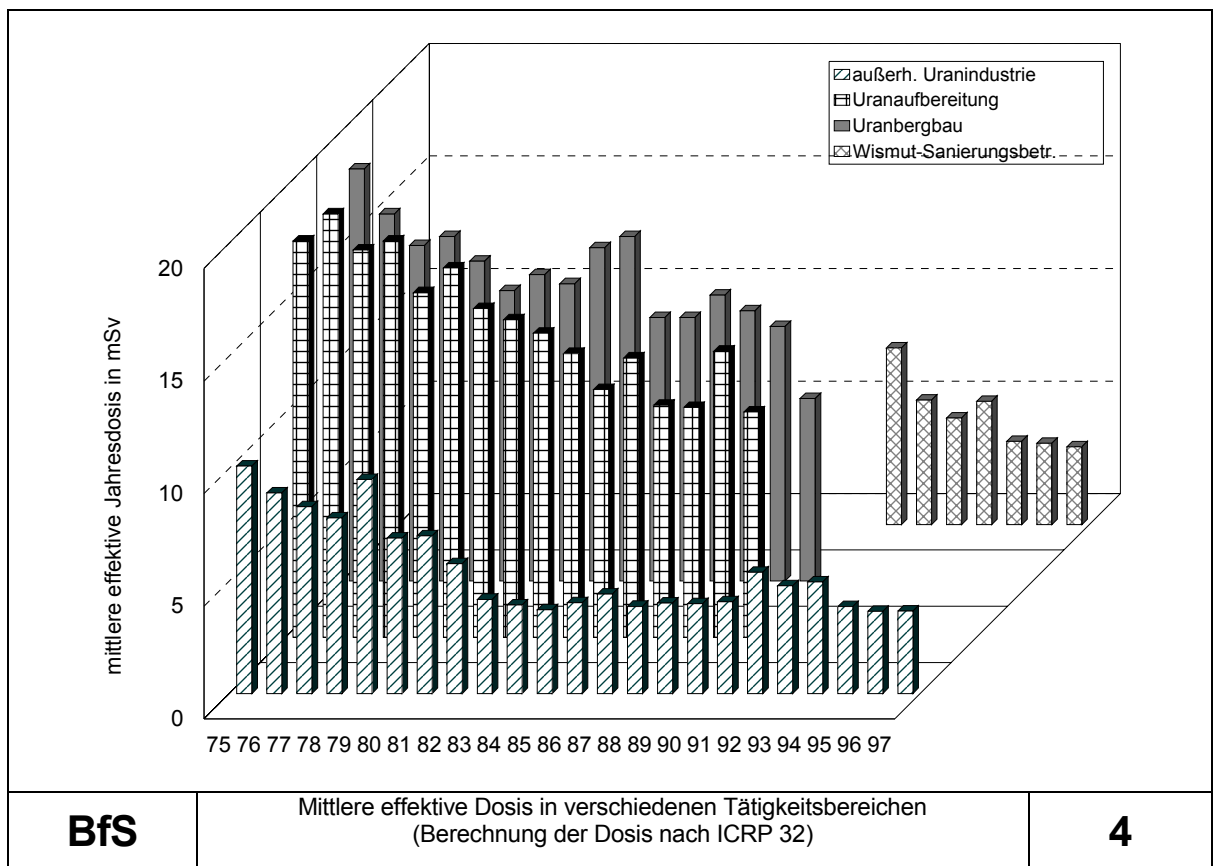
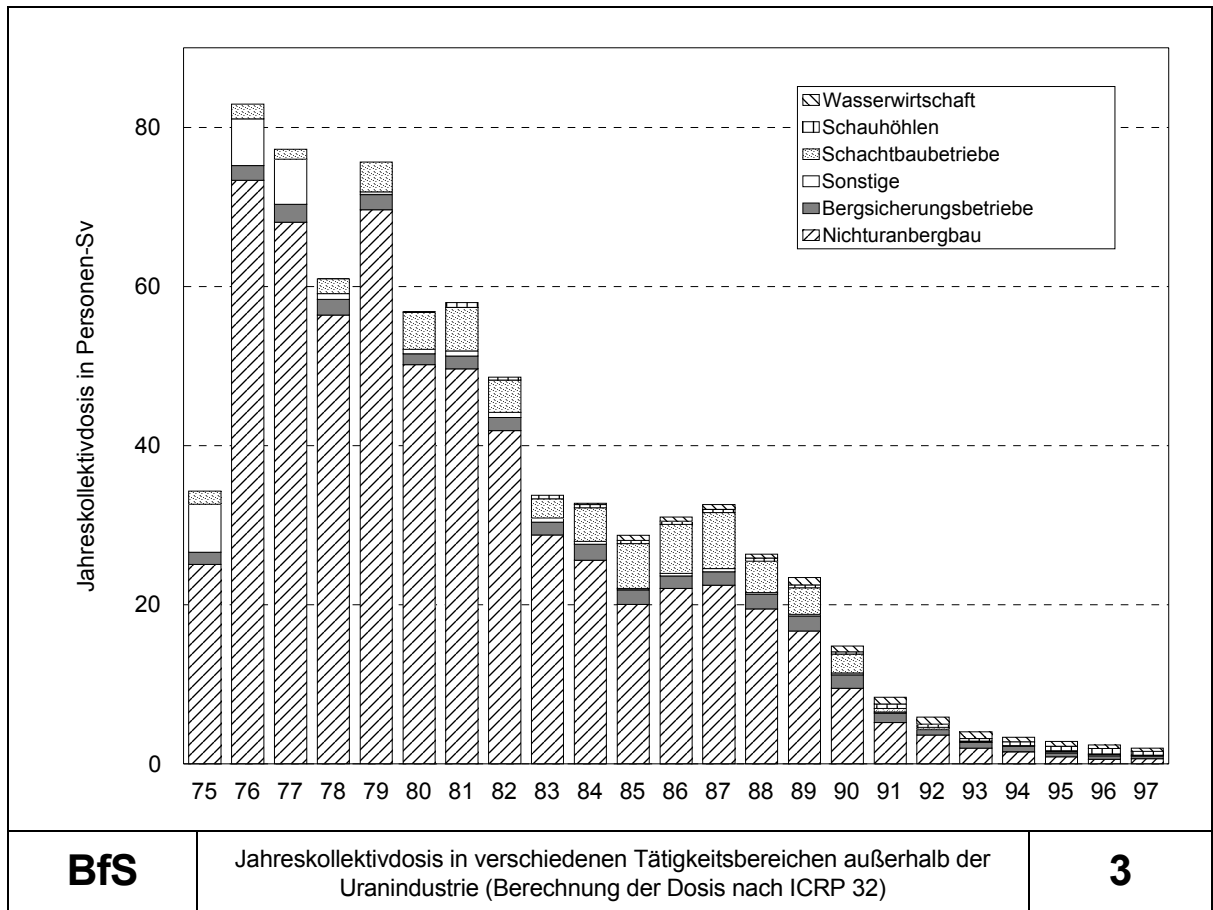
Bemühungen der Strahlenschutzverantwortlichen/Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörden um eine ständige Verbesserung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz finden seit Jahren ihren Ausdruck in den sinkenden Tendenzen der Kollektivdosis und der mittleren effektiven Jahresdosis, wie sie in den Abbildungen 2 - 5 dargestellt 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.

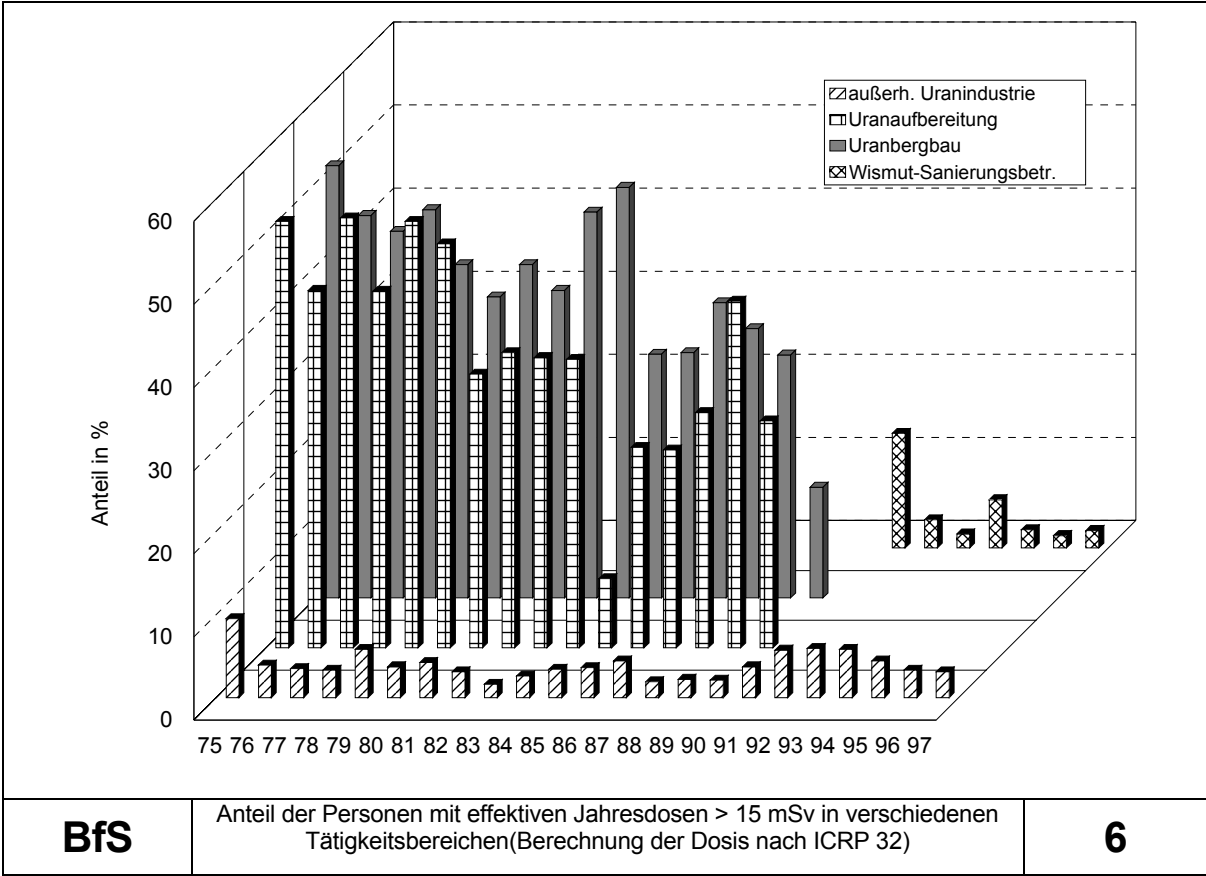
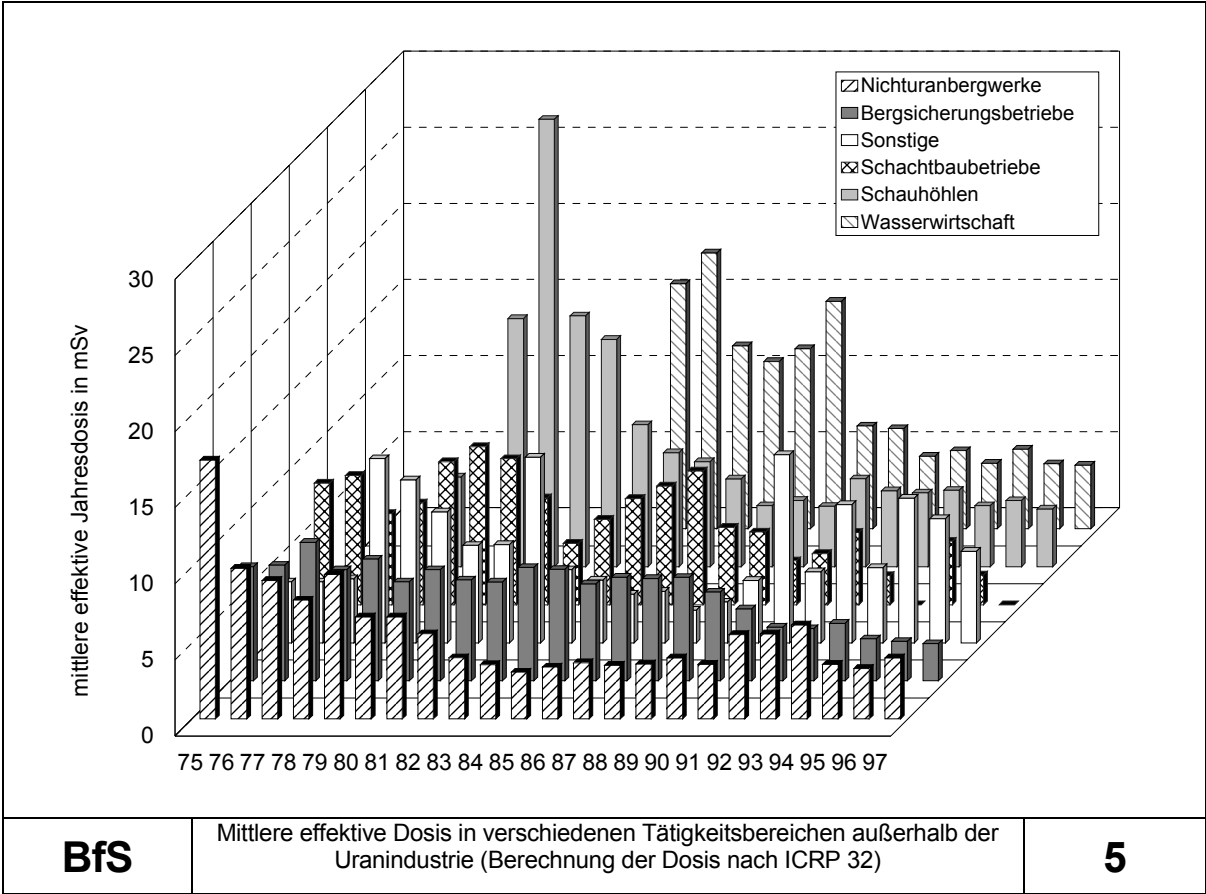
Insbesondere nach 1990 spielte bei der Reduktion der Kollektivdosis allerdings auch die stark fallende Anzahl überwachter Personen mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte eine wesentliche Rolle (s. Abbildungen 1, 2 und 3).

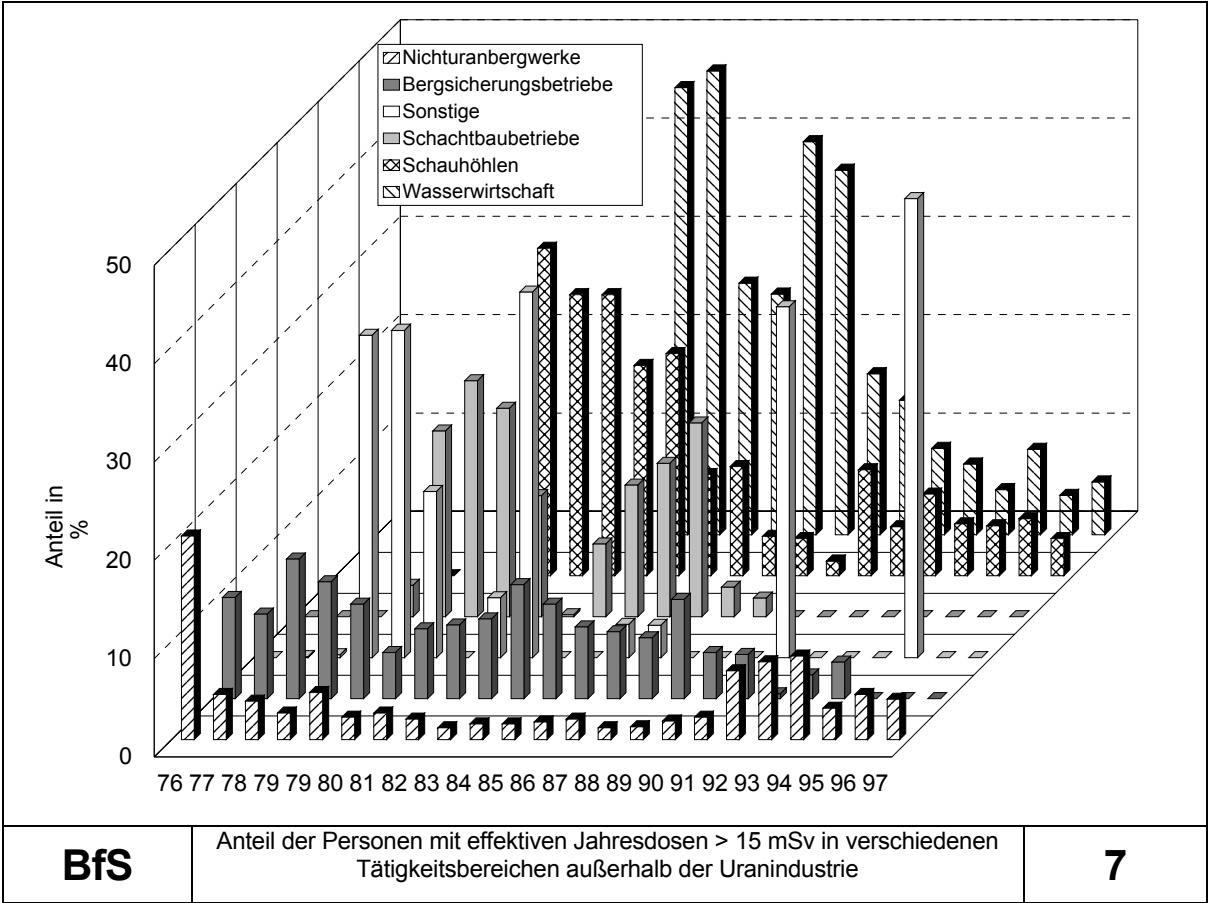
Der Anteil von Strahlenexponierten mit einer individuellen effektiven Jahresdosis von mehr als 15 mSv (Grenzwert für strahlenexponierte Personen der Kategorie B) betrug 1997 in den Wismut-Sanierungsbetrieben 2,1 % und außerhalb der Uranindustrie 3,1 %. Die insgesamt 63 derartig exponierten Beschäftigten (2,3 % aller Überwachten) lieferten einen Beitrag von 12,5 % zur Kollektivdosis. Bei Berechnung nach ICRP 65 würden lediglich 7 Personen (0,3 %) eine Dosis größer als 15 mSv erhalten und damit einen Beitrag von 1,9 % zur entsprechenden Kollektivdosis liefern. 199 Personen mit einer Jahresdosis größer als 6 mSv (gemäß ICRP 65) würden mit 29,5 % zur Kollektivdosis beitragen. 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

Anteil der Personen mit effektiven Jahresdosen > 15 mSv in verschiedenen Tätigkeitsbereichen außerhalb der Uranindustrie

7

1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich 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 auf bestimmten Flugrouten 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.

Tabelle 1 Inkorporationsmessungen beruflich strahlenexponierter Personen im Jahr 1997 *)

Bundesland	Regelmäßige Inkorporationsmessungen		Inkorporationsmessungen aus besonderem Anlass **)		Gesamtzahl der Inkorporationsmessungen	
	Zahl der Personen	davon > 5 % GJAZ	Zahl der Personen	davon > 5 % GJAZ	Zahl der Personen	davon > 5 % GJAZ
Mecklenburg-Vorpommern	-	-	29	-	43	-
Sachsen-Anhalt	-	-	4	-	9	-
Brandenburg	-	-	91	-	184	-
Bayern	-	-	1	-	1	-

*) enthält nur die Inkorporationsmessungen im BfS, Außenstelle Berlin, weitere Messungen wurden in der Zuständigkeit der Länder durchgeführt

**) „besonderer Anlass“ bezieht sich ausschließlich auf den zeitlich begrenzten Umgang mit radioaktiven Stoffen, auf die Überprüfung von Expositionsbedingungen und auf angeordnete Kontrollmessungen

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, Technetium-99, 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 VORKOMMNISSSE

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 1997 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 gewonnenen Erkenntnisse dar.

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

Tabelle 1 Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 1997

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
09.01.1997	Verlust eines Strahlers während des Versands (Co-60 28,5 MBq)	Strahler vor oder während des Transports bzw. der Zwischenlagerung abhanden gekommen (Abschirmbehälter defekt)	Gefährdung dann gegeben, wenn Strahler am Körper getragen wird (100 mSv/h in 0,01m)	Suche ergebnislos; alle beteiligten Personen auf das Gefährdungspotential hingewiesen
13.01.1997	Verlust eines Schulquellensatzes (Pu-238 35 kBq, Kr-85 98 kBq, Na-22 22 kBq und Co-60 58 kBq)	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos
13.01.1997	Personen- und Gerätekontamination in einem radiochem. Labor (U-235 156 Bq)	Bruch einer Glasampulle unter einem Abzug	Keine	Person wurde dekontaminiert; Inkorporationsmessung angeordnet
03.02.1997	Fund radioaktiv kontam. Teile eines ausländ. Brennelementkastens in einer Schrotthandelsfirma (Co-60 max. 260 Bq/kg; Cs-134 max. 16 Bq/kg; Cs-137 max. 180 kBq/kg; Ra-226 max. 13 kBq/kg; Th-232 max. 33 Bq/kg; U-234 max. 3,3 kBq/kg; U-235 max. 700 Bq/kg)	Illegale Einfuhr	Behandlung von 5 Teilen als radioaktiver Abfall, da Freigrenzen überschritten	Ordnungsgemäße Entsorgung; Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörden
06.02.1997	Fund radiumhaltiger Materialien in ehemaliger Arztpraxis	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung und Dekontamination des Raumes
13.02.1997	An einem Afterloading-Gerät konnte die Quelle nach Bestrahlungsende nicht in die Abschirmposition zurückgeführt werden	Verschmutzung einer Magnetkupplung in einem Gleitlager	Keine	Erweiterung des Wartungsprotokolls um zwei Prüfpunkte; Information an oberste Landesbehörden für Anwender des gleichen Gerätes

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
20.02.1997	Fund eines Päckchens mit 268 g Uranerz (Pechblende, U-238 Gesamtakt. ca. 1 MBq) auf einer Deponie	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungen eingestellt
28.02.1997	Explosion einer 11 kg Propangasflasche im Radioaktivitätslabor einer Universität	Defekt am Gasschlauch	Keine Freisetzung radioaktiver Stoffe	
06.03.1997	Verlust von 200 Kunststofffläschchen mit C-14 markierter Nährbodenlösung (jeweils 150 kBq) in einem Krankenhaus	Versehentliche Abgabe in den übrigen Laborabfall	Nicht zu erwarten; Zulässige spezif. Aktivität für Hausmüll wurde nicht überschritten	Fläschchen waren im Abfall geschreddert und gepresst aufgefunden worden; Verbrennung mit behördlicher Zustimmung
14.03.1997	Kontamination der Arme eines Klinikarztes bei nuklearmed. Behandlung eines Patienten (Re-188 75 MBq)	Unsachgemäße Handhabung	Kontamination: linker Arm: 1930 Bq/cm ² (1,6 mSv) rechter Arm: 80 Bq/cm ² (67 µSv)	Dekontamination und Kontaminationskontrolle
20.03.1997	Verschmelzung eines Papiervorfilters am Atemschutzfilter eines Mitarbeiters bei Arbeiten im Kontrollbereich	Funkenflug bei Trennarbeiten	Keine Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung	Behördliche Ermittlungen, Inkorporations- und Ausscheidungsmessungen für den betroffenen Mitarbeiter angeordnet
21.03.1997	Sicherstellung einer Borduhr mit radioakt. Leuchtschrift bei der Grenzkontrolle (ODL Oberfl. ca. 45 µSv/h)	Illegale Einfuhr	Keine	Einfuhrverbot
27.03.1997	Explosion eines Glasbehälters mit Salpetersäure-Lösungsmittelgemisch, das mit abgereichertem Uran verunreinigt war, in einem Forschungslaboratorium	Chemische Reaktion	Geringfügige Kontamination eines verletzten Mitarbeiters; keine Kontamination der Umwelt	Ausscheidungsanalysen ergaben geringfügige, über dem natürl. Gehalt an U-234/238 liegende Zufuhr; zulässige Dosisgrenzwerte waren weit unterschritten
03.04.1997	Fund von Teilen einer Füllstandsmesseinrichtung mit zwei Strahlern (Cs-137 mit je ca. 100 MBq, ODL Oberfläche 3,5 bzw. 4 mSv/h) in einer Schrottlieferung	Unterlassener Ausbau der Messeinrichtung vor Verschrottung der Behälter	Aufgrund der Abschirmung Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.04.1997	Fund einer Ra-Kompresse auf dem Dachboden eines Hauses (Ra-226 1 MBq)	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
11./15.04.1997	Sicherstellung kontaminierter Abfallgebände aus einem Müllheizkraftwerk in einer Untertagedeponie (I-131 18 bis 22 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.04.1997	Fund eines Dosimeterauswertegerätes mit Strahler (H-3 1,5 GBq) auf einem Privatgrundstück	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
17.04.1997	Feststellung einer leichten, unerheblichen Beschädigung der äußeren Schutzverpackung an einem Typ A- Transportcontainer auf einem Flughafen (6 Strahler Cs-137 mit insgesamt 943,5 GBq)	Nicht bekannte Einwirkung auf den Transportcontainer	Keine, da der Transportcontainer selbst und die Abschirmung der Strahler intakt waren	Verbesserung des Strahlenschutzmangements und Schulung des Personals
18.04.1997	Fund von kontaminiertem Abfall aus der Nuklearmedizin in einem Müllheizkraftwerk (I-131 und Tc-99m Gesamtakt. ca. 100 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.04.1997	Rückzugshemmung des Strahlers im Ausfahrssystem eines Afterloadinggerätes	Abknicken des Applikators während der Behandlung	Die die Störung beseitigende Mitarbeiterin erhielt eine Ganzkörperdosis von 0,2 mSv und eine Teilkörperdosis von ca. 13 mSv (Hände); die erhöhte Patientendosis konnte in den Folgebestrahlungen ausgeglichen werden	Gerät bis zur Überprüfung durch Servicefirma stillgelegt
23.04.1997	Bei Durchstrahlungsarbeiten trat ein Prüfer vor den noch geöffneten Kanal des Co-60 Strahlers	Nichtbeachtung der Strahlenschutzvorschriften	Der Prüfer erhielt eine Ganzkörperdosis von 0,12 mSv (Dosimeterauswertung)	Belehrung und sicherheitstechn. Verbesserung
29.04.1997	Feststellung der Kontam. einer umschl. Strahlenquelle (Am-241 3,7 GBq) an der Oberfl. (300 Bq)	Fremdkontam. durch Transport in einem kontam. Arbeitsbehälter	Gefährdungspotential gering	Dekontamination und Belehrung
05.05.1997	Fund von kontam. Filterstaub in einer Müllverbrennungsanlage (I-131 max. 15 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.05.1997	Fund eines Wasserauslaufhahnes mit radioaktivem Strahler (Ra-226, ODL in 1 m Abstand 10 µSv/h) im Metallschrott	Reste einer alten Vorrichtung zur Herstellung radonhaltigen Trinkwassers	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.05.1997	Erhöhte Ableitung von mit I-131 kontaminiertem Abwasser (Gesamtakt. ca. 1,4 GBq) aus der Abklinganlage eines Krankenhauses	Ablesefehler des Haustechnikers; organisat. Mängel	Gefährdungspotential aufgrund der Verteilung der Aktivität sehr gering	Einbau eines zweiten Ventils, welches bewirkt, dass nur bei gleichzeitiger Öffnung durch Haustechniker und Strahlenschutzbeauftragten die Behälter entleert werden können
15.05.1997	Verlust von 4 Schulquellen (Co-60, Pu-239, Kr-85, Na-22)	Vermutlich Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
15.05.1997	Fund eines Strahlers (Cs-137 200 GBq) in einer Metallgießerei	Unzulässige Entsorgung	Soweit nachvollziehbar, waren Beschäftigte der beteiligten Schrottfirma und Spedition ohne Strahlenexp. und mediz. Befund	Umfassende Ermittlungen durch nat. Behörden und internat. Organisationen
20.05.1997	Fund eines umschlossenen Strahlers (Am-241 35 kBq, 0,5 µSv/h) in der Elbe	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
27.05.1997	Freisetzung von C-14-markiertem Essigsäureethylester mit der Abluft aus einem Isotopenlabor (26 GBq mit 1,8 E5 m ³ Abluft)	Undichtiges Ventil in einem Autoklavendeckel	Gefährdungspotential gering	Vorkehrungen getroffen zur Vermeidung einer Wiederholung
27.05.1997	Fund von kontam. Laborabfall in einem Müllheizkraftwerk (Tc-99m Gesamtaktiv. 1 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Verschärfte messtechn. Ausgangskontrollen in der Nuklearmedizin
27.05.1997	Absturz eines Strahlers für Füllstandsmessungen (Co-60 340 MBq) aus der Befestigung an einer Behälterwand	Zu hohe mechanische Beanspruchung der Befestigung	Keine, Strahler blieb unversehrt und wurde sofort geborgen.	Verbesserung der Befestigung
03.06.1997	Fund einer kontaminierten Spitze einer Dreikanthandfeile bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Entsorgung	Keine, da Kontamination gering war	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.06.1997	Fund von zwei Strahlern (Ra-226 ODL 300 µSv/h, Co-60 ODL 20 µSv/h) in einer Wohnung	Unzulässige Aufbewahrung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.06.1997	Fund von drei Füllstandsmessgeräten mit Cs-137-Strahlern (insgesamt 7 GBq) in einem Transportcontainer, der nicht entsprechend gekennzeichnet war, an einem Grenzübergang	Nichtbeachtung gefährdungsrechtlicher Beförderungsbestimmungen	Gefährdungspotential gering, da Container den gesetzlich vorgegebenen Anforderungen entsprach	Ausfuhrverbot bis zur Vorlage der für die Beförderung erforderlichen Papiere erteilt
11.06.1997	Fund eines Strahlers (Cs-137 75 MBq) in einem Stahlrohr auf einem Schrottplatz	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Behördliche Ermittlungen
12.06.1997	Fund von kontam. Klinikabfall in einem Müllheizkraftwerk (I-131, Tc-99m)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.06.1997	Fund von 89 Ionisations-Rauchgasmeldern auf einem ehemaligen Betriebsgelände (Kr-85, je ca. 150 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.06.1997	Einleitung von kontam. Abwässern aus einer nuklearmed. Einrichtung in die öffentl. Kanalisation (I-131, ca. 100 MBq)	Ausfall einer Pumpe zur Abklinganlage	Gefährdungspotential gering	Fehlerquelle beseitigt
24.06.1997	Defekt an der Zu- und Abluftklappe einer Heißen Zelle	Defektes Relais an der Klappensteuerung	Keine	Austausch des Relais
26.06.1997	Verlust eines Tresors aus einer Schule, in dem u.a. radioaktive Präparate für Lehrzwecke (Uranerz, Radium, Thorium) aufbewahrt wurden	Diebstahl	Gefährdungspotential gering; Gesundheitsgefährdung nur bei Inkorporation oder längerem Hautkontakt	Ermittlungsverfahren

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
26.06.1997	Bei Durchstrahlungsarbeiten verklemmte sich der Strahler (Ir-192 2,8 TBq) in der Strahlerführung und konnte nicht fernbedient in den Arbeitsbehälter zurückgeführt werden	Defekt am Ausfahrdrakt	Die die Störung beseitigenden Mitarbeiter erhielten Ganzkörperdosen von 2,0 mSv und 1,2 mSv	Technische Änderung durch Hersteller am Gerät vorgenommen, sowie entspr. Information an alle Kunden
07.07.1997	Fund eines Strahlers (Co-60 5,3 MBq, ODL an der Oberfläche 1,3 mSv/h) in einem stark verrosteten Tresor	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering, da Strahler dicht war und der Raum, in dem sich der Tresor befand, nicht genutzt wurde	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.07.1997	Freisetzung von Cs-137 (0,1 bis 1 MBq) durch Beschädigung einer umschlossenen Quelle (22,2 GBq)	Unsachgemäße Handhabung entgegen Strahlenschutzanweisung und Belehrung	Bodenkontam. (3 bis 80 Bq/cm ²), Kontam. von 6 Personen und versch. Gegenständen; 0,8 Bq/cm ² verbleibende Hautkontamination (Hand) eines Mitarbeiters; Inkorporation von 180 Bq bei einem Mitarbeiter und 30 Bq (NWG) bei 5 weiteren Mitarbeitern	Sperrung der kontaminierten Räume; Dekontamination; Strahlenschutzbelehrung; staatsanwaltliches Ermittlungsverfahren
18.07.1997 und 23.07.1997	Sicherstellung von 44 nicht bauartzugelassener, mit Tritiumgas gefüllten Angelposen ("H-3 Betalights" ca. 16 MBq pro Pose, ca. 1 µSv/h)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten	Sicherstellung
24.07.1997	Vertrieb nicht bauartzugelassener, mit Tritiumgas gefüllten Angelposen ("H-3 Betalights" 0,5 bis 5 MBq pro Pose)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten	Untersagung des Vertriebs; Rückgabe der Restbestände an ausländische Lieferfirma
30.07.1997	Vertrieb nicht bauartzugelassener, mit Tritiumgas gefüllten Angelposen ("H-3 Betalights" ca. 500 MBq pro Pose)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten	Untersagung des Vertriebs; Rückgabe der Restbestände an Importeur
06.08.1997	Fund mehrerer radioakt. Präparate in Bleigefäß in Elektronik-Schrott (Ra-226 6,7 MBq und 0,4 MBq, Co-60 1,2 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine Kontamination von Personen oder Gegenständen	Sicherstellung und Entsorgung, Behördliche Ermittlungen
11.08.1997	Abbruch eines Sondengestänges im Bergbaugelände (Cf-252 124 MBq)	Unzulässige mechan. Beanspruchung	Keine	Bisher Bergung der Strahlers nicht erfolgt
13.08.1997	Strahlenexposition von zwei Prüfern bei Gamma-radiographie-Arbeiten (Ir-192 1,5 TBq)	Bei Durchstrahlungsarbeiten löste sich die Magnethalterung der Strahler-Ausfahrspitze und wurde beschädigt. Dadurch konnte der Strahler nicht fernbedient in den Arbeitsbehälter zurückgeführt werden.	Zwei an der Bergung des Strahlers beteiligte Prüfer erhielten Dosen von 2 bzw. 6 mSv, für letzteren wurde eine Handdosis von 3,6 Sv errechnet.	Übersendung des Gerätes zur Überprüfung und Reparatur an Hersteller

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
21.08.1997	Fußbodenkontamination in einer nuklearned. Einrichtung (I-131)	Undichtigkeit einer Apparatur	Gefährdungspotential gering	Dekontamination des Fußbodens und Kontaminationskontrolle des Personals (Schuhe)
21.08.1997	Fund nicht bauartzugelassener Ionisationsrauchmelder in Testern für die Halbleiterfertigung (156 Stück mit je 25,9 kBq Am-241)	Keine Bauartzulassung	Keine	Antrag auf Umgangsgenehmigung
21.08.1997	Feststellung eingebauter, nicht bauartzugelassener Ionisationsrauchmelder in Chip-Testgeräten (4 Stück pro Gerät mit je 26 kBq Am-241)	Keine Bauartzulassung	Keine	Antrag auf Bauartzulassung
04.09.1997	Abriss des Ausfahrdrathes des Strahlers an einem Afterloadinggerät während einer interstitiellen Bestrahlung	Fehlerhafte Schweißstelle	Die zur Bergung der Quelle eingesetzte Person erhielt eine Dosis von 1,6 mSv. Die geplante Patientendosis wurde nicht überschritten.	Reparatur durch Hersteller
11.09.1997	Fund von 6 Ionisations-Rauchgasmeldern auf einem ehemaligen Betriebsgelände (Kr-85, je ca. 18,5 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.09.1997	Verkehrsunfall bei der Beförderung von 3 Strahlern für Durchstrahlungsarbeiten	Technischer Defekt am Fahrzeug	Keine	Strahler blieben unversehrt
26.09.1997	Einschalten einer medizinischen Beschleunigeranlage während des Aufenthaltes eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum	Unachtsamkeit	Nicht zu erwarten, da sich der Mitarbeiter während der Bestrahlung (ca. 10 bis 20 s) im Zugangslabyrinth aufhielt und das Stabdosimeter keine Dosis anzeigte	Vorkehrungen getroffen zur Vermeidung einer Wiederholung
01.10.1997	Brand in einem Radionuklidlabor	Kurzschluss in einer elektrischen Leitung	Keine, da Raum frei von radioaktiven Stoffen	
01.10.1997	Verschlussstörung an einer medizinischen Gamma-bestrahlungseinrichtung	Frühere mechanische Beschädigung am Strahlerkopf	Ganzkörperdosis Mitarb. 5 µSv; Patientendosis 4,2 Gy statt 2 Gy	Fehlerquelle beseitigt
02.10.1997	Leckage an einem Abklingbehälter mit 500 l kontam. Abwasser (I-131); Auffang in der Bodensicherheitswanne	Betriebsstörung	Keine Freisetzung in die Umgebung	Abwasser wurde umgepumpt
02.10.1997	Zurückweisung eines ausländischen LKW mit einer Erzladung (300-400 Bq/g, max. ODL an der Außenfläche 16,5 µSv/h) bei der Ausreise	Keine Kennzeichnung des Fahrzeuges nach GGVS und Art der Verpackung nicht ordnungsgemäß	Gefährdungspotential gering	Nach ordnungsgemäßer Kennzeichnung des Fahrzeuges Rücktransport zum Absender
09.10.1997	Fund radioaktiver Stoffe (Cs-137 115 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
10.10.1997	Fund von radioakt. Material (Co-60 10 MBq) in einem Schrottpressteil	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren
14.10.1997	Verlust einer Waage mit Strahler (Cs-137 300 MBq), die in den Schrott gelangte und geschreddert wurde	Unzulässige Aufbewahrung	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren abgeschlossen
29.10.1997	Fund uran- und thoriumhaltiger Stoffe in 5 Fässern (146 Bq/g nat. RN, max. ODL an Fassoberfl. 14 µSv/h) bei einer Zollbehörde	Nichtbeachtung gefährdungsrechtlicher Beförderungsbestimmungen	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.10.1997	Abhandenkommen eines Sacks mit radioaktivem Abfall (H-3 max. 8 MBq) in einer Klinik, der versehentlich als normaler Abfall entsorgt wurde.	Tätigkeit dazu nicht befugter Reinigungskräfte	Gefährdungspotential sehr gering	Organisatorische Maßnahmen
30.10.1997	Fund eines Strahlers (Ra-226 0,1 MBq) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungsverfahren
10.11.1997	Fund eines Schulquellensatzes (Co-60 95 kBq; Cs-137, Na-22 und Kr-85 unterhalb der FG)	Unzulässige Entsorgung	Keine, da verschluss-sichere Lagerung	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.11.1997	Fund radioaktiver Stoffe in kleinen Behältnissen (50 g Uran, ca. 300 g Uranylacetat, ca. 100 g Thoriumnitrat) bei Aufräumarbeiten in einem Institut	Unzulässige Aufbewahrung bzw. Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Behördliche Ermittlungen
18.11.1997	Verlust eines Markers (Co-57 ca. 850 kBq)	Unachtsamkeit	Keine	Organisatorische Maßnahmen
18.11.1997	Fund eines Strahlenmessgerätes mit Prüfstrahler (Cs-137 70 kBq) auf dem Sperrmüll	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.11.1997	Tätigkeit von vier nicht beruflich strahlenexponierten Personen an einer radiometrischen Messeinrichtung bei nicht abgeblendetem Strahl	Verletzung der Aufsichtspflicht des SSB	Abschätzung einer maximalen Dosis von 100 mSv im ungünstigsten Fall	Medizinische Untersuchungen ergaben keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen
25.11.1997	Kontamination in zwei Messköpfen mit je 2 Strahlern (Sr-90 925 MBq) an einer Zigarettenfertigungsmaschine	Undichtheit der Strahler	Keine, da kein Kontakt zwischen Messgut und Strahlern besteht	Einbau neuer Strahler
26.11.1997	Fund thoriumhaltiger Stoffe (Gebinde aus vier 150 l Fässern; ODL an der Außenseite 5 µSv/h)	Illegal betriebenes Chemikalienlager	Gefährdungspotential gering	Beschlagnahmung und behördliche Ermittlungen
02.12.1997	Fund eines radioaktiven Stoffes (Uranylacetat) in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.12.1997	Fund von zwei radiumhaltiger Elektronenröhren (Ra-226 je 60 kBq)	Fehlende Kennzeichnung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen Bemerkungen
08.12.1997	Äußere Strahlenexposition zweier Mitarbeiter (Cs-137 18,8 GBq)	Unerlaubtes Hantieren	Teilkörperexposition der Füße: je Mitarb. max. 150 µSv	Disziplinarische Maßnahmen
16.12.1997	Verkehrsunfall bei der Beförderung von gebrauchten Mo-99 Generatoren	Fahrfehler	Keine	Strahler blieben unversehrt
17.12.1997	Abbruch eines Sondengestänges in 24 m Tiefe im Bergbaugelände (Cs-137 129 MBq)	Unzulässige mechan. Beanspruchung	Keine	Strahler konnte geborgen werden
17.12.1997	Freisetzung von Kr-85 (ca. 1,3 GBq)	Verschrottung eines Staubmessgerätes mit noch eingebautem Strahler	Gefährdungspotential sehr gering	Bußgeldverfahren
21.12.1997	Fund von Mineralien mit natürl. Radionukliden (Oberfl. 45 µSv/h) in einem PKW	Unzulässiger Transport	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
22.12.1997	Verlust eines Leuchtschildes (H-3 31 GBq) in einem Forschungslabor	Unzulässige Entsorgung	Keine	

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 kassenärztlichen 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 1997 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, aufgliedert 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 wird hauptsächlich in der neurologischen und zunehmend in der orthopädischen und mammographischen Diagnostik eingesetzt. 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.), aufgliedert 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/Echokardiogr.	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), die 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, aufgliedert 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 "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. Sowohl Indikationsstellung als auch Durchführung bzw. Überwachung von Röntgenuntersuchungen ist Ärzten vorbehalten, die die erforderliche Fachkunde besitzen.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z.B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, der Belichtungsautomatik und die gepulste Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. Die digitale Technik bringt bei Standardeinstellungen keine Dosiseinsparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z.B. durch Vermeidung von Fehltaufnahmen 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 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.

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 ersten Ergebnissen neuerer Untersuchungen in den alten Bundesländern zeichnet sich ab, dass die röntgendiagnostisch bedingte Strahlenexposition bei 2,0 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, 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. 138a vom 29.7.97*]

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 durch die 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 Radiochemotherapiesätze) 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. Um diese Möglichkeiten der Bestrahlung und Planung im vollen Umfang für den Patienten zu nutzen, muß die Patientenlagerung während der Bestrahlung entsprechend präzise und reproduzierbar erfolgen.

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 Szintigraphien der Schilddrüse (50 %) und des Skeletts (26 %) durchgeführt.

Die Häufigkeit 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 in den neuen Bundesländern 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 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 wurde, dieses Radiopharmakon jedoch zunehmend durch andere ersetzt wird, die eine geringere Strahlenbelastung verursachen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fördert derzeit ein Forschungsvorhaben zur genaueren Ermittlung der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland und der dadurch verursachten Dosis.

Tabelle 1 Häufigkeit und effektive Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen in der BRD

Organ/ Untersuchung	Gesamthäufigkeit 1994 (in 1.000)	eff. Dosis pro Untersuchung (in mSv)	kollektive eff. Dosis (in Personen-Sv)
Gehirn	40	6,5	260
Lunge	210	1,1	231
Herz	210	17	3 570
Gefäße	16	0,6	74
Niere	130	0,65	85
Skelett	730	3,5	2 555
Schilddrüse	1 400	0,6	840
Leber/Galle	8	2,3	18
Rest	37	2,4	89
Summe	2 800	2,7	7 722

4. HERZSCHRITTMACHER

Im Jahr 1997 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: 31.12.1997

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	8
1991	0	3
1992	0	5
1993	0	1
1994	0	3
1995	0	1
1996	0	3
1997	0	1
Gesamt	284	253

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 oder therapeutischen 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 Verwaltungsvorschrift zur Durchführung des § 41 StrlSchV ist in Vorbereitung.

In Tabelle 1 wird eine Übersicht über die bis 1996 genehmigten bzw. durchgeführten klinischen Prüfungen von **mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln** am Menschen gegeben. Im Jahr 1997 wurde kein Gutachten erstellt. 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
1992	2	H-3	1 - 7,2	30
	9	C-14	1,85 - 7,4	60
	1	Cr-51	3,7	18

Fortsetzung Tabelle 1

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

* 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 1997 wurden dem Bundesamt für Strahlenschutz durch die jeweils zuständige Landesbehörde insgesamt 41 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 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 1997 wurden wiederum hauptsächlich Anträge zur Knochendichtemessung, z.T. mit gleichzeitiger Röntgenuntersuchung der Wirbelsäule gestellt. (s. Tabelle 2). Weitere Forschungsschwerpunkte sind Bein-Becken-Phlebogramme zur Prüfung von Arzneimitteln zur Verhinderung der postoperativen Beinvenenthrombose und Lungenembolie sowie Forschungen im zahnmedizinischen Bereich. Für die Jahre 1991 bis 1997 sind in Tabelle 2 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 2 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
1994	2	Rö.-Aufn. Brust- und Lendenwirbelsäule und Knochendichtemessung	6,3	330	2,1
	1	Oberschenkel - CT	0,001	110	< 0,001
	1	Bein-Arteriographie ^{c)}	10	50	0,5
	3	Becken-Bein-Phlebographie	2	1270	2,54
Summe	7			1760	5,14
1995	2	Knochendichtemessung	0,016	380	0,0061
	1	Knochendichtemessung und Rö -Aufn. der Wirbelsäule	6	500	3
	2	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	1,34	7	0,0094
	1	Kieferpanorama	0,01	300	0,003
	1	CT-Thorax	3	100	0,3
Summe	7			1287	3,319

Fortsetzung Tabelle 2

Jahr	Anzahl d. Gutachten	Röntgenstrahlen-Anwendungsart	mittl. eff. Dosis je Proband ^{a)} (mSv)	Anzahl d. Probanden	koll. eff. Dosis ^{b)} (Personen-Sv)
1996	1	Knochendichtemessung	0,005	180	0,0009
	3	Knochendichtemessung und Rö-Aufn. der Wirbelsäule	3	1680	5,04
	1	Abdomen-Übersicht / Durchleuchtung	0,5	6	0,003
	1	Digitale Mammographie	1	400	0,4
	1	Bein-Becken-Phlebographie	1	250	0,25
	1	Koronarangiographie ^{c)}	15	550	8,25
	1	CT-Schädel (2 Schichten)	0,2	400	0,08
Summe	9			3466	14,024
1997	6	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	1,16	280	0,326
	3	Knochendichtemessung und Rö-Aufn. der Wirbelsäule	4,23	292	1,234
	4	Schädel, Kieferpanorama	0,015	1790	0,027
	1	Rö. bd. Hände 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

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.

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

In der Bundesrepublik Deutschland bedarf nach § 3 des Atomgesetzes (AtG) derjenige, der **Kernbrennstoffe** ein- oder ausführt, einer Genehmigung; die Voraussetzungen für die Genehmigungs- bzw. Anzeigepflicht der Ein- und Ausfuhr **sonstiger radioaktiver Stoffe** sind in §§ 11 - 14 StrlSchV festgelegt. Zuständige Behörde für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhr genehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen ist das Bundesausfuhramt (BAFA) in Eschborn.

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 soll nach Ablauf einer Erprobungsphase 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 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. Die **Ausfuhr** ist bis zum 10⁸-fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig, oberhalb dieser Freigrenze genehmigungspflichtig.

Seit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung 1989 unterliegt die Ein- und Ausfuhr **radioaktiver Abfälle immer der Genehmigungspflicht**; eine solche Genehmigung darf zudem nur erteilt werden, wenn hierfür ein Bedürfnis besteht.

Anzeigeverfahren

Die Anzeige, deren Inhalt und Form vom Bundesministerium der Finanzen vorgeschrieben ist, wird dem Grenzzollamt vorgelegt, dort mit den Frachtpapieren verglichen und bestätigt, sofern die Angaben korrekt 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 Außenwirtschafts- und des Atomrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein- und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Unstimmigkeiten 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, den Vollzug der Verbringung innerhalb bestimmter Fristen dem BAFA 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 der Betreiber, die gemäß EURATOM-Verordnung monatlich vom BAFA für die Europäische Union zu erstellen sind. Darüber hinaus gehen monatlich EDV-Ausdrucke mit den wesentlichen Angaben an die Gewerbeaufsichtsämter bzw. an die 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.

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)

Zuständiges Ressort ist das Bundesministerium für Wirtschaft; betroffen sind alle Waren des Abschnittes B der Ausfuhrliste. Die Anträge werden mit Formvordruck (Antragsverfahren gemäß § 17 AWV) an das BAFA gerichtet und dort unter Beachtung aller relevanten Vorschriften und der internationalen Verträge bzw. Abkommen in einem abgestuften Verfahren im BAFA direkt oder nach Abstimmung mit den Ressorts (in der Regel BMWi, BMBF und AA) entschieden.

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

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

Die Verordnung gilt **nicht** für

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

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

Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35)

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.

Eine Richtlinie des Rates ist zunächst nicht direkt in den Mitgliedstaaten geltendes Recht; sie muss erst von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden. Durch die "Verordnung über die Verbringung radioaktiver Abfälle in das oder aus dem Bundesgebiet (Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung - AtAV)" vom 27 Juli 1998 wird die Verbringung von radioaktiven Abfällen im Sinne der Richtlinie 92/3/EURATOM geregelt.

1.3 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe

Im Jahr 1997 wurden vom BAFA folgende Genehmigungen und Anzeigen erteilt bzw. bearbeitet:

91*	Einfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
9	Einfuhrgenehmigungen für radioaktive Abfälle gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (radioaktive Abfälle)
119	Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
13	Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)
17	Ausfuhrgenehmigungen für radioaktive Abfälle gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (radioaktive Abfälle)
144787	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 1 u. 2 StrlSchV
19431	Ausfuhranzeigen nach § 12 Abs. 4 StrlSchV
70	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 3 StrlSchV

* Hiervon waren 3 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 gingen damit um 3,3 % von 169 780 im Jahr 1996 auf 164 288 im Jahr 1997 zurück.

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1983 - 1997 übermitteln die Tabellen 1 und 2.

Die **Gesamteinfuhr** an Radionukliden (ohne radioaktive Abfälle) in Gigabecquerel (GBq) ist im Vergleich zum Vorjahr um 14 % gestiegen. Die Einfuhr von Bestrahlungsproben (wie z.B. aktivierte Anlagenteile) ging um 90 % zurück.

Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen (inkl. kleinster Mengen bestrahlten Materials) ist ein weiterer leichter Anstieg um 12 % zu verzeichnen.

Die **Gesamtausfuhr** von Radionukliden (ohne radioaktive Abfälle) in GBq fiel im Jahr 1997 deutlich um 36 % wegen der um 59 % zurückgegangenen Ausfuhr von Radionukliden ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq. Bei den umschlossenen Quellen ab 1850 GBq ist ein Rückgang um 29 % zu beobachten. Bestrahlungsproben wurden kaum noch ausgeführt.

Bei den Kernbrennstoffen (unbestrahlt und bestrahlt) und den Ausgangsstoffen ist gegenüber dem Vorjahr eine deutliche Zunahme um 65 % 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	74256 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

Tabelle 2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (GBq)	Umschl. Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe Ausgangsstoffe (unbestrahlt u. bestrahlt) (kg)
1983	2 468 045	25	5 343.200	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

1.4 Einfuhrstatistik

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

Tabelle 3 gibt die Aktivität der eingeführten radioaktiven Stoffe wieder; ausgenommen sind hier umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq, Bestrahlungsproben und radioaktive Abfälle. Die Gesamteinfuhr ging deutlich von 10 447 635 GBq (1996) auf 1 541 873 GBq (1997) zurück, entsprechend einer Abnahme von 85 %, hauptsächlich verursacht durch den sehr starken Rückgang bei Molybdän-99.

Ein sehr starker Anstieg ist bei Kobalt-60 (auf das 29-fache) zu verzeichnen. Des weiteren sind Zuwächse bei Kohlenstoff-14 (auf das 2-fache), Strontium-90 (auf das 2,5-fache) und Yttrium-90 (auf das 2,7-fache) festzustellen. Deutliche Rückgänge gab es im wesentlichen bei Tritium (H-3), Jod-123, Jod-125, Cäsium-137 und Iridium-192.

**Tabelle 3 Aktivität der 1997 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide
(ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)**

Versenderland	Aktivitäten in GBq										
	H-3	C-14	P-32	S-35	Co-60	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	I-123
Frankreich	7000	443	0	0	167	0	88	1	931	142909	0
Belgien/Luxemb.	99	264	473	210	3644	0	7	0	0	132426	133
Niederlande	90	0	139	0	174018	0	0	1	2180	165467	990
Italien	0	0	0	0	0	2	203	0	0	13793	0
Großbritannien	1437	655	584	736	0	4018	1730	724	1081	96338	0
Norwegen	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
Schweiz	33556	272	0	0	22457	3	8	911	24	0	0
USA	7259	264	0	11	91	0	1055	383	2	0	0
Japan	0	4	0	0	0	176	3	0	0	0	0
Ungarn	0	1	129	44	222	0	0	0	0	0	0
Russland	4901	3189	0	0	0	185	0	1018	36	0	0
Tschechien	0	0	0	0	0	334	0	0	0	774	0
Polen	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0
Singapur	0	0	0	0	0	1100	0	0	0	0	0
Verein. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chile	0	0	0	0	666	0	0	0	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	17	1639	0	0	0	0	0
Sonstige	0	0	0	0	528	1014	296	20	0	0	0
Summe 1997	54342	5092	1325	1001	201811	8471	3401	3058	4254	551707	1123
Summe 1996	162338	2483	1034	1078	7017	7345	5036	1188	1556	8547330	2866
Änderungen %	-67	+105	+28	-7	+2776	+15	-23	+157	+173	-94	-61

Fortsetzung Tabelle 3

Versenderland	Aktivitäten in GBq									Summe
	I-125	I-131	Xe-133	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Tl-201	Am-241	Sonst.	
Frankreich	57	338	0	1199	4	562	1765	177	939	156580
Belgien/Luxemb.	367	161041	1928	131	0	21632	5226	11	214	327806
Niederlande	0	18365	147	122	0	327574	3708	26	1173	694000
Italien	17	5498	0	0	2	66	0	0	48	19627
Großbritannien	394	22228	922	7815	10212	8015	376	6160	193	159602
Norwegen	2	19	0	0	0	108	0	2	5	4161
Schweiz	67	0	0	406	7414	2676	0	161	23	67975
USA	890	0	0	78	19	56256	0	175	944	67430
Japan	8	0	0	0	13	3297	0	0	0	3325
Ungarn	377	2405	0	0	0	1617	0	0	177	5148
Russland	37	0	0	0	0	12	0	7	654	9854
Tschechien	0	0	0	4943	0	423	0	3058	0	9383
Polen	0	0	0	63	0	1068	0	370	10	1850
Singapur	0	0	0	0	1981	333	0	0	0	2314
Verein. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	37	0	0	0	1137
Chile	0	0	0	0	0	621	0	0	0	1287
Malaysia	0	0	0	0	0	2432	0	0	0	4088
Sonstige	234	0	0	211	79	2727	0	43	1154	6306
Summe 1997	2450	209894	2997	14968	19724	429456	11075	10190	5534	1541873
Summe 1996	11460	152411	3684	108504	36354	1356959	14842	17711	3477	10447635
Änderungen %	-79	+38	-19	-86	-46	-68	-25	-42	+59	-85

1.4.2 Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq

Tabelle 4 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide Tritium, Kobalt-60, Selen-75, Cäsium-137 und Iridium-192. Die Einfuhr hat 1997 im Vergleich zum Vorjahr zugenommen; die Gesamtaktivitäten betragen im Jahr 1996 59 959 336 GBq und mit 79 215 145 GBq in 1997 wieder 32 % mehr.

Ursache ist der deutliche Anstieg bei Cäsium-137, während bei Kobalt-60 und Iridium-192 leichte Rückgänge zu verzeichnen sind.

Tabelle 4 Aktivität der 1997 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq

Versenderland	Aktivität in GBq					Summe
	H-3	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	
Frankreich	0	112900	0	6821900	0	68332800
Belgien/Luxemburg	0	1950	0	0	13481	15431
Niederlande	0	940324	0	0	0	940324
Großbritannien	0	0	0	675600	6900	682500
Italien	0	65600	0	0	0	65600
Österreich	0	69000	0	0	0	69000
Schweiz	1900	72500	0	129800	0	204200
USA	0	366000	0	0	277131	643131
Kanada	0	7742800	0	53400	0	7796200
Russland	0	29600	420259	0	0	449859
Weißrußland	0	0	0	0	10500	10500
Argentinien	0	0	0	0	5600	5600
Summe 1997	1900	9400674	420259	69078700	313612	79215145
Stückzahl	1	61	119	21	117	319
Summe 1996	-	58743300	166127	574500	475409	59959336
Änderungen %	-	-84	+153	+11024	-34	+32

1.4.3 Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen

Tabelle 5 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 1997 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier ein weiterer leichter Anstieg um 12 % zu festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen im wesentlichen bei Natururan und angereichertem Uran mit 3-10 % Uran-235. An bestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen wurden 1997 21,8 kg eingeführt.

Tabelle 5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 1997 in kg

Versenderland	abger. Uran	Natur- uran	mit U-235 angereichertes Uran				Plutonium	Thorium	Summe
			bis 3 %	3-10 %	20-85 %	>85 %			
Frankreich	31	412442	0	106018	46	2	0	1698	520237
Belgien/Luxemb.	24373	8198	0	84976	0	0	1969	0	119516
Niederlande	17246	1513	3221	69078	0	0	0	0	91058
Großbritannien	0	1008670	6920	47042	0	0	0	0	1062632
Österreich	0	93	0	0	0	0	0	0	93
Spanien	0	997	0	70346	0	0	0	0	71343
Schweiz	9	0	0	0	0	0	0	0	9
USA	376	0	5375	107702	0	0	0	0	113453
Russland	0	226809	377	83452	0	0	0	0	310638
Kanada	0	201190	0	0	0	0	0	0	201190
Summe 1997	42035	1859912	15893	568614	46	2	1969	1698	2490169
Summe 1996	29491	1587134	10177	596175	16	-	1693	1528	2226214
Änderungen %	+43	+17	+56	-5	+188	-	+16	+11	+12

1.5 Ausfuhrstatistik

1.5.1 Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr (Tabelle 6) ging von 960 351 GBq (1996) hauptsächlich wegen des weiteren starken Rückgangs bei der Ausfuhr von Tritium bei gleichzeitigem Anstieg der Kohlenstoff-14- und Iridium-192-Ausfuhren um 59 % auf 392 404 GBq (1997) zurück.

Tabelle 6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide 1997 ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Verbraucherland	Aktivitäten in GBq							
	H-3	C-14	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Mo-99
Frankreich	373	7	158	6	0	638	0	1812
Belgien/Luxemb.	935	0	1464	4	0	84	1	3860
Niederlande	2191	8	18	624	0	47	26	0
Italien	85	0	2144	6	0	378	68	32
Großbritannien	3679	332	102	631	0	1056	15	10905
Irland	0	1	4	2	0	88	2	0
Dänemark	5	0	6	9	3200	9	0	0
Schweden	3945	0	5	7	0	283	0	0
Österreich	3	0	35	4	0	297	1	0
Spanien	1410	0	47	20	0	24	0	0
Portugal	190	0	2	0	0	20	1	0
Griechenland	0	0	0	1	0	3	0	0
Schweiz	6369	8741	3	8	0	102	40	0
Norwegen	370	0	0	2	3333	17	0	0
USA	439	2626	175	265	0	852	849	0
Australien	0	0	0	0	0	2	0	0
Japan	0	4	0	1	0	12	3	0
Türkei	260	0	1	1	0	12	71	0
Tschechien	8	1	30	5	1700	9	4	5041
Slowakei	9	0	7	0	0	11	3	2091
Polen	19	0	2	2	0	39	74	9219
Ungarn	0	5	0	0	0	4	3	0
Russland	0	0	2	1	7830	6	4	0
Kuwait	0	0	0	0	0	0	0	0
Südkorea	0	0	13	0	0	174	0	0
Nigeria	2960	0	4	0	0	0	0	0
Mexiko	0	0	0	0	0	174	0	0
Singapur	11	0	0	0	0	0	0	0
Israel	44	0	2200	2	0	19	0	0
Indien	0	0	9	1	0	31	0	0
China	0	0	81	0	0	82	85	0
Taiwan	0	0	174	0	960	125	0	0
Sonstige	4282	3	367	17	1000	243	108	110
Summe 1997	27587	11728	7053	1619	18023	4841	1358	33070
Summe 1996	658332	3409	4545	850	16671	2798	-	39298
Änderungen %	-96	+244	+55	+90	+8	+73	-	-16

Fortsetzung Tabelle 6

Verbraucherland	Aktivitäten in GBq							Summe
	I-123	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonstige	
Frankreich	229	843	1211	11	12168	127	34	17617
Belgien/Luxemb.	0	720	298	35	1800	9	37	9247
Niederlande	1	9698	211	6	13890	72	77	26869
Italien	0	3563	40	4	4451	22	353	11146
Großbritannien	0	46564	909	4863	2988	221	69	72334
Irland	0	0	1	27	1645	0	4	1774
Dänemark	0	0	24	0	79	12	11	3355
Schweden	0	0	10	10	3707	8	53	8028
Österreich	1116	1188	152	59	5782	12	261	8910
Spanien	0	9	168	49	1110	12	12	2861
Portugal	0	38	4	25	4500	0	1	4781
Griechenland	0	0	99	0	11195	10	17	11325
Schweiz	0	0	1605	1	11582	256	141	28848
Norwegen	0	0	290	73	1683	13	18	5799
USA	0	0	2096	2875	0	890	43	11110
Australien	0	0	97	0	1414	183	1	1697
Japan	0	0	0	115	13736	12	2	13885
Türkei	0	46	58	0	1189	93	0	1731
Tschechien	5	3390	132	4	18250	2630	177	31386
Slowakei	3	918	191	25	830	3	11	4102
Polen	0	0	396	0	2171	562	89	12573
Ungarn	0	0	1	0	9740	0	49	9802
Russland	0	0	44	0	2918	48	0	10853
Kuwait	0	0	0	0	33840	0	0	33840
Südkorea	0	0	3379	0	7052	318	13	10949
Nigeria	0	0	740	0	0	0	0	3704
Mexiko	0	0	1893	0	843	41	0	2951
Singapur	0	0	22	3331	1802	4	0	5170
Israel	0	0	114	1	0	5	1	2386
Indien	0	0	127	0	739	868	0	1775
China	0	0	1970	207	0	284	2	2711
Taiwan	0	0	521	0	1206	10	75	3071
Sonstige	4	0	808	151	7950	602	169	15814
Summe 1997	1358	66977	17611	11872	180260	7327	1720	392404
Summe 1996	1270	42678	22552	7451	146456	10634	1932	960351
Änderungen %	+7	+57	-22	+59	+23	-31	-11	-59

1.5.2 Umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr von umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq (Tabelle 7) ging um 29 % zurück von 3 009 100 GBq (1996 = 113 Stück) auf 2 146 212 GBq (1997 = 184 Stück).

Tabelle 7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen 1997 ab 1850 GBq

Verbraucherland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Frankreich	0	2700	0	0	2700
Großbritannien	0	0	0	12435	12435
Niederlande	0	0	0	71353	71353
Finnland	0	0	162800	0	162800
Dänemark	0	24534	0	0	24534
Spanien	0	2700	0	0	2700
Italien	3293	1900	0	0	5193
Norwegen	0	16942	0	0	16942
Schweiz	0	2700	0	12742	15442
Kanada	1035327	0	0	1900	1037227
Neuseeland	0	0	3700	0	3700
Japan	0	0	4800	0	4800
Südkorea	0	0	12000	0	12000
Tschechien	0	8996	0	95233	104229
Slowakei	0	5800	0	0	5800
Mazedonien	0	0	0	3300	3300
Polen	0	2800	68000	0	70800
Tunesien	0	0	0	15400	15400
Ungarn	0	2600	0	0	2600
Ägypten	0	0	0	16746	16746
Ver. Arabische Emirate	0	6030	0	4800	10830
Brasilien	0	0	0	10627	10627
Argentinien	0	0	0	5600	5600
Kuwait	0	0	0	1900	1900
China	8671	0	0	3700	12371
Taiwan	0	24300	0	0	24300
Indonesien	0	36689	0	0	36689
Rumänien	377200	2900	0	0	380100
Weißrussland	0	0	0	16400	16400
Malaysia	0	11907	0	19300	31207
Bolivien	0	0	0	3626	3626
Saudiarabien	0	2226	0	0	2226
Chile	0	0	0	7100	7100
Israel	0	5700	0	2700	8400
Syrien	0	0	0	4135	4135
Summe 1997	1424491	161424	251300	308997	2146212
Stückzahl	23	57	11	93	184
Summe 1996	2690600	54448	30000	234052	3009100
Änderungen %	-47	+ 196	+ 738	+32	- 29

1.5.3 Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 8 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es erfolgte eine Zunahme der Ausfuhrmenge von 1 798 360 kg (1996) um 77 % auf 3 199 036 kg (1997). Der mengenmäßig größte Anteil liegt vorwiegend bei abgereichertem Uran und angereichertem Uran mit 3 bis 10%-igen Anteil Uran-235.

Tabelle 8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1997 in kg

Verbraucherland	abger. Uran	Ausgangsstoffe	Natururan	mit U-235 angereichertes Uran				Plutonium	Thorium	Summe
				bis 3 %	3-10 %	20-85 %	85-100 %			
Frankreich	251841	2	129	8	138346	1	4	138	467	390936
Belgien/Luxem.	0	0	20	675	48043	0	0	0	0	48738
Niederlande	384	0	5	0	1348	0	0	0	0	1737
Großbritannien	142615	38252	199	23	19043	119	0	65	0	200316
Spanien	0	0	0	0	20926	0	0	0	0	20926
Schweden	1500	0	1014	130	30308	0	0	0	0	32952
Finnland	0	0	0	0	23434	0	0	0	0	23434
Schweiz	10	0	56	0	22408	0	0	0	0	22474
Tschechien	6	0	0	0	0	5	0	0	4	15
USA	55	0	19	6972	35785	0	0	0	0	42831
Kanada	0	0	55	0	0	0	0	0	0	55
Russland	2414585	0	0	0	0	0	0	0	0	2414585
Japan	1	0	0	0	0	0	0	0	6	7
Singapur	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Sonstige	10	0	3	0	1	0	0	0	1	15
Summe 1997	2811022	38254	1500	7808	339642	125	4	203	478	3199036
Summe 1996	1186668	141648	3198	91422	375075	112	12	49	176	1798360
Änderungen %	+ 137	- 73	- 53	- 91	- 9	+ 12	- 67	+ 314	+ 171	+ 77

1.5.4 Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 9 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt. Die insgesamt ausgeführte Menge ist von 348 470 kg im Jahr 1996 auf 351 101 kg im Jahr 1997 geringfügig angestiegen. Material der ursprünglichen Anreicherungsgebiete "bis 3 % Uran-235" sowie "3 - 10 % Uran-235" bildet dabei erwartungsgemäß mit 97 % den Hauptanteil.

Die überwiegende Menge wurde auch 1997 nach Frankreich verbracht, ein weiterer Anteil nach Großbritannien.

Tabelle 9 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1997 in kg

Verbraucherland	abger. Uran	Natururan	mit U-235 angereichertes Uran			Plutonium	Summe
			bis 3 %	3 - 10 %	20-85 %		
Frankreich	2027	3542	75022	137236	0	239	218066
Norwegen	0	0	1	0	0	0	1
Großbritannien	3560	0	60853	68418	0	0	132831
USA	0	0	0	33	18	152	203
Summe 1997	5587	3542	135876	205687	18	391	351101

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 1997 wurden insgesamt 337 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

Beförderungsvorgänge von Kernbrennstoffen und Großquellen sind den zuständigen Aufsichtsbehörden mindestens 48 Stunden vor ihrer Durchführung zu melden.

1997 wurden insgesamt 679 Transporte von Kernbrennstoffen durchgeführt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 1997 (Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)

Inlandtransporte	
Schiene/bestrahltes Material	2
Schiene/Reststoffe und Abfall	0
Straße/unbestrahltes Material	112
Straße/bestrahltes Material	6
Straße/Reststoffe und Abfall	22
insgesamt	142
Grenzüberschreitende Transporte a)	
Luft/unbestrahltes Material	51
Luft/bestrahltes Material	0
See/unbestrahltes Material	94
See/bestrahltes Material	9
See/Reststoffe und Abfall	16
Schiene/unbestrahltes Material	11
Schiene/bestrahltes Material	72
Schiene/Reststoffe und Abfall	1
Straße/unbestrahltes Material	268
Straße/bestrahltes Material	8
Straße/Reststoffe und Abfall	7
insgesamt	537

a) Bei kombinierten Transporten wurden folgende Festlegenden gewählt:

- Straßen- oder Schienen-/Seetransport: als Seetransport
- Straßen-/Schienentransport: 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 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 1997 wurden dem Jahresbericht 1997 des EBA entnommen.

Für das Jahr 1997 sind leicht rückläufige Zahlen an Wagenladungssendungen zu verzeichnen gewesen (Rückgang von 780 auf 678 Wagenladungssendungen), dabei fällt insbesondere der Rückgang an Wagenladungssendungen mit losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückständen auf. Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Wagenladungssendungen radioaktiver Stoffe im Vergleich 1997 zu 1996.

Der Rückgang liegt zum einen darin begründet, dass im Bereich der losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückstände 1997 ein Aufkommen von nur 413 Wagenladungssendungen gegenüber 519 in 1996 verzeichnet werden konnte. Von den o.g. 413 Wagenladungen wurden 264 zum Endlager für radioaktive Abfälle nach Morsleben (ERAM) befördert; dagegen nur 8 Wagenladungen zum Zwischenlager Gorleben und 23 Wagenladungen nach Mitterteich.

1997 stellt man gegenüber 1996 ein fast gleichbleibendes Aufkommen bei der Beförderung von bestrahlten Brennelementen fest (1996: 99 Wagenladungssendungen, 1997: 102 Wagenladungssendungen).

Tabelle 2 Wagenladungssendungen der Deutschen Bundesbahn mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen im Jahr 1997

Art der Sendung	Anzahl der Wagen		Bruttogewicht der Ladung (t) (z.T. geschätzt)	Beförderte Gesamtaktivität (Bq) (Werte z.T. geschätzt)
	1997	1996		
Kernbrennstoffe				
Uran der natürl. Isotopenzusammensetzung oder angereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆)	17	14	785	11,220 · 10 ¹²
Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels)	2	5	59	-
Konditionierte Rückstände z.B. in 200-l-Metallfässern mit Zusatzabschirmung a)	2	8	200	2,20 · 10 ¹⁰
Uran der natürl. Isotopenzusammensetzung oder anger. Uran in Form von UF ₆ -Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z.B. Uranyl-nitrat (UNH)	-	-	-	-
Unbestrahlte Brennelemente b)	-	3	-	-
Bestrahlte Brennelemente	102	99	9165	1,75606 · 10 ¹⁹
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-	-	-
Sonstige radioaktive Stoffe				
Strahlenquellen (Co-60, Cs-137, Am-241) sowie Geräte einschl. Strahlenquellen, Niobium-Konzentrate	-	-	-	-
Uranerze, Uranerzkonzentrate	41	24	1130	1,2610 · 10 ¹¹
Abgereichertes Uran in Form von z.B. Uranhexafluorid (UF ₆), Uranyl-nitrat (UNH), natürlich oder abgereichert	-	7	-	-
Lose und verfestigte schwachaktive Rückstände z.B. in 200-l-Metallfässern a)	413	519	12450	1,97824 · 10 ¹⁴
Leere Verpackungen	-	4	-	-
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente mit erheblicher Restaktivität	101	97	7911	3,3737 · 10 ¹⁴
Summe	678	780 c)	31700	1,77567 · 10¹⁹

- a) Es handelt sich um Transporte im Zusammenhang mit der Konditionierung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfallstoffe sowie den Transport radioaktiv kontaminierter Gegenstände
b) Bei sämtlichen Wagenladungssendungen mit unbestrahlten Brennelementen handelt es sich entweder um Transit- oder grenzüberschreitende Transporte
c) davon sind 13 Wagen Transit

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

Tabelle3 Aufteilung der Transporte im Jahr 1997 im Bereich der losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückstände zu folgenden Empfängern:

Monat	nach ERAM	nach Studsvik (Schweden)	nach Gorleben	nach Mitterteich	nach Duisburg (KFA)	nach Jülich (KFA)	zum Forschungszentrum Karlsruhe	zu sonstigen Stellen (z.B. Kernkraftwerke, etc.)
1	21	-	-	-	1	2	-	-
2	21	1	2	3	1	1	2	2
3	23	1	1	-	4	1	4	4
4	20	1	-	4	2	1	5	-
5	19	1	-	5	1	2	1	-
6	26	2	3	4	2	-	5	-
7	22	1	2	-	5	-	-	3
8	18	-	-	-	4	1	-	4
9	36	-	-	2	1	-	12	-
10	25	2	-	-	2	2	2	-
11	21	2	-	-	5	-	2	3
12	12	5	-	5	7	6	-	2
Σ *)	264	16	8	23	35	16	33	18

*) Gesamtsumme aller Transporte loser und verfestigter schwachradioaktiver Rückstände beträgt 413,

2.3 Besonders erwähneswerte Transporte

Vom 28. Februar - 5. März 1997 fand der Transport von insgesamt 4 Castor-Behältern mit bestrahlten Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken sowie 2 Castor-Behältern mit Glaskokillen aus La Hague/Frankreich wie folgt statt:

Die einzelnen Transporte wurden zunächst als Sonderzüge von den Absendern zum Kohlekraftwerk Walheim und anschließend gemeinsam als ein Sonderzug zur Umladestelle beim Bahnhof Dannenberg Ost geführt, dort auf Straßenschwerlastfahrzeuge umgeladen und zum Brennelementlager Gorleben (BLG) befördert.

1997 wurde erhöhte Radioaktivität in einigen Schrottsendungen festgestellt, so dass die Stahlwerke die Annahme dieser Sendungen von den Zulieferern (Rohstoffhändlern) ablehnten. Aus diesem Grund rüsteten sich u.a. auch die Rohstoffhändler mit entsprechenden Messanlagen aus. Bei Ansprechen der Messanlage (Rot-Ausleuchtung) verständigen die Rohstoffhändler die zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörden. Weitere Maßnahmen wie Entladung, Separieren der Ladung, Weiterleitung der/des gefundenen kontaminierten Teile(s) (Entsorgung) oder Rücksendung des Wagens bzw. Dekontamination erfolgen auf Anweisung der zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörden.

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellungen der beim EBA eingegangenen Meldungen über erhöhte Radioaktivitäten in Schrottlieferungen für das Jahr 1997. Diese Meldungen wurden an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit weitergeleitet.

Tabelle 4 Zusammenstellung der beim EBA eingegangenen Meldungen über erhöhte Radioaktivitäten in Schrottlieferungen 1997

Datum	Vorkommnis	Fundort	Herkunft des Schrotts bzw. Importweg	Ortsdosisleistung	Verbleib bzw. behördl. Entscheidung über weitere Verwendung des Schrotts
16.01.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Homburg (Saar)	<0,4 µSv/h an der Oberfläche, 0,12 µSv/h in 1 m Abstand	Rückführung des Wagens zum Absender auf Weisung des EBA, Beförderung aufgrund § 80 StrlSchV, Verbleib nach Weisung der dort zuständigen atomrechtl. Aufsichtsbehörde
21.03.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Chemnitz	0,32 µSv/h an der Oberfläche, 0,12 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben) Meldung erfolgte auch durch das Land Sachsen
14.04.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Freiberg	2,9 µSv/h an der Oberfläche, 0,34 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben) Meldung erfolgte auch durch das Land Sachsen
16.04.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Mühlheim (Ruhr)	0,3 µSv/h an der Oberfläche, 0,1 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben)
24.04.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Trier	0,3 µSv/h an der Oberfläche, 0,1 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben)
24.04.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Bottrop	1,1 µSv/h an der Oberfläche, 0,1 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben)
20.05.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Bottrop	0,2 µSv/h an der Oberfläche, 0,1 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben)
30.09.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Luxemburg	Abgangsort: Homburg (Saar)	2 µSv/h an der Oberfläche, 0,12 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben)
10.10.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Kehl	Abgangsort: Heilbronn	80 µSv/h an der Oberfläche, 0,12 µSv/h in 1 m Abstand	(s. oben) Meldung erfolgte auch durch das Land Baden-Württemberg
06.11.1997	Feststellung einer rad. Kontamination bei einer Schrott-sendung mit einem Eisenbahnwaggon	Witten	Abgangsort: Witten	2,75 µSv/h an der Oberfläche	Dekontamination des Wagens bei der LDB AG Minden (Uranerzeinschlüsse in Holzbeplankung)

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 1997 wiedergegeben. Auf Grund eines ab 1995 verwendeten neuen Fragebogens kann die Zahl der Verwender auf vier statt wie bisher zwei Bereiche aufgeschlüsselt werden:

- Medizin einschließlich medizinischer Forschung und Lehre,
- Forschung und Lehre außerhalb der Medizin,
- Industrie und gewerbliche Wirtschaft,
- Sonstige (z. B. Behörden).

Die Gesamtzahl der Verwender radioaktiver Stoffe hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht erhöht. Der höchste Anteil von 55,9 % ist auch im Jahr 1997 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 25,8 % der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 1997 den Angaben des Jahres 1996 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/gewerbl. Wirtschaft auch 1997 deutlich höher (Faktor 10 bis 17) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 1996 stieg die Gesamtzahl in diesem Bereich um 7 %, jedoch die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung um 16 %.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach §§ 15 und 16 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1997 gibt Tabelle 3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender reduzierte sich um 2 %.

Tabelle 4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 1996 und 1997. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine leicht steigende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 1997 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 80 % auf Umgang (§ 3 StrlSchV), zu ca. 5 % auf Beförderung (§ 8 StrlSchV) und zu 13 % auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20 StrlSchV). Nur ca. 2 % der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 1996 und 1997 erteilten Genehmigungen nach §§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 1996 nahm die Zahl der 1997 erteilten Genehmigungen um ca. 3 % zu.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1997 kann einer Übersicht in Tabelle 6 entnommen werden. Von den insgesamt 16318 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 42 Präparate (ca. 0,3 %) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, sofern gemeldet, u.a. 6 Americium-241-Quellen, 7 Radium-226-Quellen, 14 Nickel-63-Quellen und 2 Neutronenquellen. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 1 Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1992 - 1997

		1992	1993	1994	1995 a)	1996	1997
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	1975	2089	2010	1747	1804	1824
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				467	454	433
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				344	378	409
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				904	935	972
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				32	37	10
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1867	1743	1811	1748	1781	1721
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				385	376	376
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				203	200	188
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				1074	1112	1059
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				86	93	98
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	478	691	718	1109	987	950
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				449	356	404
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				353	305	372
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				307	326	174
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				-	-	0
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	251	209	226	226	247	233
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				15	25	33
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				14	26	19
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				182	180	167
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				15	16	14
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	116	118	115	100	98	96
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				19	19	18
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				7	7	6
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				72	71	71
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				2	1	1
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	386	398	393	302	357	303
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				78	82	63
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				36	39	31
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				167	205	188
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				21	31	21
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	879	871	795	801	758	760
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				213	211	200
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				92	95	88
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				450	412	428
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				46	40	44
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	178	53	164	211	195	242
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				65	39	74
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				29	30	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				110	119	126
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				7	7	8
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1122	1030	1145	1125	1015	1137
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				274	206	239
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				134	113	134
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				706	679	746
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				11	17	18
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2490	2125	2600	2814	2512	2545
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				714	760	755
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				384	110	102
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				1716	1595	1636
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				-	47	52
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	531	580	573	582	537	574
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				222	209	216
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				35	25	31
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				231	220	249
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				94	83	78

Fortsetzung Tabelle 1

		1992	1993	1994	1995 a)	1996	1997
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	93	100	100	97	93	82
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				29	29	26
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				61	57	53
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				5	5	1
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	322	389	446	575	588	586
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				87	95	98
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				160	170	162
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				180	170	169
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				148	153	157
Sachsen- Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	223	266	366	345	358	382
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				44	46	45
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				25	29	36
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				259	266	280
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				17	17	21
Schleswig- Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	387	415	410	406	418	436
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				109	113	119
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				33	33	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				237	245	256
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				27	27	27
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	130	237	241	217	224	243
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre				20	23	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin				10	11	11
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft				184	184	197
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)				3	6	7
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	11428	11314	12113	12405	11972	12114
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre das entspricht				3190	3.043	3127
					25,7%	25,4%	25,8%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin das entspricht				1.861	1.573	1659
					15,0%	13,1%	13,7%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft das entspricht				6840	6776	6771
					55,1%	56,6%	55,9%
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden) das entspricht				514	580	557
					4,1%	4,8%	4,6%

a) ab 1995 neue Abfrage

Tabelle 2 Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 1996 und 1997

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			
			1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997		
Baden-Württemberg	1804	1824	454	433	378	409	935	972	37	10	87	98	53	66	714	779	23	22	25	5
Bayern	1781	1721	376	376	200	188	1112	1059	93	98	27	28	62	55	1018	993	20	20	72	79
Berlin	987	950	356	404	305	372	326	174	0	0	74	85	12	15	105	122	62	84	0	0
Brandenburg	247	233	25	33	26	19	180	167	16	14	5	4	2	6	146	126	16	12	3	6
Bremen	98	96	19	18	7	6	71	71	1	1	0	0	1	1	42	42	4	4	1	1
Hamburg	357	303	82	63	39	31	205	188	31	21	3	6	16	12	147	142	6	8	21	11
Hessen	758	760	211	200	95	88	412	428	40	44	13	9	7	7	256	270	8	8	9	12
Mecklenburg-Vorpommern	195	242	39	74	30	34	119	126	7	8	11	12	4	5	101	106	5	8	2	2
Niedersachsen	1015	1137	206	239	113	134	679	746	17	18	26	58	23	43	393	646	16	27	6	12
Nordrhein-Westfalen	2512	2545	760	755	110	102	1595	1636	47	52	163	162	37	35	1088	1116	46	54	6	7
Rheinland-Pfalz	537	574	209	216	25	31	220	249	83	78	0	2	17	15	196	200	8	8	7	5
Saarland	93	82	29	26	2	2	57	53	5	1	0	0	0	0	36	33	5	3	3	1
Sachsen	588	586	95	98	170	162	170	169	153	157	31	32	37	35	158	153	21	21	153	157
Sachsen-Anhalt	358	382	46	45	29	36	266	280	17	21	9	9	11	17	261	277	27	28	15	20
Schleswig-Holstein	418	436	113	119	33	34	245	256	27	27	13	13	4	4	209	219	8	8	11	11
Thüringen	224	243	23	28	11	11	184	197	6	7	5	6	3	3	137	148	5	10	3	3
Summe	11972	12114	3043	3127	1573	1659	6776	6771	580	557	467	524	289	319	5007	5372	280	325	337	332

Tabelle 3 Übersicht über den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen im Jahr 1997

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschließl. medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z. B. Behörden)	
			1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Baden-Württemberg	47	30	35	21	11	7	1	2	0	0
Bayern	63	55	32	31	27	19	3	4	1	1
Berlin	19	20	10	11	9	9	0	0	0	0
Brandenburg	4	5	4	5	0	0	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	7	10	4	4	2	3	0	2	1	1
Hessen	17	15	10	8	4	4	3	3	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	19	21	13	16	2	2	3	2	1	1
Nordrhein-Westfalen	46	58	34	45	8	8	4	4	0	1
Rheinland-Pfalz	7	6	6	5	1	1	0	0	0	0
Saarland	2	3	2	3	0	0	0	0	0	0
Sachsen	25	26	15	19	10	7	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	5	5	3	3	0	0	2	2	0	0
Schleswig-Holstein	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0
Thüringen	3	5	3	5	0	0	0	0	0	0
Summe	282	277	189	194	74	60	16	19	3	4

Tabelle 4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen und Zulassungen

Bundesland	Umgang (§ 3) ¹⁾		Beförderung (§ 8) ¹⁾		Anlagen zur Erzeugung ionisierend. Strahlen (§§ 15, 16) ¹⁾		Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20) ¹⁾		Umgang nach § 9 AtG		Gesamtzahl	
	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Baden-Württemberg	2646	2638	112	130	69	67	501	598	0	15	3328	3448
Bayern	1871	1791	66	66	63	60	561	641	16	19	2577	2577
Berlin	987	950	86	85	31	32	102	112	2	0	1208	1179
Brandenburg	294	276	20	17	4	5	16	25	0	0	334	323
Bremen	158	154	18	18	3	3	5	31	0	0	217	206
Hamburg	407	393	26	27	10	14	68	70	0	0	511	504
Hessen	1272	1316	17	17	29	33	319	312	7	7	1644	1685
Mecklenb.-Vorpom.	202	216	6	5	6	7	29	44	0	0	243	272
Niedersachsen	2671	2889	233	231	42	43	246	262	2	0	3194	3425
Nordrhein-Westfalen	6915	7114	369	403	106	121	658	684	17	17	8065	8339
Rheinland-Pfalz	609	594	49	37	10	9	88	113	0	0	756	753
Saarland	174	166	21	22	5	6	32	33	1	1	233	228
Sachsen	596	604	35	38	21	29	127	137	0	5	779	813
Sachsen-Anhalt	404	400	20	25	9	9	22	33	0	1	455	468
Schleswig-Holstein	782	774	32	31	11	12	181	170	0	0	1006	987
Thüringen	274	295	4	10	6	8	18	17	2	1	304	331
Summe	20262	20570	1114	1162	425	458	3006	3282	47	66	24854	25538

a) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

**Tabelle 5 Übersicht über die 1996 und 1997 erteilten Genehmigungen
(§§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV, § 9 AtG)**

Land	Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)	
	1996	1997
Baden-Württemberg	358	396
Bayern	343	367
Berlin	231	338
Brandenburg	126	62
Bremen	57	50
Hamburg	197	246
Hessen	292	341
Mecklenburg-Vorpommern	87	62
Niedersachsen	513	356
Nordrhein-Westfalen	521	625
Rheinland-Pfalz	172	166
Saarland	76	76
Sachsen	253	246
Sachsen-Anhalt	164	183
Schleswig-Holstein	144	103
Thüringen	100	139
Summe	3634	3756

Tabelle 6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1997

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	Sonstige Nuklide		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonstige Nuklide
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Baden-Württemberg	2110	144	611	467	14	0	86	299	88	401	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bayern	2755	250	445	467	33	0	185	320	139	916	15	0	0	0	0	0	1	0	0	2 Co-57, 12 Ni-63
Berlin	412	22	151	139	3	0	5	49	14	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	486	60	19	262	1	0	5	54	49	36	4	0	0	0	0	0	1	3	0	0
Bremen	145	16	5	8	2	0	81	25	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hamburg	221	43	57	20	1	0	6	48	3	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hessen	391	26	81	79	11	0	9	51	29	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	499	40	159	52	1	0	0	32	49	166	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Niedersachsen	2154	260	266	536	22	1	133	217	114	605	9	0	0	0	0	0	4	2	1	2 Ni-63
Nordrhein-Westfalen	3318	603	299	673	42	0	601	634	16	450	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rheinland-Pfalz	438	22	137	89	3	0	55	73	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saarland	21	4	6	10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sachsen	1685	378	231	691	13	0	7	178	48	139	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sachsen-Anhalt	778	74	11	561	0	0	0	36	51	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schleswig-Holstein	362	27	56	68	14	0	83	37	2	75	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Thüringen	543	18	13	469	0	0	0	12	4	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	16318	1987	2547	4.591	160	1	1256	2066	610	3100	42	0	0	0	0	0	7	6	2	16

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 Industrieerzeugnisse 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, 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 Anfall radioaktiver Abfälle

Seit 1984 wird in jedem Jahr der Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen sowie der Bestand, Anfall, Zwischenlagerung und Prognose der im Folgejahr zu erwartenden konditionierten radioaktiven Abfälle erhoben. Auf der Basis dieser Recherchen und zusätzlicher Anfragen bei den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen wird darüber hinaus eine Prognose für den Anfall radioaktiver Abfälle bis zum Jahr 2080 erstellt. Diese Prognose ist im Hinblick auf die Planung ausreichender Zwischen- und Endlagerkapazitäten erforderlich.

Der Anfall konditionierter radioaktiver Abfälle im Jahr 1997 war etwas geringer als im Jahr 1996, jedoch weit höher als der bisherige durchschnittliche Anfall von 4300 m^3 . Die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen haben sich im Jahr 1997 erwartungsgemäß wieder verstärkt um eine Endlagerung ihrer Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) bemüht. Der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen hat sich bei vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen von $61\,789 \text{ m}^3$ auf $61\,192 \text{ m}^3$ und bei wärmeentwickelnden Abfällen von 1774 m^3 auf 1423 m^3 reduziert. Es wurden mehr vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle im ERAM eingelagert als konditioniert wurden und der wärmeentwickelnde Abfall hat sich durch Abklingen bzw. Umpacken reduziert.

Im Rahmen der diesjährigen Umfrage zur Erhebung radioaktiver Reststoffe wurden die Angaben von 57 Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen ausgewertet.

Tabelle 1 zeigt das Aufkommen an radioaktiven Reststoffen von 1984 bis 1997. Darüber hinaus betrug der Bestand an Zwischenprodukten am 31. Dezember 1997 ca. 2160 m^3 ; diese sind ausschließlich vernachlässigbar wärmeentwickelnd.

Der Bestand konditionierter vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle teilte sich zu 47,6 % auf die Forschungseinrichtungen, zu 25,7 % auf die Kernkraftwerke, zu 19,1 % auf die Wiederaufarbeitung, zu 4,4 % auf die kerntechnische Industrie und zu 3,2 % auf die Landessammelstellen auf. Der Bestand an wärmeentwickelnden Abfällen teilte sich zu 88,5 % auf die Kernkraftwerke, zu 5,3 % auf die Forschungseinrichtungen, zu 4,9 % auf die Wiederaufarbeitung und zu 1,3 % auf die Landessammelstellen auf. Der größte Teil des Anfalls vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle entfällt auf die stillgelegten Kernkraftwerke.

Für 1998 wurde von den Ablieferungspflichtigen für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle ein Anfall von ca. 8470 m^3 abgeschätzt. Die prognostizierten Abfallgebinderolumina für das Jahr 2080 betragen ca. $330\,000 \text{ m}^3$ für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle und ca. $48\,000 \text{ m}^3$ für wärmeentwickelnde Abfälle.

Die jährliche Abfallerhebung umfasst auch die Abfrage nach den vorhandenen Zwischenlagerkapazitäten und deren Ausnutzungsgraden. Die Berechnung der Zwischenlagerauslastung ist jedoch nur für eine grobe Bewertung nutzbar, da die Randbedingungen bei den Genehmigungen für die verschiedenen Zwischenlager variieren. In der Regel gelten die Genehmigungen für ein bestimmtes Gebinde, überwiegend für das 200-l-Fass. In der Praxis liegt aber meistens ein gemischtes Gebindespektrum vor, so dass nur Bandbreiten angegeben werden können. Die in Deutschland verfügbare Zwischenlagerkapazität beträgt etwa $160\,000 \text{ m}^3$, die am 31. Dezember 1997 integral zu etwa 38 % ausgenutzt war. Ein Engpass für die Zwischenlagerung ist in den nächsten Jahren nicht zu erwarten.

Die oben angegebene Zwischenlagerkapazität erhöht sich durch die am 20.2.1998 erfolgte Inbetriebnahme des Zwischenlagers Nord (ZLN) beträchtlich. Die Nutzung dieses Zwischenlagers mit einer Kapazität von $200\,000 \text{ m}^3$ beschränkt sich allerdings auf die Lagerung von Großkomponenten aus dem Abriss der Kernkraftwerke Greifswald und Rheinsberg.

Tabelle 1 Aufkommen radioaktiver Reststoffe im Zeitraum 1984-1997, Angaben in m³

Abfall- erhebung	unbehandelte Reststoffe*)	konditionierte Abfälle				
		vernachlässigbar wärmeentwickelnd			wärmeentwickelnd	
	Bestand am Jahresende	Bestand am Jahres- ende	Anfall	davon im ERAM endgelagert	Bestand am Jahresende	Anfall
1984	6350	24930	4146		184	19
1985	5416	29347	4593		213	29
1986	5039	33606	4596		249	36
1987	7662	37504	4225		416	46
1988	10694	40248	3449		463	37
1989	11671	43940	3719		480	28
1990	14875	49997	6878	708	573	93
1991	18076	54930	5098	49	607	36
1992	27780	58405	3493		612	5
1993	27556	61322	4072		1372	760
1994	26266	63180	3802	1842	1623	276
1995	30107	60798	3376	5758	1928	305
1996	27611	61789	8352	7361	1774	-154
1997	28446	61192	7288	7885	1423	-351

*) vernachlässigbar wärmeentwickelnd

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 Gesuntheitsgefährdung 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 = Systèmes 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× p	pro Tag und Person
DAC	derived air concentration
DWD	Deutscher Wetterdienst
DWR	Druckwasserreaktor
FM	Feuchtmasse
FFS	Fischereiforschungsschiff
FÜS	Nukleares Frühwarn- und Überwachungssystem
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
WADIS	Warndienstinformationssystem
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 das Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes und des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 6. April 1998 (BGBl. I S. 694)
2. Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (Arzneimittelgesetz - AMG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Oktober 1994 (BGBl. I S. 3018)
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 das Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes und des Gesetzes über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 6. April 1998 (BGBl. I S. 694)
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, anwendend sind:
 - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 und Durchführungsbestimmung zur Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBl (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBl (DDR) I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBl (DDR) 1990 Nr. 34)
9. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung -RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I, S. 114), zuletzt geändert durch VO vom 25. Juli 1996 (BGBl. I S. 1172)
10. Strahlenschutzverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321, 1926), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2113)
11. Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße - GGVS) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. November 1990 (BGBl. I S. 448) dort: Anlage A
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 VO vom 18. Dezember 1992 (BGBl. I Nr. 57)

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. 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. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBI. 1994, S. 286)
26. 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)
27. 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)
28. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBI. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
29. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBI. 1996, S. 698)
30. 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)
31. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBI. 1993, S. 502)
32. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBI. 1996, S. 135)

33. 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)
34. 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)
35. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBI. 1982, S. 592)
36. 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)
37. 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)
38. 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)
39. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBI. 1981, S. 26)
40. 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
41. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
42. 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)
43. Rundschreiben des Bundesministers des Inneren vom 20. Juli 1976, Schutz von gesunden Personen, an denen klinische Prüfungen von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln durchgeführt werden (GMBI. 1976, S. 366)
44. Empfehlungen zur Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken vom 27. Dezember 1976 (GMBI. 1977, S. 48)
45. 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)
46. Änderung der Empfehlungen zur Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken vom 18.10.1977 (GMBI. 1977, S. 664)
47. Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen vom 19. Januar 1978 (GMBI. 1978, S. 51)
48. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken vom 5. Februar 1996 (GMBI. 1979, Nr. 9/10)
49. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßigem Betrieb, KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/93), Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1993)

50. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Wasser, KTA-Regel 1504, (Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1995)
51. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
52. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
53. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
54. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBI. 1982, S. 61)
55. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
56. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBI. 1983, S. 176)
57. KTA-Regel Nr. 1507 "Überwachung der Ableitung gasförmiger, aerosolgebundener und flüssiger radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren" (BAnz. Nr. 125 vom 5. Juli 1984, Beilage 36/84, zuletzt bestätigt am 27. Juni 1989)
58. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBI. 1989, S. 71)
59. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
60. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBI 2/90, S. 137)
61. 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	87,2 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	27,8 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	314 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	45,6 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	270 d	ϵ, γ
		Co-58	71,3 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	$4,9 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	65,5 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	368 a	β^-, γ
47	Silber	Ag-108m	127 a	ϵ, γ
		Ag-110m	255 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	453 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,8 d	ϵ, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,71 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	R
53	Jod	I-123	13,1 h	ϵ, R
		I-125	59,9 d	ϵ, R
		I-129	$1,6 \times 10^7$ a	β^-, γ
		I-131	8,05 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 d	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	2,05 a	β^- , γ
		Cs-137	30 a	β^- , γ
56	Barium	Ba-140	12,8 d	β^- , γ
57	Lanthan	La-140	40,2 h	β^- , γ
58	Cer	Ce-141	32,5 d	β^- , γ
		Ce-144	284 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	242 d	ϵ , R
73	Tantal	Ta-182	114 d	β^- , γ
77	Iridium	Ir-192	73,8 d	β^- , R
81	Thallium	Tl-201	3 d	ϵ , R
82	Blei	Pb-210	22 a	β^-
		Pb-214	27 min	β^- , γ
83	Wismut	Bi-214	138 d	\square
84	Polonium	Po-210	138 d	\square
		Po-214	167 msec	\square
		Po-218	3,05 min	\square
		Po-219	3,96 sec	\square , γ
86	Radon	Rn-220	55,6 sec	\square
		Rn-222	3,8 d	\square
		Rn-224	3,66 d	\square , γ
88	Radium	Ra-226	1600 a	\square , γ
		Ra-228	5,75 a	β^-
		Th-228	1,91 a	\square , γ
90	Thorium	Th-230	$7,5 \times 10^4$ a	\square
		Th-232	$1,4 \times 10^{10}$ a	\square
		Th-234	24,1 d	β^- , R
		Pa-234	6,7 h	β^- , γ
91	Protactinium	U-233	$1,6 \times 10^5$ a	\square
		U-234	$2,4 \times 10^5$ a	\square
		U-235	$7,0 \times 10^8$ a	\square , R
		U-238	$4,5 \times 10^9$ a	\square
93	Neptunium	Np-239	2,35 d	β^- , γ
94	Plutonium	Pu-238	87,7 a	\square , R
		Pu-239	$2,4 \times 10^4$ a	\square , R
		Pu-240	6537 a	\square , R
		Pu-241	14,4 a	β^-
		Am-241	432 a	\square , R
95	Americium	Am-241	432 a	\square , R
96	Curium	Cm-242	462 d	\square , R
		Cm-244	18,1 a	\square , R

H: Stunde, d: Tage, a: Jahre

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

ϵ = Elektroneneinfang
 γ = Gammastrahlung
R = Röntgenstrahlung