

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht
1999

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

Redaktion:
Bundesamt für Strahlenschutz
Institut für Strahlenhygiene
85762 Oberschleißheim

Bonn, August 2001

Vorwort

Der vorliegende Bericht enthält neben den Ergebnissen der Umweltradioaktivitätsüberwachung ausführliche Angaben über die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Quellen im Jahr 1999.

Der Bericht zeigt, dass sich die Strahlenbelastung der Bevölkerung gegenüber den Vorjahren um 0,5 Millisievert (mSv) auf 4,5 mSv erhöht hat. Die in den letzten Jahren gestiegene Zahl dosisintensiver Untersuchungen an Patienten im medizinischen Bereich hat hierzu maßgeblich beigetragen. Der jetzige Bericht geht daher anstelle der früheren Abschätzung von 1,5 mSv nunmehr von einer Strahlenbelastung von 2 mSv für diesen Bereich aus. Dies ist ein Wert, der im Vergleich zu den anderen europäischen Staaten sehr hoch ist. In Großbritannien z. B. beträgt die medizinische Strahlenexposition im Mittel lediglich 0,3 mSv pro Jahr. Die Bundesregierung verfolgt mit der Novelle der Röntgenverordnung auch das Ziel, die Strahlenbelastung in diesem Bereich zu senken. Die Ärzte sind aufgerufen, durch strenge Indikationsstellung, verstärkte Anwendung nicht- bzw. geringstrahlender Verfahren wie Endoskopie, Ultraschall und Magnet-Resonanz-Tomographie sowie einer verbesserten Aufklärung der Patienten zur Senkung der Strahlenbelastung beizutragen.

Mit einer Dosis von 1,4 mSv liefert das radioaktive Edelgas Radon auch im Jahr 1999 den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Nach Auswertung zahlreicher, auch internationaler Messprogramme und Studien könnten nach Schätzungen der Strahlenschutzkommission (SSK) rund 4 bis 12 Prozent aller Lungenkrebsfälle in Deutschland auf das Einatmen von Radon und seinen Zerfallsprodukten zurückgeführt werden. Um das Gesundheitsrisiko durch Radon zu minimieren, empfiehlt die EU-Kommission für Neubauten einen Planungswert von 200 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft und für Altbauten einen Sanierungswert von 400 Becquerel pro Kubikmeter. Das Bundesumweltministerium fördert seit einigen Jahren Forschungsvorhaben zur regionalen Verteilung des Radons, zu Schutzmaßnahmen und zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Radons. Die Ergebnisse dieser Studien werden jährlich auf dem Radon-Status-Gespräch auch mit internationalen Experten diskutiert. Im Rahmen einer Bund-Länder-Kommission werden derzeit Radongebiete auf Gemeindeebene im Hinblick auf eine administrative Umsetzung der Empfehlung der EU-Kommission ermittelt.

Im Jahr 1999 waren ca. 340.000 beruflich strahlenexponierte Personen registriert. Die mittlere Jahresdosis dieser Personengruppe betrug 0,17 mSv.

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende Strahlenbelastung liegt derzeit bei weniger als einem Prozent der natürlichen Strahlenbelastung, die in Deutschland insgesamt 2,4 mSv beträgt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass in Nahrungsmitteln aus Waldgebieten insbesondere bei Wildfleisch und Pilzen vereinzelt noch erhöhte Cäsium-137-Werte festzustellen sind.

Der Beitrag der in vergangenen Jahrzehnten durchgeführten Kernwaffenversuche zur Strahlenbelastung in Deutschland ist weiterhin rückläufig und betrug 1999 weniger als 0,01 mSv.

Mit der Novelle zur Röntgen- und Strahlenschutzverordnung wird die Bundesregierung die Qualität des Strahlenschutzes weiter verbessern.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	7
SUMMARY	11
RESUME	15
Teil I UMWELTRADIOAKTIVITÄT	16
EINLEITUNG	20
1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
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 bodennahen Atmosphäre	27
1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung	28
1.6 Natürliche Strahlenexposition	29
2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
2.1 Radon in Gebäuden	32
2.2 Radioaktive Stoffe in Baustoffen und Industrieprodukten	35
2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen	39
2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften	43
3. KÜNSTLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT	
3.1 Luft und Niederschlag	46
3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel	58
3.3 Gewässer	64
3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer	64
3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment	78
3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)	92
3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser	92
3.4.2 Milch und Milchprodukte	94
3.4.3 Fische und Produkte des Meeres und der Binnengewässer	97
3.4.4 Einzellebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung	104
3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe ..	116
3.5 Abwasser und Klärschlamm	117
3.6 Reststoffe und Abfälle	127
3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung	130
3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl	135
3.9 Kernwaffenversuche	136
Teil II RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERntechnischen ANLAGEN UND URANBERGBAULANLAGEN	
1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERntechnischen ANLAGEN	
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	152
1.4 Überwachung der Umweltmedien in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	154
1.4.1 Luft	154
1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch	157
1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer	165
1.4.4 Fische und Wasserpflanzen	173
1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser	175
1.4.6 Pflanzliche Nahrungsmittel	177
1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen	182
2. RADIOAKTIVE STOFFE AUS URANBERGBAULANLAGEN	
2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben	186

2.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien in der Umgebung von Sanierungsbetrieben	187
2.3 Strahlenexposition durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben	191
Teil III BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION	
1. PERSONENDOSISMESSUNGEN	
1.1 Vorbemerkungen	194
1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen.....	194
1.3 Übersicht über beruflich strahlenexponierte Personen in kerntechnischen Anlagen	198
1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern	199
1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung	205
2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG	206
3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSSE	207
Teil IV STRAHLENEXPOSITION DURCH MEDIZINISCHE MASSNAHMEN	
1. RÖNTGENDIAGNOSTIK.....	220
2. STRAHLENTHERAPIE.....	226
3. NUKLEARMEDIZIN	227
4. HERZSCHRITTMACHER	228
5. MEDIZINISCHE FORSCHUNG.....	229
5.1 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an gesunden Probanden in der medizinischen Forschung	229
5.2 Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen an Patienten in der medizinischen Forschung	231
5.3 Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung	231
Teil V UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN	
1. EIN- UND AUSFUHR RADIOAKTIVER STOFFE	
1.1 Einleitung	236
1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren.....	236
1.3 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe	238
1.4 Einfuhrstatistik	240
1.5 Ausfuhrstatistik	242
2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE	
2.1 Übersicht über Transporte radioaktiver Stoffe.....	247
2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen	247
2.3 Verstöße, Vorkommnisse bzw. Unfälle bei der Beförderung	250
3. UMGANG MIT OFFENEN UND UMSCHLOSSENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN	
3.1 Allgemeine Angaben	251
3.2 Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen	258
3.3 Erhebung radioaktiver Reststoffe	260
ANHANG	
1. ERLÄUTERUNG ZU DEN VERWENDETEN BEGRIFFEN	264
2. SI-EINHEITEN	267
3. LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN	268
4. GESETZE, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN, EMPFEHLUNGEN, ERLÄUTERUNGEN UND SONSTIGE REGELUNGEN ZUM STRAHLENSCHUTZ.....	269
5. NUKLIDLISTE.....	273
6. MESSSTELLENVERZEICHNIS	275

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 1999 ist in der folgenden Tabelle nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Dosis ist im Vergleich zu den Vorjahren in den meisten Bereichen unverändert. Im Bereich der medizinischen Anwendungen ergab sich eine neue Bewertung auf Grund einer verbesserten Datenlage.

MITTLERE EFFEKTIVE DOSIS DER BEVÖLKERUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND IM JAHR 1999

		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. 2 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. 2,1

a) Dieser Wert ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet (siehe Kapitel IV 1)

Natürliche Strahlenquellen und zivilisatorisch veränderte natürliche Radioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus einer externen und einer internen Komponente, verursacht durch natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt, zusammen. Zur externen Strahlenexposition tragen im Wesentlichen die Höhenstrahlung und die Bodenstrahlung des natürlichen Radioisotops Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen des Uran-238 und des Thorium-232 bei. Die interne Komponente der Strahlenexposition wird zum Großteil durch die Inhalation des natürlichen Edelgases Radon und dessen Zerfallsprodukte verursacht, zum Teil auch durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit dem Trinkwasser und der Nahrung. Typischerweise liegt die jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen im Bereich von 1 bis 6 Millisievert. Der Mittelwert beträgt 2,4 Millisievert, wofür insbesondere Radon in Gebäuden maßgebend ist. Die Einzelbeiträge zur jährlichen mittleren effektiven Dosis gehen aus der vorstehenden Tabelle hervor.

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

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

Medizinische Anwendung

Der größte Beitrag zur mittleren effektiven Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung wird durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe verursacht. Dieser Beitrag durch die medizinische Strahlenexposition liegt bei etwa 2 Millisievert; 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) und trotz weiterer geringer Zunahme der radiologischen Untersuchungsverfahren wegen der zunehmend greifenden Maßnahmen der Qualitätssicherung und -kontrolle in der Röntgendiagnostik aber auch der Nuklearmedizin allenfalls sehr gering 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 einerseits und den Erhebungen zur Strahlenexposition pro Untersuchung andererseits. Entsprechende Erhebungen zur Aktualisierung der Daten zur Häufigkeit und Dosis werden beim Bundesamt für Strahlenschutz mit Unterstützung der Kostenträger im Gesundheitswesen seit 1991 kontinuierlich durchgeführt.

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

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

Kerntechnik

Durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und aus dem Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die aus diesen Ableitungen nach der "Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung" ermittelten oberen Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte deutlich unterschritten. Gegenüber 1998 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 1999 unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

Umgang mit radioaktiven Stoffen in Forschung, Technik und Haushalt

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

Berufliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch äußere Strahleneinwirkung für alle mit Personendosimetern überwachten Personen (ca. 330 000) lag 1999 bei 0,17 Millisievert. Bei ca. 87 % der überwachten Personen wurde während des ganzen Jahres die untere Messbereichsgrenze des Personendosimeters von 0,2 mSv nicht überschritten. Bei den übrigen Überwachten ergibt sich eine mittlere Personendosis von 1,29 mSv. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur gesamten mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung beträgt daher auch 1999 weniger als 0,01 Millisievert.

Kernwaffenversuche

Im Jahr 1999 wurden keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Die in der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbaren langlebigen radioaktiven Stoffe stammen hauptsächlich aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Der Beitrag der damals freigesetzten Radionuklide zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ist für 1999 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 1999 63712 m³ (nicht wärmeentwickelnde Abfälle). Wärmeentwickelnde Abfälle fielen in Deutschland bisher nur in geringen Mengen an.

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 1999 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 1999 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 1999 lässt sich mit weniger als 2 Mikrosievert abschätzen. In Süddeutschland kann diese Strahlenexposition eine Größenordnung höher sein.

SUMMARY

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

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

The mean radiation exposure to the population in the Federal Republic of Germany during the year 1999 is shown in the following table and classified by various radiation sources. Compared to prior years, the mean effective dose is, for most areas, unchanged. For the area of medical applications, however, an improved evaluation was made possible by the availability of improved data.

MEAN EFFECTIVE DOSE TO THE POPULATION IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY DURING THE YEAR 1999

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

a) This value is affected by considerable uncertainties (see chapter IV 1)

Natural radiation sources and technologically enhanced natural radioactivity

Exposure from natural radiation sources consists of an external and an internal component due to natural radioactive substances in the environment. A major source of external radiation exposure consists of both cosmic and terrestrial radiation from the natural radioisotope potassium-40 together with the radionuclides of the natural decay series of uranium-238 and thorium-232. The internal component of radiation exposure is largely caused by the inhalation of the natural noble gas radon and its daughter nuclides, and partially also by the intake of natural radioactive substances in drinking water and food. Typically, natural radiation sources contribute to the effective dose to the level of 1 to 6 millisievert per year. The mean value is 2.4 millisievert, resulting in particular from exposure to radon in buildings. All individual contributions to the mean effective dose per year are listed in the above table.

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

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

Medical applications

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

Surveys initiated by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) on exposures in diagnostic radiology, this representing by far the largest contribution, have shown a considerable range of dose value scattering for individual examinations of more than two orders of magnitude which is caused by the different conditions for each individual patient and the different technical standards applied. The value for the mean effective dose is expected to increase in future, regardless of the broad use of alternative examination techniques (i.e. ultrasonic, endoscopy and magnetic resonance tomography techniques) on the one hand, and - in spite of the further slight increase in the application of radiological examination procedures - due to the increasingly successful quality assurance and control measures in diagnostic radiology and nuclear medicine, on the other hand. This is the conclusion drawn by a survey indicating a further increase in the frequency of examinations, mainly of dose-intensive examination techniques, such as computed tomography and angiography and including interventional and, therefore, also therapeutic radiology practices. Such practices data gathering activities for the updating of the data on frequency and dose have been carried out continuously, with the assistance of the health insurance organisations by the Institute of Radiation Hygiene, since 1991.

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

In diagnostic nuclear medicine, scintigrams of the thyroid and the skeleton are the most frequently applied methods of examination. Of increasing importance is the use of radioactively labelled monoclonal antibodies, in particular within the framework of diagnosing inflammatory processes and tumours and in tumour therapy. In clinical diagnostics, an increasingly important role is played by a procedure in nuclear medicine, the Positron Emission Tomography (PET) procedure.

Nuclear technology

The emission of radioactive substances from nuclear power facilities and from the Morsleben (ERAM) repository for low and intermediate-level radioactive waste contributes only insignificantly to the radiation exposure of the population. The upper values for the exposure of individuals, calculated according to the "General Administrative Guideline relating to § 45 of the Radiation Protection Ordinance" of 21-2-1990 are clearly below the limits indicated in the Radiation Protection Ordinance; these are significantly lower than the range of variation for exposures from natural sources in the Federal Republic of Germany. In general, the calculated radiation exposure values show no essential differences to those reported in 1998. The annual contribution from domestic nuclear installations and others located close to the borders of Germany to the mean effective dose to the population of the Federal Republic of Germany remained below 0.01 millisievert also in 1999 (Table p. 11 - 2.1).

Handling of radioactive substances in research, technology and the home environment

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

Occupational radiation exposure

The mean effective dose from external radiation for all persons (approx. 330 000) controlled using personal dosimeters was about 0.17 millisievert in 1999. The lower detection limit of personal dosimeters of 0.2 mSv was not exceeded in the case of approx. 87 % of all controlled persons. In the other cases an average dose of 1.29 mSv resulted. The contribution to the effective population dose from occupational exposure was less than 0.01 millisievert in 1999.

Nuclear weapons testing

In 1999, no nuclear weapons tests were carried out. The long-lived radioactive substances detectable in the atmosphere and in foodstuffs mainly originate from the above-ground nuclear weapons tests performed during the 1960s. The radionuclides emitted during this period contributed in 1999 to a level of less than 0.01 millisievert to the mean effective dose to the population in Germany.

Radioactive waste

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

On 31 December 1999, the levels of radioactive wastes in a suitable state for long-term disposal were 63712 m³ for wastes with negligible heat generation. The amount of heat-generating wastes was small up to now.

Radiological accidents and other particular events

Due to the strict regulations of the Radiological Protection Act, radiological emergencies requiring persons to handle sources of ionising radiation and radioactive substances are rare events. For 1999, an overview is shown in Table 1 (Part III 3).

Reactor accident at Chernobyl

After the reactor accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986, all measurement data available to the Federal Republic of Germany were documented and evaluated from the aspect of radiation hygiene. Radiation exposure resulting from this accident decreased further in 1999; the mean effective dose from

caesium-134 and caesium-137 was less than 0.015 millisievert. Thus it was clearly below one percent of the dose from natural exposure and was caused to a level of about 90 % by external exposure due to caesium-137 deposited on the ground. The mean effective dose from the intake of radiocaesium in foodstuffs is estimated to have been less than 2 microsievert in 1999. In South Germany the radiation exposure may be higher by one order of magnitude.

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 1999. Comparé aux années précédentes, la dose effective moyenne n'a pas changé dans la plupart des domaines. Dans le domaine des applications médicales, une nouvelle évaluation résultait d'une meilleure disponibilité de données.

DOSE EFFECTIVE MOYENNE REÇUE PAR LA POPULATION DE LA REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE EN 1999

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

a) Cette valeur présente des incertitudes considérables (v. Chapitre IV 1)

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

L'exposition naturelle aux rayonnements se compose d'une contribution externe et interne, causée par des substances radioactives naturelles dans l'environnement. La contribution externe est surtout l'exposition dans l'air et dans le sol du radioisotope naturel potassium-40, ainsi que les radionuclides des chaînes de désintégration de l'uranium-238 et de thorium-232. La contribution interne de l'exposition aux rayonnements est causée particulièrement par l'inhalation du gaz rare naturel de radon et de ses produits de filiation, et partiellement par l'absorption de substances radioactives naturelles avec l'eau potable et la nourriture. La contribution totale à la dose effective annuelle des sources naturelles de radiation est entre 1 et 6 mSv. La valeur moyenne est 2,4 mSv, particulièrement en raison du radon à l'intérieur de maisons. Les contributions individuelles à la dose effective moyenne par an sortent du tableau mentionné ci-dessus.

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

Une concentration élevée du radon dans l'air respirable auprès du sol, provenant des mines, n'a été observée que dans l'environnement proche des installations minières, mais elle diminue rapidement à une plus grande distance. En tout, il en résulte des mesurages, que des concentrations de radon élevées se présentent dans les régions minières, qui sont pourtant observées également dans des régions avec une géologie comparable, donc partiellement d'origine naturel. La dérivation de l'uranium et du radium et ses produits de 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 2 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 augmenter tout au plus légèrement, malgré l'application fréquente de méthodes de diagnostique alternatives (ultrason, endoscopie, NMR) en raison de la réalisation des mesures assurance-qualité et contrôle-qualité en diagnostique aux rayons X mais aussi en médecine nucléaire. 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 d'une part, et les enquêtes sur l'exposition radiologique par examen d'autre part. A partir de 1991, des enquêtes pour actualiser les données sur le débit de doses sont faites continuellement à l'Institut de Radiohygiène avec la subvention des caisses d'assurance-maladie dans l'hygiène sanitaire.

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

En médecine nucléaire, les scintigraphies de la glande thyroïde et du squelette sont les examens les plus fréquents. L'utilisation des anticorps monoclonaux marqués par radionucléides devient plus important dans le cadre de la diagnostique de réactions inflammatoires et des tumeurs, ainsi que dans la thérapie des tumeurs. La tomographie à émission de positrons (PET) acquiert également une plus grande importance dans les procédures 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 1998. En 1999, 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 due aux rayonnements externes des personnes surveillées avec des dosimètres individuels (environ 330.000) a été environ 0,17 mSv en 1999. Pendant toute l'année, la limite basse du champs de mesure du dosimètre individuel de 0,2 mSv n'avait pas dépassée chez environ 87 % des personnes surveillées. La dose individuelle moyenne du reste des personnes surveillées était 1,29 mSv. La contribution de l'exposition professionnelle aux rayonnements à la dose effective moyenne au total de la population était donc inférieure à 0,01 mSv, également en 1999.

Essais d'explosions nucléaires

En 1999, aucun essai d'explosions nucléaires n'a été effectué. Les substances radioactives de longue vie, décelables dans l'atmosphère et dans la nourriture, proviennent principalement des essais d'explosions nucléaires sur sol des années soixante. En 1999, 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 1999, l'état de déchets radioactives capables au stockage (thermique négligeable) était 63.712 m³ (déchets non thermiques). La contribution des déchets thermiques en R.F.A. était insignifiante jusqu'à présent.

Accidents radiologiques et événements exceptionnels

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

Accident du réacteur de Tchernobyl

Après l'accident du réacteur dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986, les chiffres sur la contamination de l'environnement mesurés en République fédérale d'Allemagne, étaient documentés et évalués du point de vue de la radiohygiène. En 1999, 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 1999, l'estimation de la dose effective moyenne, due au radiocésium incorporé avec la nourriture, était en dessous de 2 microsievert. En Allemagne du Sud, cette exposition aux rayonnements peut être élevée d'une ordre de grandeur.

Teil I

Umweltradioaktivität

Bearbeitet von den Leitstellen zur Überwachung der Umweltradioaktivität

EINLEITUNG

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

Überwachung der Umwelt

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

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

Einer Gefährdung der Gesundheit von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Minimum reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung "jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 28 Abs. 1 und 2 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 hierin umfangreichere Radioaktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

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

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

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

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

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

**Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung
der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrVG bzw. REI**

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

1. NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

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

1.1 Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt

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

1. Radionuklide ohne Zerfallsreihen
2. Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen
3. Radionuklide, die ständig durch kosmische Strahlung erzeugt werden

Die Radionuklide der ersten Gruppe haben ebenso wie die Ausgangsradiationuklide der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) Halbwertszeiten (HWZ) von über 10^9 Jahren. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist **Kalium-40**, es kommt zu 0,0118 % als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. **Rubidium-87**, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

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

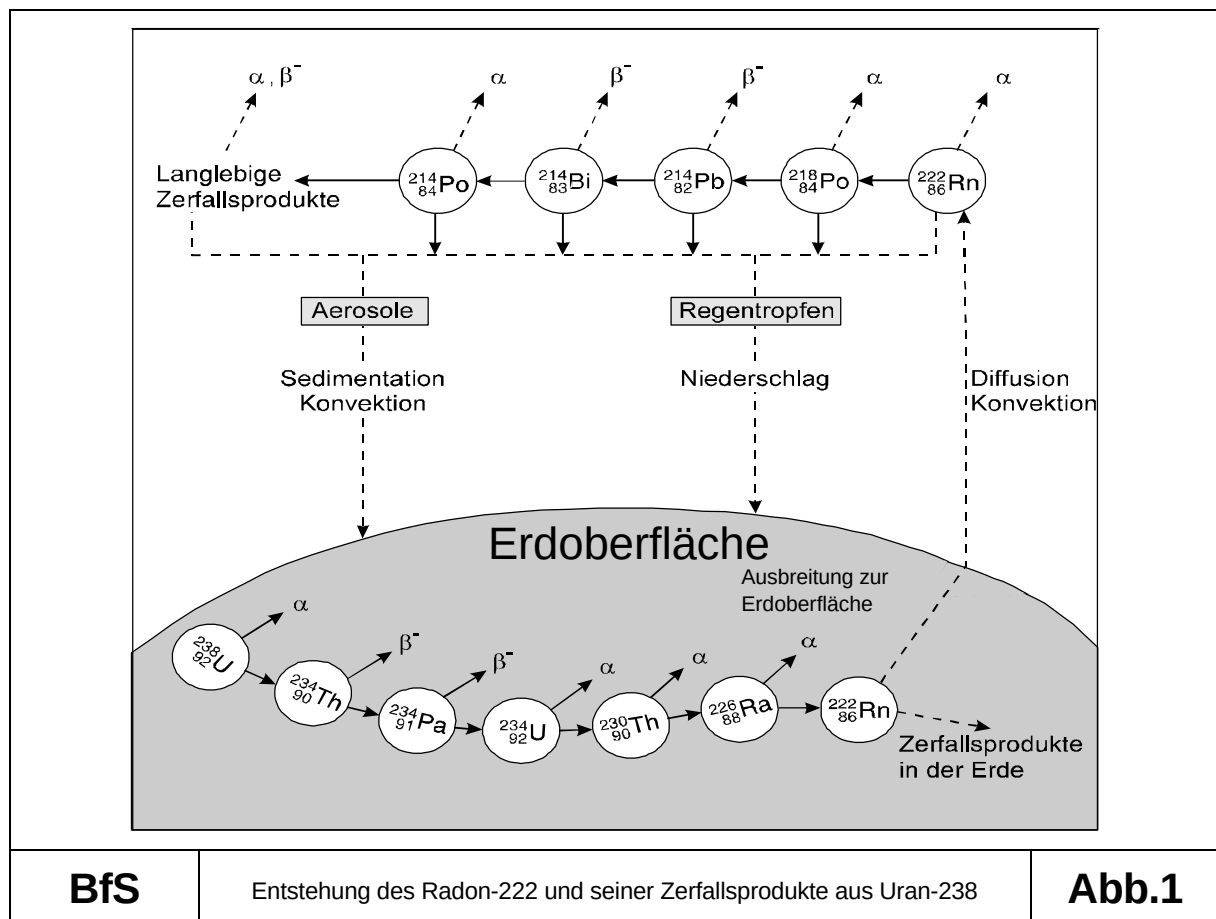
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Uran-238** mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Uran-235** mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von **Thorium-232** mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

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

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

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

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



1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden

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

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

Tabelle 1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten

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

In Tabelle 2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Bergbauregionen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangehaltes in den Gesteinen sind in den Böden der Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen, so beträgt die mittlere spezifische Ra-226 Aktivität in den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

Tabelle 2 Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Radium-226 in Böden

Gebiet	Bereich spez. Ra226-Aktivität (Bq/kg TM)
Raum Mansfeld	17 – 64
Raum Aue (Sachsen)	27 – 80 ^{*)}
Erzgebirgisches Becken	18 – 130
Thüringer Bergbaugebiet	21 – 170 ^{**)}
Mecklenburg-Vorpommern	8 – 12
Brandenburg	9 – 15
Übriges Bundesgebiet	10 – 200

^{*)} Einzelwerte bis 300 Bq/kg

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

1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

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

In Tabelle 3 wird ein Überblick über die aus den vorliegenden Messdaten ermittelten Mediane und Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen relevanter natürlicher Radionuklide in Trinkwässern gegeben. Berücksichtigt wurden nur aufbereitete Wässer, sogenannte Reinwässer und Wässer, die ohne weitere Behandlung als Trinkwasser genutzt werden. Die zugrundeliegenden Daten stammen mit Ausnahme der Radionuklide Ra-226, Rn-222 und K-40 überwiegend aus Gebieten erhöhter natürlicher Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) und sind daher nur eingeschränkt repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet. Neben den errechneten Medianwerten (50%-Perzentilen) werden für das Gesamtgebiet geschätzte Medianwerte (in Klammern) angegeben. Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet, d.h. in 5% der Fälle treten definitionsgemäß höhere Werte auf, die in Extremfällen um ein bis zwei Größenordnungen darüber liegen können.

Tabelle 3 Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser

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

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

^{**)} Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet. Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergab sich ein

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

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

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

Tabelle 4 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten

Gewässer	Radionuklid	Bereich spez. Aktivität (mBq/l)
Grundwasser	Tritium Kalium-40 Uran-238 Radium-226 Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte Thorium-232	< 40 - 400 11 - 15000 1 - 200 <4 - 400 2000 - 1500000 0,4 - 70
Oberflächenwasser	Tritium Kalium-40 Uran-238 Radium-226 Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte Blei-210 Thorium-232 Radium-228	20 - 100 40 - 2000 < 2 - 40 < 2 - 30 400 b) (<400 - 2000) 2 - 70 0,04 - 0,4 < 1 - 10
Meerwasser der Nord- und Ostsee a)	Tritium Beryllium-7 Kohlenstoff-14 Silizium-32 Kalium-40 Rubidium-87 Uran-238 Thorium-234 Uran-234 Thorium-230 Radium-226 Blei-210 Polonium-210 Thorium-232 Radium-228 Thorium-228 Uran-235	20 - 100 c) 1,1 - 3,4 5,5 - 6,7 0,0002 - 0,0033 11800 - 12300 106 40 - 44 0,6 - 6,8 47 0,0025 0,8 - 8 0,4 - 2 0,6 - 1,9 0,0004 - 0,029 0,8 - 8 0,004 - 0,3 1,9

Fortsetzung Tabelle4

Gewässer	Radionuklid	Bereich spez. Aktivität (mBq/l)
Sediment (mBq/g) a) der Nord- und Ostsee	Kalium-40	100 - 1000
	Uran-238	2,5 - 186
	Thorium-234	d)
	Uran-234	d)
	Thorium-230	d)
	Radium-226	20 - 80
	Blei-210	100 - 300 e)
	Polonium-210	100 - 300 e)
	Thorium-232	12 - 50

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

1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

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

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

Bei lockerem Material wandert das Radon besonders leicht nach übertage. Da auch weniger lockeres Material häufig Spalten und Risse aufweist, ist in Gebieten, in denen tektonisch gestörte radiumhaltige Gesteinsschichten relativ dicht unter die Erdoberfläche reichen, mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen. Aber auch das Wetter beeinflusst deutlich die Radonkonzentration im Freien. Messungen zeigen systematische jahreszeitliche und tägliche Veränderungen der Radonkonzentration. Im Winter, bei gefrorenem Boden, gelangt weniger Radon in die Atmosphäre, ebenso bei Regen, da dadurch die Bodenfeuchte erhöht und damit die Radonexhalation herabgesetzt wird. Während der wärmeren Jahreszeit ist die Exhalation des Radons aus dem Boden dagegen erhöht. Höhere Radonkonzentrationen treten auch in der Nacht und bei austauscharmen Wetterlagen (Inversionswetterlagen) insbesondere in Tallagen auf.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 – 30 Bq/m³. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tallagen) sind auch höhere Konzentrationen möglich. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³. Bedingt durch Freisetzungen aus bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2). Als höchster Wert wurde 1999 in der Nähe eines Haldenkomplexes 670 Bq/m³ gemessen. Als durchschnittliche Rn-220 Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt. Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die Tabelle 5. Sie fasst die Ergebnisse zusammen, die in den Jahren 1974 bis 1992 von der PTB und der GSF im Raum München, Berlin und Braunschweig in der bodennahen Luft gemessen wurden.

Tabelle 5 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzer-

fallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte)

Uran-238	Uran-234	Thorium-230	Radium-226	Blei-210	Polonium-210	Thorium-232	Radium-228	Thorium-228
$\mu\text{Bq/m}^3$								
0,8-2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Für das mit der Nahrung aufgenommene K-40 wird eine spezifische Aktivität von 60 Bq/kg im Körper gemessen. Aus der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 32 Bq bzw. 55 Bq (Zahlenwerte nach UNSCEAR 1993).

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Bereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln. Die untersuchten Proben entstammen allerdings überwiegend Gebieten mit überdurchschnittlichen Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe im Boden.

Tabelle 6 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln

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

*) Die 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 7.

Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Zufuhr) kann aus den Angaben in Tabelle 7 abgeschätzt werden.

Tabelle 7 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung
(gemischte Kost eines Krankenhauses) Messwerte in Bq/kg Frischsubstanz

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

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

Tabelle 8 Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen (nach UNSCEAR 1982, 1988 und 1993)

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

1.6 Natürliche Strahlenexposition

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

Äußere Strahlenexposition

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

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

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

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 Millisievert pro Jahr (mSv/a), davon entfallen auf den Aufenthalt im

Freien ca. 0,1 mSv/a und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv/a.

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

Innere Strahlenexposition

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

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 (beim Aufenthalt im Freien 0,2 mSv, beim Aufenthalt in Gebäuden 1,2 mSv). Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt in ihrer Publikation Nr. 65 "Empfehlungen zum Schutz vor Rn-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz" zur Ermittlung der effektiven Dosis aus der Radonexposition eine Dosiskonvention. Diese Konvention wurde auch von der Richtlinie 96/29 EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 übernommen und ist künftig von den Mitgliedsländern anzuwenden. Danach beträgt die effektive Dosis bei gleicher Exposition für Personen der Bevölkerung etwa 60 % der oben angegebenen Werte der effektiven Dosis.

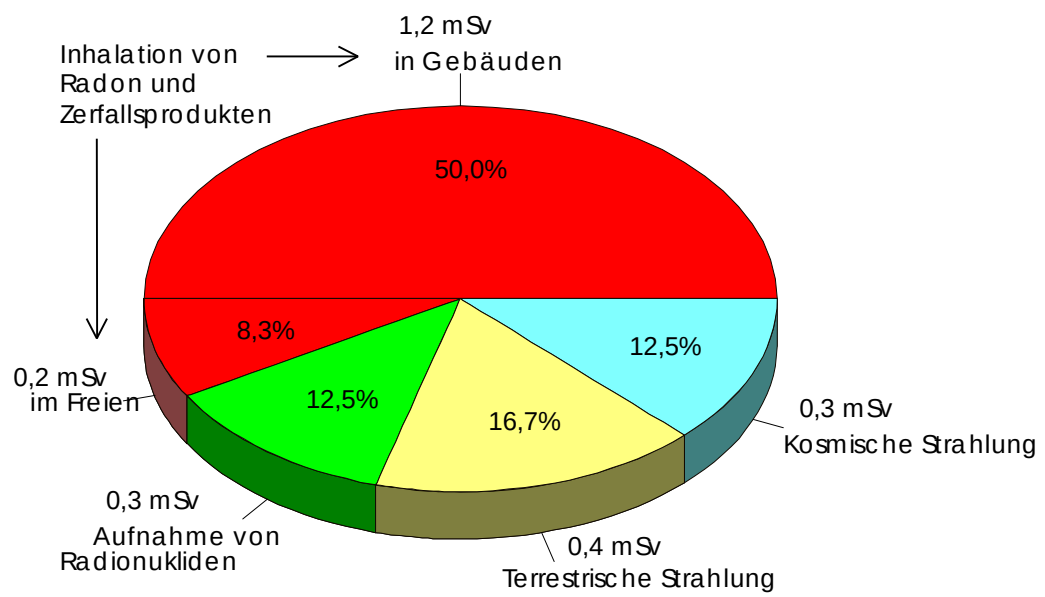
Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5 μ Sv pro Jahr und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

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

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 1993 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,7 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 bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich für eine Person der Bevölkerung eine jährliche effektive Dosis von 2,4 mSv bei einem Wertebereich von ca. 1 bis –10, der durch höhere Radonkonzentrationen zustande kommt. Aus dem gleichen Grunde können in Einzelfällen auch deutlich darüber liegende Strahlenexpositionen auftreten. Die effektive Jahresdosis und der Anteil der einzelnen Komponenten der Strahlenexposition sind in der Abbildung 2 graphisch dargestellt. Die aus weltweiten Übersichten zusammengefassten Werte sind auch für deutsche Verhältnisse typisch.



BfS

Mittlere jährliche effektive Dosis der Bevölkerung durch natürliche Strahlenquellen

Abb. 2

2. ZIVILISATORISCH VERÄNDERTE NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT

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

2.1 Radon in Gebäuden

In den alten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland begannen die Messungen der Radonkonzentration in Häusern 1978 mit der Zielsetzung, einen ersten Überblick über die Häufigkeitsverteilung, die wesentlichsten Radonquellen und die Radonkonzentration beeinflussende Faktoren zu gewinnen. Zur Validierung der Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnungen wurde im Zeitraum 1991 bis 1993 eine ergänzende Studie in den ostdeutschen Bundesländern durchgeführt. Eine größere Anzahl von Einzelprojekten diente, neben der Untersuchung gesundheitlicher Wirkungen der Radonexposition in Häusern, der Bewertung von im besonderen öffentlichen Interesse stehenden Umständen (z. B. Einfluss des Bergbaus).

Tabelle 1 In Deutschland mit öffentlichen Mitteln durchgeführte Radonmessungen in Häusern

Zeitraum	Anlass/Zielsetzung	Anz. unters. Wohnungen	Exposition
1978 - 1984	allgemeine Übersicht über Radon in Wohnungen Westdeutschlands	6000	3 Monate
1988 - 1990	regionale Untersuchungen im Gesamtgebiet Ostdeutschlands	1100 350	3 - 4 Wochen mehrere Monate
1990 - 1993	Beeinflussung durch Bergbau und seine Hinterlassenschaften	32000	24 Stunden
1987 - 1993	auf Anforderung der Bevölkerung	1800	3 Tage
1991 - 1993	Häufigkeitsverteilung der Rn-Konzentration in Wohnungen Ostdeutschlands	1500	1 Jahr
1993 - 1996	Leukämie und Tumorerkrankungen bei Kindern (Niedersachsen)	550	1 Jahr
1993	Messungen in Gebäuden der Elbmarsch	60	2 Monate
1990 - 1997	auf Anforderung von Bürgern	> 3000	2 - 10 Monate
1993 - 1997	auf Anforderung von Landkreisen oder in Begleitung spezieller Projekte	ca. 300	> 2 Monate
1997	Validierung von Radongebieten	ca. 250	2 - 10 Monate
1990 - 1998	Lungenkrebsrisiko in der Bundesrepublik Deutschland	ca. 6500 ca. 6500	1 Jahr 2 - 3 Tage
1990 - 1997	sonstige Forschungsvorhaben im UFOPLAN	einige Hundert einige Hundert	einige Monate 2 - 3 Tage
1996	Umsetzung der Sächsischen Förderrichtlinie	380	3 Monate
1998 - 2000	Untersuchung des Radontransfers aus dem Boden in Gebäude	1650	1 Jahr
2000 - 2002	Pilotgebiete für Bundesdatei Radon in Gebäuden	1600	1 Jahr

Insgesamt wurden in über 50 000 Häusern (ca. 0,4 % des Bestandes an Wohnhäusern) Messungen der Radonkonzentration durchgeführt.

Auf Grund der verschiedenen Zielsetzungen erfolgten die Messungen mit unterschiedlichen Methoden, bei verschiedenen Messbedingungen und regional unterschiedlicher Messpunktdichte. Während die Messdauer und -bedingungen durch die Zielsetzungen vorgegeben wurden, war die Messpunktdichte auch abhängig vom Interesse der Bevölkerung und der Kommunalverwaltungen an den Untersuchungen.

Im Februar 1990 wurde von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften eine „Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden“ veröffentlicht. Danach sollten die Jahresdurchschnittswerte der Radonkonzentration in bestehenden Gebäuden den Refe-

renzwert von 400 Bq/m^3 und in neu zu errichtenden Gebäuden den Planungswert von 200 Bq/m^3 nicht überschreiten /1/.

Untersuchungen und Ergebnisse

Schwerpunkt der Untersuchungen war 1999 auch die Identifikation von Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial im Untergrund, um dort zielgerichtet hohe Konzentrationen des Radons in Gebäuden zu ermitteln und Maßnahmen einzuleiten.

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

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

In ca. 25 % der Fläche Deutschlands sind auf Grund der geologischen Bedingungen unabhängig von der Bauweise erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern wenig wahrscheinlich. Dies betrifft vor allem große Teile des norddeutschen Tieflands.

Die in Häusern der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Radonkonzentrationen sind durch die geologischen Bedingungen dominiert. Rein geologisch bedingt können Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m^3 auftreten. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass rein geologisch bedingte Langzeit-Mittelwerte der Radonkonzentration in Wohnräumen von mehr als $15\,000 \text{ Bq/m}^3$ vorkommen. Die höchsten ausschließlich auf geologische Ursachen zurückführbaren Radonkonzentrationen hat man in Häusern gemessen, die auf Graniten errichtet wurden.

Aktuelle Abschätzungen zeigen, dass in ca. 5 % der Fläche Deutschlands Radonkonzentrationen über 100 kBq/m^3 in der Bodenluft vorkommen (vergleiche Abbildung 1). In diesen Gebieten sind insbesondere in älteren Häusern gehäuft Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen anzutreffen. Neubauten sollten an Standorten mit derart hohen Radonkonzentrationen im Baugrund radongeschützt errichtet werden.

In Bergbaugebieten können über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter mit häufig sehr hoher Radonkonzentration in die Gebäude gelangen. Da Gebiete mit Bergbau häufig von Bodensenkungen und damit verbundenen Gebäudeschäden betroffen sind, können zusätzliche Wegsamkeiten für das Radon in die Gebäude eröffnet werden. In Häusern der Bergbaugebiete wurden in Einzelfällen kurzzeitig mehr als $100\,000 \text{ Bq/m}^3$ (bis über $600\,000 \text{ Bq/m}^3$) und Jahresmittelwerte über $15\,000 \text{ Bq/m}^3$ festgestellt. Auf Grund der in einigen Lagerstätten vorhandenen paragenetischen Uranvererzungen, aber auch wegen der im Allgemeinen erhöhten Gasdurchlässigkeit von geschüttetem Material sollten Halden als Flächen mit erhöhtem Radonpotenzial eingestuft werden und daher nicht bebaut werden. In einem speziellen Forschungsvorhaben erfolgt derzeit eine Recherche über Gebiete Deutschlands, in denen mit gehäuft auftretenden erhöhten Radonkonzentrationen infolge Bergbau zu rechnen ist.

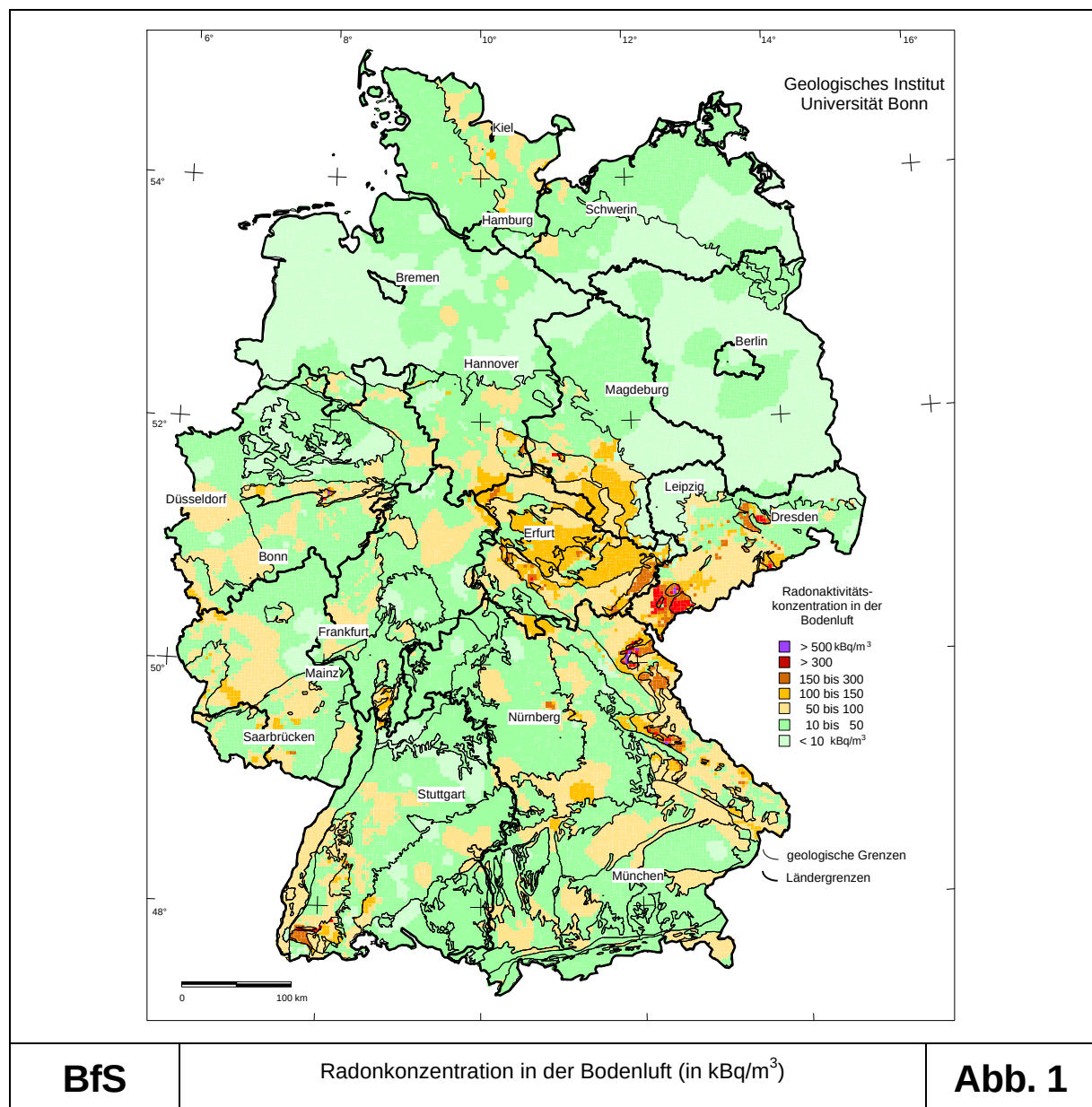
Baumaterialien tragen in Gebieten mit niedrigem Radonpotenzial im Untergrund mit einem Anteil von rund einem Drittel zur Konzentration des Radons in Gebäuden bei, sie sind aber selten die Ursache hoher Konzentrationen. In der Regel ist der Beitrag von Baumaterialien zur Radonkonzentration in Wohnräumen deutlich kleiner als 100 Bq/m^3 . Zu beachten ist aber die Verwendung von Haldenmaterial oder bestimmten Reststoffen der Rohstoffverarbeitung zu Bauzwecken. Infolge der in früheren Zeiten erfolgten Verwendung von Reststoffen als Baumaterial wurden in Einzelfällen Jahresmittelwerte von Radonkonzentrationen bis einige Tausend Bq/m^3 gemessen. Diese Fälle sind zumeist auf Gebiete beschränkt, in denen hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität besondere Rohstoffe gewonnen oder verarbeitet wurden. Es treten auch in diesen Gebieten keine flächenhaften Beeinflussungen der Radonkonzentration in Häusern auf, sondern es wurden nur sporadische Erhöhungen gegenüber den umgebungstypischen Werten festgestellt.

Von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Gebäuden ist das Radon, welches in Wasser gelöst und bei dessen Verwendung in die Raumluft freigesetzt wird. Möglicherweise signifikante Beeinflussungen der Radon-Raumluftkonzentration sind auf eng begrenzte Gebiete und Situationen (z. B. Nutzung individueller Brunnen in Granitgebieten) beschränkt.

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

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

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



Literatur

- /1/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.1990
- /2/ Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: "Das geogene Radonpotenzial in Deutschland – Kartierung und Auswertung mit Geoinformationssystemen". Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschung zum Problemkreis „Radon“, Bonn, Dezember 1999

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.

Durch die Zusammenarbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik mit dem BfS bei der Erteilung von Zulassungen im Sinne des § 21 der Musterbauordnung /1/ 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 entstehenden Exposition zu vermeiden. Deshalb ist bei Materialien mit einer überdurchschnittlich hohen spezifischen Aktivität an radioaktiven Stoffen über eine Weiterverwendung unter Einhaltung der Forderungen des Strahlenschutzes zu entscheiden.

In den Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaften darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt /2/.

Von der Europäischen Kommission wurden 1999 „Strahlenschutzprinzipien bezüglich der natürlichen Radioaktivität von Baumaterialien“ /3/ verabschiedet. Zielsetzung ist eine Harmonisierung der Kontrolle und Bewertung der Radioaktivität in Baustoffen und die Gewährleistung eines möglichst ungehinderten Verkehrs mit Bauprodukten in den Mitgliedsländern im Sinne des oben genannten Bauproduktengesetzes.

Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Fertigbaustoffen variiert in Abhängigkeit von den zu ihrer Herstellung genutzten Materialien erheblich. Infolge der technologischen Prozesse können je nach den physikochemischen Bedingungen, denen die Ausgangsstoffe unterzogen werden, in diesen enthaltene Radionuklide in die Endprodukte übertragen und gegebenenfalls dort angereichert werden. Deshalb kann die Anwendung bestimmter mineralischer Reststoffe als Sekundärrohstoff im Bauwesen zu erhöhten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen. Während die γ -Ortsdosisleistung bei Verwendung konventioneller Baustoffe im Allgemeinen deutlich kleiner als 250 nSv/h ist, können bei Flächen und Gebäuden, bei denen in der Vergangenheit industrielle Reststoffe unkontrolliert eingebaut wurden, je nach Art und Menge des verwendeten Materials erhöhte Ortsdosisleistungen auftreten. In Einzelfällen wurden z. B. bei Bauten mit Steinen aus Schlacken der Verhüttung von Mansfelder Kupferschiefer mehr als 500 nSv/h gemessen.

Wenn mit der Rückstandsverwendung nicht gleichzeitig eine erhöhte Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte verbunden ist, besteht aus der Sicht des Strahlenschutzes bei bereits existierenden Gebäuden im Allgemeinen kein akuter Handlungsbedarf. Zum Beispiel ist die Radonfreisetzung aus Mansfelder Schlackesteinen vernachlässigbar gering.

Untersuchungen und Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind die in Natursteinen, Bindemitteln, Finalbaustoffen und sonstigen Industrieprodukten sowie in industriellen Rohstoffen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 zusammengestellt. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide variiert innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor

allem kieselsäurereiche Magmages Steine, insbesondere Granit, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

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

Literatur

- /1/ Böckenförde, D.: "Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland", 4. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1994, ISBN-3-8041-4219-2
- /2/ 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
- /3/ European Commission: Radiation Protection 112 „Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials“, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000, ISBN 92-828-8376-0

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

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

	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(< 20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(< 20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(< 20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwohle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämmkreide	9		2		26	
Zement (nicht spezifiziert)	97	(23 - 330)	20	(11 - 37)	320	(110 - 500)
Portlandzement	30	(10 - 50)	20	(10 - 40)	200	(100 - 700)
Hüttenzement	60	(20 - 100)	80	(30 - 200)	100	(< 40 - 200)
Tonerdenschmelzzement	150	(100 - 200)	150	(100 - 200)	40	
Kalk, Kalkhydrat	30	(13 - 60)	41	(2 - 93)	150	(20 - 600)
Fertigmörtel, Fertigputz	30	(< 20 - 100)	30	(< 20 - 100)	300	(< 40 - 500)
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
Schlacken						
Cu-Schlacke, alte Produktion	1500	(860 - 2100)	48	(18 - 78)	520	(300 - 730)
Cu-Schlacke, neue Produktion	770	(490 - 940)	52	(41 - 60)	650	(530 - 760)
P-Schlacke	53	(32 - 86)	74	(65 - 82)	170	(58 - 270)
Ni-Schlacke	52		78		76	
Ni-Mn-Schlacke	311		37		710	
Al-Schlacke	14	(12 - 16)	8	(6 - 9)	750	(360 - 960)
Fe-Cr-Si-Schlacke	9		6		10	
Sn-Schlacke	1100	(1000- 1200)	300	(230 - 340)	330	
Siemens-Martin-Schlacke	20		7		22	
Pb-Schlacke	270		36		200	
S-Schlacke	12	(8 - 15)	< 10		58	(30 - 85)
Frischschlacke	19	(17 - 23)	6	(5 - 8)	20	(10 - 34)
Thomasschlacke (Belgien)	19		nicht gemessen		nicht gemessen	
Stahlschlacke	10	(6 - 13)	4	(1 - 7)	11	(1 - 21)
Kupolofenschlacke	110		47		210	
Verblasofenschlacke	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)	nicht gemessen	
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1200)
Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie)	170	(9 - 310)	84	(3 - 250)	130	(1 - 280)
Braunkohlenfilterasche (Ost-deutschland)	82	(4 - 200)	51	(6 - 150)	147	(12 - 610)

	Radium-226		Thorium-232		Kalium-40	
	Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)		Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien						
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)

2.3 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, dass eine Reihe industrieller Prozesse und anderer Arbeiten bei Anwesenheit natürlich radioaktiver Stoffe zu zusätzlichen Strahlenexpositionen von Beschäftigten und zur Veränderung der Umweltradioaktivität führen können.

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

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

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

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

2.3.1 Berufliche Strahlenexposition aus zivilisatorisch veränderten natürlichen Strahlenquellen

Stilllegung und Sanierung des Uranerzbergbaus und der Aufbereitung

Die berufliche Strahlenexposition bei der Urangewinnung in Sachsen und Thüringen und bei den ab 1991 durchgeführten Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten ist im Teil III 1.4 dargestellt. Ursache der dabei auftretenden beruflichen Strahlenexposition sind die Nuklide der Uran-Radium-Zerfallsreihe. Die spezifische Aktivität dieser Nuklide in den bergbaulichen Materialien ist deutlich höher als in Böden und Baumaterialien (Haldenmaterial/Bergematerial im Bereich bis zu 1000 Bq/kg, Rückstände der Uranerzaufbereitung -Tailings- im Bereich von 5 000 bis 15 000 Bq/kg). Die Strahlenexposition wird aber vor allem durch Radon und die kurzlebigen Radonzerfallsprodukte verursacht. Die mittlere jährliche effektive Dosis für die Beschäftigten lag 1999 bei 1,5 mSv (bei Berechnung der effektiven Dosis nach der Dosiskonversionskonvention auf der Grundlage der ICRP Empfehlung Nr. 65 1,1 mSv, siehe auch Teil III 1.4).

Untertägige Bereiche und Anlagen außerhalb der Uranindustrie, Rohstoffgewinnung

In vielen Arbeitsbereichen des Nichturanerzbergbaus, der Bergsicherung, der Schauhöhlen und -bergwerke können ebenfalls hohe Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten auftreten. Die Strahlenexpositionen, die für beschäftigte Personen in den einzelnen Bereichen festgestellt worden sind, werden im Teil III 1.4 beschrieben. Die mittlere jährliche effektive Dosis aller durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern beruflich exponierten überwachten Personen außerhalb der Sanierungsbetriebe des ehemaligen Uranerzbergbaus betrug 1999 4,7 mSv (bei Berechnung mit Hilfe der Dosiskonversionskonvention 2,35 mSv).

Anlagen der Wasserwirtschaft und Radonbäder

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

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

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

Langstreckenflüge in großen Höhen

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

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

Umgang mit thorierten Schweißelektroden

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

Umgang mit Thoriumglühstrümpfen

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

Verwendung von Phosphatdüngemitteln

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

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

Verwendung industrieller Reststoffe als Baumaterial

Haldenmaterial aus dem Erzbergbau

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

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

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

Schlacke des Mansfelder Kupferschiefers

Die Schlacke aus der Verhüttung des Mansfelder Kupferschiefers wurde seit Jahrhunderten für Straßen- und Wasserbau und andere Bauzwecke verwendet, z. T. auch im Wohnungsbau. Seit den 80er Jahren war auch die Verwendung dieser Materialien genehmigungspflichtig und an Auflagen gebunden. Die Schlacke enthält pro Kilogramm im Mittel 700 Bq Ra-226 (Bereich bis 2500 Bq/kg). Je nach Schlackenanteil wurden im Freien wie in Häusern, bei denen Schlackesteine zum Bau verwendet worden waren, Ortsdosisleistungen von 75 bis 750 nSv pro Stunde (Medianwert 250 nSv pro Stunde) gemessen. Bei Annahme realistischer Aufenthaltszeiten ergeben sich dadurch effektive Dosiswerte

von 1 mSv, maximal bis zu 3,2 mSv pro Jahr. Die Radonkonzentration in diesen Räumen ist auf Grund der geringen Exhalationsrate der Schlacke nicht erhöht, so dass sich 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 Straßen und Wegen, die mit Schlackesteinen gebaut worden sind, wird aber kein Handlungsbedarf gesehen.

Verwendung von Reststoffen der Kohleverbrennung

Für den Gehalt der Rohkohlen an Radionukliden der Uran-Radium-Reihe wurden weite Bereiche ermittelt: Der Mittelwert liegt bei 20 Bq Ra-226 pro kg Trockensubstanz (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 verwendeten Kohle wird aus Südafrika, USA und Australien importiert. In diesen Kohlen können bis zu 10fach höhere Uran- und Thoriumgehalte vorkommen. In der ostdeutschen Braunkohle wurden 1 - 13 Bq Ra-226 pro kg 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 freigesetzt werden. Die Exposition durch Inhalation, Ingestion und externe Bestrahlung liegt im μ Sv-Bereich.

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

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

2.3.2 Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

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

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

Durch natürliche Radioaktivität im Trinkwasser werden keine nennenswerten Strahlenexpositionen verursacht (nur einige μ Sv). Nur im selten auftretenden Fall von Radonkonzentrationen im Bereich von 500 Bq/l könnte sich über den Ingestionspfad eine jährliche effektive Dosis von ca. 0,25 mSv ergeben, die praktisch zu einer Verdoppelung der inneren Strahlenexposition durch die Ingestion führen würde. Bei Besuchen von Höhlen und Schaubergwerken sowie bei Kuraufenthalten in Radon-Heilbädern und Heilstollen tritt wegen der gegenüber den Beschäftigten wesentlich kürzeren Expositionszeiten für die Bevölkerung keine wesentlich erhöhte Strahlenexposition auf. Die Besucher sind deshalb von einer Strahlenschutzkontrolle ausgenommen.

Bei Flügen in großen Höhen erhalten auch häufig fliegende Passagiere nur eine jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv.

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

2.4 Bergbauliche Hinterlassenschaften

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für diese Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz führt hierzu seit 1991 das Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)" durch. Mit dem Projekt sollen die bergbaubedingten Hinterlassenschaften (Bergbauobjekte und vom Bergbau beeinflusste Flächen) in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt großräumig erfasst, radiologisch untersucht und im Hinblick auf mögliche Nutzung bewertet werden. Die Bewertung orientiert sich an den einschlägigen Empfehlungen der SSK.

Das Projekt wurde in drei Phasen mit jeweils wachsender Untersuchungstiefe bearbeitet. Dieses abgestufte Vorgehen ermöglichte es, radiologisch unbedenkliche Objekte und Flächen mit Hilfe einfacher Bewertungsverfahren frühzeitig zu erkennen und aufwendige Messprogramme auf radiologisch bedeutende Hinterlassenschaften zu konzentrieren.

Die in den ersten beiden Projektphasen "Altlastenerfassung und Altlastenverifikation" erhobenen und bewerteten Daten wurden 1994 in der für die Ergebnisdokumentation entwickelten Datenbank A.LAS.KA. (Altlastenkataster) zusammengeführt. Vor allem auf der Basis von γ -Ortsdosisleistungsmessungen wurde eine Erstbewertung der bergbaulichen Hinterlassenschaften vorgenommen. Insgesamt ließen diese Untersuchungen bereits erkennen, dass großräumige radioaktive Kontaminationen nicht vorliegen. Bereits in dieser Phase konnten zahlreiche Hinterlassenschaften identifiziert werden, für die keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. Der Bericht über die Ergebnisse der zweiten Projektphase, die in der Datenbank gespeicherten Informationen sowie thematische Übersichtskarten wurden den für den Vollzug des Strahlenschutzes zuständigen Länderbehörden übergeben. Damit verfügten die Vollzugsbehörden bereits zu einem frühen Zeitpunkt über eine wichtige Grundlage zur Bewertung der bergbaubedingten Umweltradioaktivität, die bei Entscheidungen über die weitere Nutzung durch den Bergbau beeinflusster Flächen aber auch über Notwendigkeit und Art von Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden kann.

Für eine Reihe bergbaubedingter Hinterlassenschaften wurden noch weitere Daten benötigt, um eine abschließende Bewertung vornehmen zu können. Die hierfür erforderlichen Untersuchungen erfolgten in der dritten Phase des Projektes. Ziel der dazu durchgeführten Messprogramme war u. a. die möglichst genaue Eingrenzung der Flächen, die bergbaubedingt eine erhöhte Umweltradioaktivität aufweisen, und der spezifischen Aktivität der radioaktiv kontaminierten Materialien bei diesen Hinterlassenschaften. Außerdem wurden Programme zur Ermittlung der Radionuklidkonzentrationen von zur Trinkwasserversorgung genutzten Schacht- und Stollenwässern sowie zur Ermittlung des Bergbaueinflusses auf die Sedimente und Aueböden von Vorflutern abgeschlossen. Im Ergebnis dieser Arbeiten, die 1998 abgeschlossen wurden, liegt eine umfangreiche Datenbasis für die Bewertung der bergbaubedingten Umweltradioaktivität in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt vor.

1999 begann das BfS mit der abschließenden Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Mit den Übersichten, die als Ergebnis dieser Untersuchungen vorliegen, sind nicht nur Aussagen über Art und Anzahl bergbaulicher Objekte und bergbaulich beeinflusster Flächen, sondern vor allem Aussagen über Ausdehnung und Höhe der aus bergbaulichen Tätigkeiten herrührenden Umweltradioaktivität möglich. Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass bergbaubedingte radioaktive Kontaminationen, die sich vom natürlichen Strahlungsuntergrund unterscheiden, nur räumlich begrenzt vorkommen und dass auch die Höhe der Kontaminationen begrenzt ist. Mit bergbaubedingten radioaktiven Kontaminationen, die aus der Sicht des Strahlenschutzes zu beachten sind und für die auch Sanierungsmaßnahmen erforderlich sein können, ist vor allem dort zu rechnen, wo Materialien aus der Erzaufbereitung planmäßig abgelagert oder in industriellen Absetzanlagen deponiert worden sind. Auch bei Halden aus dem Erzbergbau und, beschränkt auf das Revier in und um Freital, aus dem Steinkohleberg-

bau, ist mit Materialien zu rechnen, die eine erhöhte spezifische Aktivität aufweisen. Das Kontaminationsniveau in den Haldenmaterialien ist meist deutlich geringer als in den Aufbereitungsrückständen. Auch in der unmittelbaren Umgebung dieser Deponiestandorte, an Transportwegen und Erzverladestellen ist mit radioaktiven Kontaminationen zu rechnen.

Die Untersuchungen lieferten zudem Hinweise auf zahlreiche zumeist kleine Teilflächen außerhalb dieser Deponiestandorte und Objekte, die durch die gezielte Verwendung von Materialien aus dem Bergbau und der Erzaufbereitung, aber auch durch „wilde“ Deponierung, z. B. von Schlacken und Aschen in den Gebieten um Mansfeld und Freital, ebenfalls radioaktiv kontaminiert sind. Da Haldenmaterialien oder Rückstände der Erzaufbereitung, insbesondere Schlacken aus der Kupferverhüttung über Jahrhunderte auch zur Geländeregulierung, zur Befestigung von Wegen oder Plätzen oder zum Straßenbau verwendet worden sind, existieren auch an diesen Stellen häufig radioaktive Kontaminationen. Auch in den anderen Bergbaugebieten wurden Flächen angetroffen, die auf diese Weise radioaktiv kontaminiert worden sind, da die Verwendung von Rückständen aus dem Bergbau und der Erzaufbereitung in den Bergbaugebieten immer üblich war. Die Behörden in den Bergbauregionen sollten daher immer mit radioaktiven Kontaminationen rechnen, wenn „suspekte“ Materialien angetroffen werden. Das gilt vor allem bei der Auswahl und Beurteilung von Baustandorten.

Durch die Arbeiten im Rahmen des Projektes wurden zwar für viele Objekte radioaktive Kontaminationen festgestellt, jedoch konnte durch die radiologische Bewertung an Hand der Kriterien, die sich an den einschlägigen SSK-Empfehlungen orientieren und die für die Bewertung sehr konservativ angewendet wurden, eine zahlenmäßig große Gruppe von Objekten identifiziert werden, für die aus Strahlenschutzgründen keine Maßnahmen erforderlich sind, da Strahlenexpositionen über 1 mSv/a ausgeschlossen werden können. Aus dem gleichen Grund müssen auch bei einer weiteren Gruppe von Objekten keine Strahlenschutzmaßnahmen erwogen werden, allerdings unter der einschränkenden Bedingung, dass die aktuelle Nutzung nicht verändert wird. Bei Änderungen der Nutzung ist für diese Objekte eine erneute Prüfung erforderlich. Die zuständigen Landesbehörden sollten dafür im Einzelfall eine Neubewertung vornehmen, ggf. müssten noch zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden.

Für eine gemessen an der Gesamtzahl relativ kleine Gruppe bergbaulicher Objekte weisen die Ergebnisse der Untersuchungen darauf hin, dass von ihnen Strahlenexpositionen über 1 mSv pro Jahr ausgehen könnten. Sie sind deshalb im Sinne des Projektes radiologisch relevant. Die Einordnung als relevante Objekte ist jedoch nicht gleichbedeutend mit der Entscheidung über die Notwendigkeit einer Sanierung, die in jedem Falle nur auf der Grundlage einer standortspezifischen Prüfung (Bewertung der tatsächlich existierenden Expositionspfade) getroffen werden sollte. Für die Mehrzahl der Objekte werden die Daten aus den Untersuchungsprogrammen des Projektes für diese Prüfungen bereits ausreichend sein, je nach Datenlage kann es aber auch erforderlich sein, dass die Landesbehörden dafür noch zusätzliche Untersuchungen anordnen. Wegen der Konservativität bei der Ableitung und Anwendung der radiologischen Kriterien, z. B. wegen der Verwendung der Fläche und des Volumens der deponierten Materialien als gleichrangige Kriterien für die radiologische Relevanz, kann man davon ausgehen, dass die Anzahl derjenigen Objekte, für die aus Strahlenschutzgründen tatsächlich Sanierungsmassnahmen erforderlich sind, deutlich geringer sein wird als die, die im Ergebnis des Projektes als relevant ausgewiesen worden ist.

In einigen Fällen können nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen auch deutliche Überschreitungen des Richtwertes der Strahlenexposition von 1 mSv/a auftreten. Es handelt sich dabei vor allem um Objekte, für die ODL-Werte > 1000 nSv/h oder Werte der spezifischen Aktivität von über 2000 Bq/kg festgestellt worden sind. Die für Belange des Strahlenschutzes zuständigen Landesbehörden wurden bereits im Verlaufe des Projektes über diese Ergebnisse informiert und damit in die Lage versetzt, auf den Untersuchungen aufbauend schnell die erforderlichen standortspezifischen Prüfungen durchzuführen und ggf. Maßnahmen z. B. zur Beräumung oder Abdeckung von Flächen einzuleiten oder Zutritts- oder Nutzungsbeschränkungen zu veranlassen.

Aus den Untersuchungen folgt ferner, dass bergbaubedingte radioaktive Kontaminationen auch außerhalb der systematisch untersuchten Verdachtsflächen vorkommen können. Nach den vorliegenden Informationen ist die Anzahl der als kontaminiert zu betrachtenden bergbaulichen Objekte, vor allem aber die Anzahl der relevanten Objekte dort allerdings wesentlich kleiner. Die Landesbehörden sollten sich durch einfache Untersuchungsprogramme einen Überblick über die jeweilige Situation verschaffen. Die Erfahrungen aus dem Projekt können bei der Planung der Untersuchungen nützlich sein.

Für die Datenhaltung und für Auswertungen und Präsentationen der Untersuchungsergebnisse wurde parallel zu den Untersuchungsprogrammen das Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltra-dioaktivität (FbU) entwickelt. Sein Aufbau wurde 1999 abgeschlossen. Außer den bereits in der Daten-bank A.LAS.KA. enthaltenen Informationen enthält das FbU die Daten aller Messprogramme. Durch die Anbindung an ein geographisches Informationssystem wurden umfangreiche Möglichkeiten für eine effektive Aus- und Bewertung der Daten und Informationen geschaffen. Die detaillierte Bewertung der einzelnen Verdachtsflächen und Untersuchungsgebiete ist noch im Gange, ebenso die Bearbei-tung der Abschlussberichte für diese Flächen.

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

Für die flächendeckende Ermittlung der Radioaktivität in Luft und Niederschlag betreibt der Deutsche Wetterdienst (DWD) ein Messnetz von 40 Stationen. Dadurch ist eine kontinuierliche Überwachung im Routinebetrieb und im Fall von Radioaktivitätsfreisetzungen nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) gewährleistet. Die Ergebnisse der Einzelnuklidmessungen der Luft aus dem Messnetz des DWD werden täglich an den Rechnerverbund IMIS weitergeleitet, so dass im Sinne des StrVG eine kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität der Atmosphäre gewährleistet ist. Im Rahmen dieses Berichtes kann die Vielzahl sämtlicher Einzelmesswerte nicht dokumentiert werden. Die Abbildungen und Tabellen stellen daher repräsentative Beispiele dar. Die Einzelwerte sind in der Leitstelle verfügbar. Für diesen Bericht wurden deshalb Messwerte des DWD von einigen repräsentativen Messpunkten ausgewählt. Zusätzlich sind hier Messergebnisse des Instituts für Atmosphärische Radioaktivität des Bundesamtes für Strahlenschutz (IAR), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München - Neuherberg aufgenommen.

Die 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.

Die Aktivitätskonzentrationen künstlicher Radionuklide in Luft und Niederschlag sind im Jahr 1999 gegenüber denen des Vorjahres weitgehend unverändert geblieben. Die Werte lagen 1999 in der Regel nur noch wenig über dem Pegel, der vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl gemessen wurde.

Radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre

In dem Zeitraum vom 18.10. - 25.10.1999 wurden an der Spurenmessstation des IAR auf dem Schauinsland (47,9 °N, 7,9 °E, 1205 m ü. NN) erhöhte Aktivitätskonzentrationen von **Cäsium-137** und **Strontium-90** in der Luft gemessen. Sowohl der Messwert für Cs-137 von 6,5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (Abb. 1) als auch der für Sr-90 von 1,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ liegen etwa um den Faktor 10 über dem jeweiligen Untergrundpegel der Messstation. Das sich daraus ergebende Verhältnis der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 zu Sr-90 lässt keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Quelle der Erhöhung zu. Von anderen europäischen Stationen sind aus diesem Zeitraum keine vergleichbaren Erhöhungen der Cs-137 Aktivitätskonzentration bekannt. Die Rückwärtstrajektorien für diesen Zeitraum zeigen auf Grund ständig wechselnder Windrichtungen keinen eindeutigen Ursprung. Als mögliche Ursache für die beobachteten Messwerte kommt Resuspension in Betracht, welche sowohl großräumig als auch lokal begrenzt auftreten kann.

Von der PTB wurden in Quartalsproben Aktivitätskonzentrationen in Luft für die Alphastrahler **Plutonium-238** sowie **Plutonium-239/240** bestimmt. Diese extrem niedrigen Aktivitätskonzentrationen im Nanobecquerelbereich gehen hauptsächlich noch auf oberirdische Kernwaffenversuche (bis 1980) zurück. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt. Für Pu-239/240 erkennt man seit Jahren einen langfristigen abnehmenden Trend.

Die am IAR durchgeführten Messungen der radioaktiven Edelgase ergaben keine auffälligen Ergebnisse. Die Messwerte der Aktivitätskonzentrationen von **Xenon-133** an den deutschen Stationen lagen wie schon in den vergangenen Jahren zwischen 1 und 100 mBq/m^3 . Mit 60 mBq/m^3 wurde der höchste Wochenmittelwert im Jahr 1999 an einer deutschen Station in der 52. Kalenderwoche in Offenbach (50° 06' N, 8° 46' E) gemessen. Der Medianwert am Probenahmeort Freiburg betrug 2,5 mBq/m^3 Luft (vgl. Abb. 3).

Der Grundpegel von **Krypton-85** ist im Jahr 1999 weiter leicht angestiegen (vgl. Abb. 4); er lag für die mitteleuropäischen Stationen bei 1,3 Bq/m^3 . Der jährliche Anstieg von ca. 30 mBq/m^3 entspricht dem globalen Trend. Dies zeigt, dass die Freisetzungsrates von Kr-85 größer ist als seine Zerfallsrate. Die kurzzeitigen Schwankungen, die ein Vielfaches des jährlichen Anstiegs des Grundpegels ausmachen

können, sind auf europäische Wiederaufbereitungsanlagen (La Hague/Frankreich und Sellafield/England) zurückzuführen. Der höchste Wochenmittelwert im Jahr 1999 an einer deutschen Station wurde in der 20. Kalenderwoche in Offenbach mit $4,7 \text{ Bq/m}^3$ gemessen.

Derartige kurzzeitige Erhöhungen können mit Hilfe der parallel zur wöchentlichen Probennahme durchgeführten täglichen Probennahme genauer analysiert werden. In einigen Fällen - abhängig von den meteorologischen Verhältnissen - ist es möglich, unter Zuhilfenahme von Trajektorienrechnungen den Emittenten zu bestimmen. Die Summe der Beiträge von Kr-85 und Xe-133 zur Ortsdosisleistung liegt unter 30 nSv/h und ist gegenüber dem durchschnittlichen Werten für die Ortsdosisleistung in der Bundesrepublik Deutschland vernachlässigbar (vgl. Abb. 10).

Die Spurenmessstelle Schauinsland ist Bestandteil des Internationalen Messnetzes IMS (International Monitoring System), welches der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) dient. An dieser Station soll neben einer Apparatur zum Nachweis luftgetragener, partikelgebundener Radioaktivität auch ein Edelgasmesssystem installiert werden. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Internationalen Vertragsorganisation in Wien (CTBTO) werden zur Zeit Vergleichsmessungen mit verschiedenen Edelgasmesssystemen am IAR durchgeführt. Sie dienen dem Nachweis, dass die Systeme den fachlichen Anforderungen des IMS gerecht werden. Das Vergleichsexperiment wird im Jahr 2001 abgeschlossen sein.

Die Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft wird vom DWD sowohl täglich als auch wöchentlich gemessen. Die Nachweisgrenzen liegen bei 10 mBq/m^3 . Neben den hier ausgewählten Messergebnissen der DWD-Messstellen in Aachen, Berlin, Offenbach und Schleswig sind Ergebnisse des IAR am Probenahmeort Schauinsland, der PTB in Braunschweig und der GSF in München in den Tabellen aufgeführt.

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

Als über 10 Messstationen errechneter arithmetischer Mittelwert der langlebigen **Gesamt-b-Aktivität** der Luft resultiert für 1999 ein Wert von $<0,9 \text{ mBq/m}^3$ (Vorjahreswert 1998: $<0,97 \text{ mBq/m}^3$).

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

Radioaktive Stoffe im Niederschlag

Anhand von Monatssammelproben wurden γ -spektrometrisch für 40 Messstationen die Einzelnuclide im Niederschlag gemessen. Die Messwerte der Radionuklide Be-7 und Cs-137 für die Messstellen Aachen, Berlin, München, Offenbach und Schleswig sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es wurden Messwerte für Cs-137 zwischen $0,5$ und 5 mBq/l ermittelt. In dieser Größenordnung liegt auch die Nachweisgrenze des Messverfahrens. Exemplarisch zeigt Abbildung 6 für die Messstationen Offenbach und Berlin Messergebnisse für Be-7 und Cs-137. Für Cs-137 wurden Messwerte von ca. 1 mBq/l bzw. Nachweisgrenzen in dieser Größenordnung ermittelt, während für kosmogenes Be-7 deutlich höhere Messwerte zwischen 1 und $3,5 \text{ Bq/l}$ bestimmt wurden.

Zur Fortsetzung einer langjährigen Messreihe wurde die Aktivitätskonzentration der **Gesamt-b-Aktivität** im Niederschlag ermittelt. Danach wurde ein über 45 Mess- und Sammelstationen arithmetisch gemittelter Jahreswert von 81 mBq/l (Vorjahreswert 1998: 72 mBq/l) errechnet. Unter Berücksichtigung der Monatsniederschlagshöhen resultiert daraus ein Mittelwert für die Deposition von 67 Bq/m^2 (Vorjahreswert 1998: 59 Bq/m^2). Die Messwerte bewegen sich im Niveau der Werte vor dem Tschernobyl-Unfall, das heißt im Bereich der natürlichen Schwankungen. Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Verlauf

der über alle Messstellen gemittelten Jahressummen der dem Boden durch Niederschlag zugeführten Gesamt- β -Aktivität von 1957 bis 1999 in Bq/m². Die stationsspezifischen Depositionen im Jahr 1999 als Jahressummenwerte in Bq/m² zeigt Abbildung 8 (siehe im Vergleich die Vorjahreswerte Abb. 9).

Im Labor wurden radiochemische Analysen der Niederschlagsproben von 8 Messstationen zur Bestimmung von **Strontium-90** und einzelner Alphastrahler (**Uran, Plutonium**) sowie für **Tritium** im Niederschlag durchgeführt. Für die Monate Oktober und November wurden an den Stationen Angermünde, Arkona, Berlin und Gera erhöhte Konzentrationen von U-234 und U-238 bis zu Werten von 1,3 mBq/l festgestellt. Auf Grund der Isotopenverteilung und der meteorologischen Situation im betrachteten Zeitraum sind als Quellen die Abraumhalten des Uranbergbaus in Sachsen zu vermuten.

ODL-Messnetz des BfS

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 im Boden an natürlichen Radionukliden sowie der mit der Höhe zunehmenden kosmischen Strahlung. Typische Werte für die γ -Ortsdosisleistung in Norddeutschland liegen zwischen 75 und 105 nSv/h, entsprechend einer Jahresdosis von 0,67 bzw. 0,9 mSv, während in den Mittelgebirgen Werte bis zu 230 nSv/h (Jahresdosis 2 mSv) beobachtet werden (vgl. Abb. 10, Karte der mittleren γ -Ortsdosis 1999). Dabei beträgt der Anteil durch kosmische Strahlung in Meereshöhe 32 nSv/h (Jahresdosis ca. 0,3 mSv); dieser Wert verdoppelt sich etwa alle 1500 m. Die auf den Reaktorunfall von Tschernobyl zurück zu führenden Beiträge (praktisch ausschließlich von Cs-137) werden routinemäßig auch an den Sondenstandorten mit In-situ Messfahrzeugen nuklidspezifisch ermittelt. Wegen der hohen Variabilität des natürlichen Untergrundes sind diese Gegenden aus der Kartendarstellung praktisch nicht erkennbar. Kurzzeitige, meist lokal auftretende Erhöhungen der γ -Ortsdosisleistung, die insbesondere bei starken Niederschlägen in den Sommermonaten zu beobachten sind, sind auf das Auswaschen von Radon-Folgeprodukten aus der Luft zurückzuführen. Üblicherweise sind dabei nur wenige Messstellen betroffen und es stellen sich innerhalb weniger Stunden wieder die für die betroffenen Standorte typischen Werte ein.

Tabelle 1 Einzelnuklid-Aktivitätskonzentrationen in der bodennahen Luft

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)				
	Be-7	Na-22	K-40	Cs-137	Pb-210
1992	3090	0,34	11,7	1,33	273
1993	3145	0,32	10,3	1,06	379
1994	3390	0,33	10,1	0,86	298
1995	2600	0,27	7,2	0,41	177
1996	2500	0,33	7,6	0,40	238
1997	3669	0,37	11,0	0,73	372
1998	3235	0,35	8,4	0,63	298
1999	3361	0,43	8,8	0,50	319
Januar	2627	0,23	4,1	0,32	211
Februar	2289	0,25	3,9	0,24	325
März	2496	0,31	6,3	0,46	299
April	3553	0,56	9,5	0,82	433
Mai	5636	0,95	13,0	0,80	318
Juni	3767	0,64	6,6	0,23	184
Juli	4511	0,66	10,7	0,61	294
August	4683	0,53	11,9	0,68	305
September	4168	0,38	14,1	0,74	607
Oktober	2398	0,19	7,3	0,39	317
November	1979	0,16	5,6	0,48	390
Dezember	2222	0,19	12,7	0,22	148

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)				
	Be-7	Na-22	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1992	3858	0,4	0,6	7	580
1993	3900	0,4	0,3	4,6	560
1994	3500	0,4	< 0,2	2,3	420
1995	3500	0,4	< 0,12	2,3	425
1996	3300	0,4	0,1	2,4	480
1997	3400	0,4	< 0,1	2,2	480
1998	3660	0,5	< 0,11	2,1	400
1999	3320	0,4	< 0,06	1,5	380
Januar	2790	0,2	< 0,05	4,1	570
Februar	2670	0,3	< 0,06	1,5	230
März	2470	0,4	< 0,06	1,7	330
April	2630	0,3	< 0,07	1,1	290
Mai	4800	0,9	< 0,05	1,3	340
Juni	4060	0,7	< 0,06	0,5	285
Juli	4430	0,6	< 0,04	0,9	380
August	4630	0,6	< 0,06	0,9	360
September	3760	0,4	< 0,05	1,1	625
Oktober	2490	< 0,2	< 0,06	1,6	425
November	2090	< 0,2	< 0,06	2,1	490
Dezember	1980	< 0,3	< 0,09	1,5	195

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

Zeit- raum	Aktivitätskonzentration ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)							
	Schleswig		Offenbach am Main		Berlin		Aachen	
	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137	Be-7	Cs-137
1992	2540	<10	2757	<2,7	2598	<1,5	2770	<10
1993	2570	<10	3076	<2,7	2928	<2,5	2940	<10
1994	2720	<10	3789	<2,7	3001	<1,8	3920	<1,6
1995	3028	<3,9	3667	<3,6	3772	<3,6	3942	<2,3
1996	3080	<4,4	2850	<3,6	3360	<2,1	3480	<2,4
1997	3368	<3,1	3709	<3,4	3751	<2,2	3878	<2,1
1998	2646	<3,4	3443	<3,1	3066	<2,2	3140	<2,0
1999	2750	<3,6	3460	<3,0	3590	<3,3	3360	<1,8
Januar	2290	<2,6	2400	<2,7	2550	<1,8	2300	<1,9
Februar	1890	<2,8	2390	<2,1	2170	<1,6	2440	<1,7
März	2420	<3,4	2420	<2,6	2290	< 1,9	2720	<1,9
April	2610	<3,9	3470	<3,2	3480	2,1	3390	<1,8
Mai	3870	<4,3	5910	<3,5	6040	<3,6	5200	1,6
Juni	2860	<3,7	4320	<2,9	4620	<3,7	3530	<1,7
Juli	3510	<4,5	4670	<3,6	5050	<4,1	4640	<2,2
August	4400	<3,9	4570	<3,1	5170	<4,6	4240	<1,9
Sept.	3530	3,0	4090	<4,3	4570	<4,4	3780	<1,8
Oktober	2050	<4,0	2650	<3,3	2750	<4,8	3150	<1,9
November	1760	<3,6	2150	<2,9	2200	<4,1	2330	<1,8
Dezember	1780	<2,8	2460	<2,2	2210	<3,3	2660	<1,8

- d) Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz - Institut für Atmosphärische Radioaktivität - Freiburg
Probenahmestellen: Messstation Schauinsland (Werte in $\mu\text{Bq pro m}^3$)

Zeitraum	Aktivitätskonzentration ($\mu\text{Bq/m}^3$)	
	Be-7	Cs-137
1991	2854	1,07
1992	2998	1,3
1993	3390	0,81
1994	3525	0,61
1995	3348	0,63
1996	3454	0,4
1997	4916	0,6
1998	4488	1,0
1999	4106	0,63
Januar	3280	0,41
Februar	2676	0,48
März	3519	0,61
April	3608	0,49
Mai	5512	0,63
Juni	5071	0,43
Juli	5722	0,67
August	5618	0,36
September	4869	0,42
Oktober	3471	2,11
November	2668	0,48
Dezember	3263	0,49

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

Zeitraum	Aktivitätskonzentration (mBq/m^3)			
	Freiburg		Schauinsland	
	Kr-85	Xe-133	Kr-85	Xe-133
1991	1206	7	1211	5
1992	1132	5	1118	6
1993	1205	4,7	1243	5,4
1994	1301	4	1327	5
1995	1526	5,0	1544	5,5
1996	1438	5,1	1466	5,9
1997	1580	5,8	1590	6,8
1998	1623	5,1	1619	4,3
1999	1699	3,6	1736	5,0
Januar	1423	2,8	1441	4,2
Februar	2145	3,2	2099	3,2
März	1980	3,7	1917	3,9
April	1697	8,3	1752	7,2
Mai	2021	1,7	2060	5,8
Juni	1658	4,2	1717	6,0
Juli	1372	2,1	1421	2,9
August	1393	5,8	1418	9,4
September	1608	2,1	1629	3,2
Oktober	1788	1,9	2038	4,1
November	1776	5,4	1800	7,0
Dezember	1525	2,2	1542	3,5

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

Zeitraum	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)			
		Be-7	Cs-134	Cs-137	Pb-210
1992	820,6	1790	< 1,1	10,7	170
1993	984,8	2520	0,79	6,4	250
1994	859,3	2010	< 0,5	3,8	190
1995	959,9	2000	< 0,6	4,28	210
1996	867,9	2010	< 0,4	3,5	250
1997	754,1	2000	< 0,4	2,8	140
1998	846,7	2000	< 0,4	2,9	175
1999	1009,8	1820	< 0,4	2,0	*
Januar	59,0	72	< 0,04	0,07	3,9
Februar	93,5	150	< 0,04	0,17	4,7
März	97,1	64	< 0,04	0,13	6
April	70,6	110	< 0,04	0,12	2,6
Mai	160,7	350	< 0,03	0,41	24
Juni	88,1	220	< 0,04	0,14	12
Juli	80,1	210	< 0,04	0,12	15
August	70,5	220	< 0,04	0,08	*
September	62,5	120	< 0,03	0,07	*
Oktober	34,8	89	< 0,04	0,31	*
November	86,9	100	< 0,04	0,17	*
Dezember	106,0	110	< 0,04	0,21	*

* : Analysen noch nicht abgeschlossen

b) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

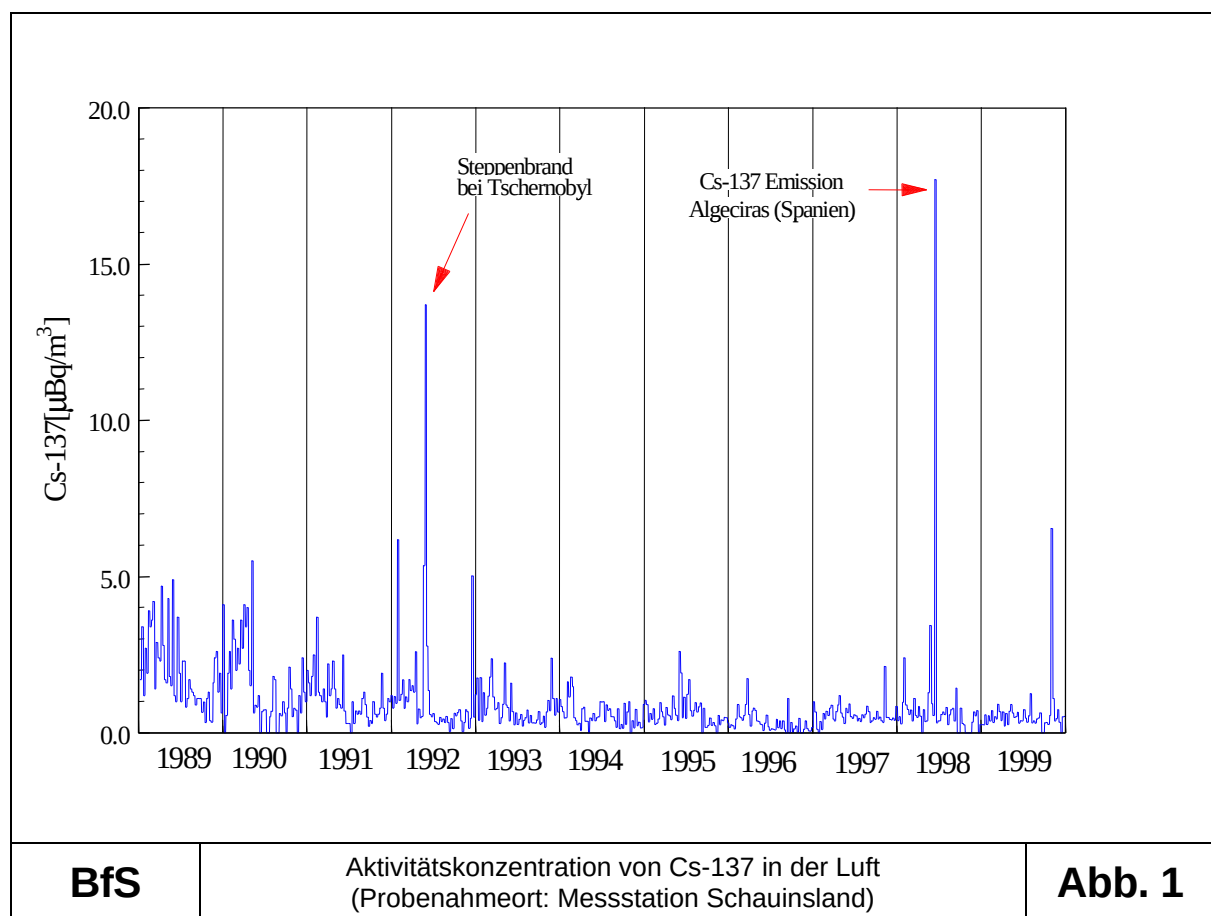
Zeitraum	Offenbach am Main			Berlin		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1992	526,0	734	<0,95	591,9	899	<0,82
1993	597,0	831	<1,52	619,2	971	<0,76
1994	533,3	849	<0,61	703,6	991	<0,47
1995	607,3	1117	<0,84	925,8	1258	<0,83
1996	551,0	559	<0,42	462,9	629	<0,67
1997	436,2	580	<0,53	526,2	628	<1,25
1998	636,5	813	<0,61	623,5	766	<1,50
1999	645,3	832	<0,60	449,2	408	<1,30
Januar	46,6	43	<0,04	35,3	40	<0,11
Februar	26,5	46	<0,04	62,5	58	<0,13
März	44,3	51	0,05	49,2	43	<0,12
April	44,9	60	<0,05	37,9	43	<0,11
Mai	35,4	64	0,05	26,7	23	<0,10
Juni	51,0	81	0,04	45,0	53	<0,10
Juli	111,1	164	<0,08	26,6	21	<0,12
August	110,5	141	0,06	41,4	33	<0,10
September	36,2	46	<0,04	10,2	13	<0,09
Oktober	26,5	36	<0,05	17,4	11	<0,13
November	41,5	47	<0,05	25,6	21	<0,10
Dezember	70,8	52	<0,05	71,4	48	<0,10

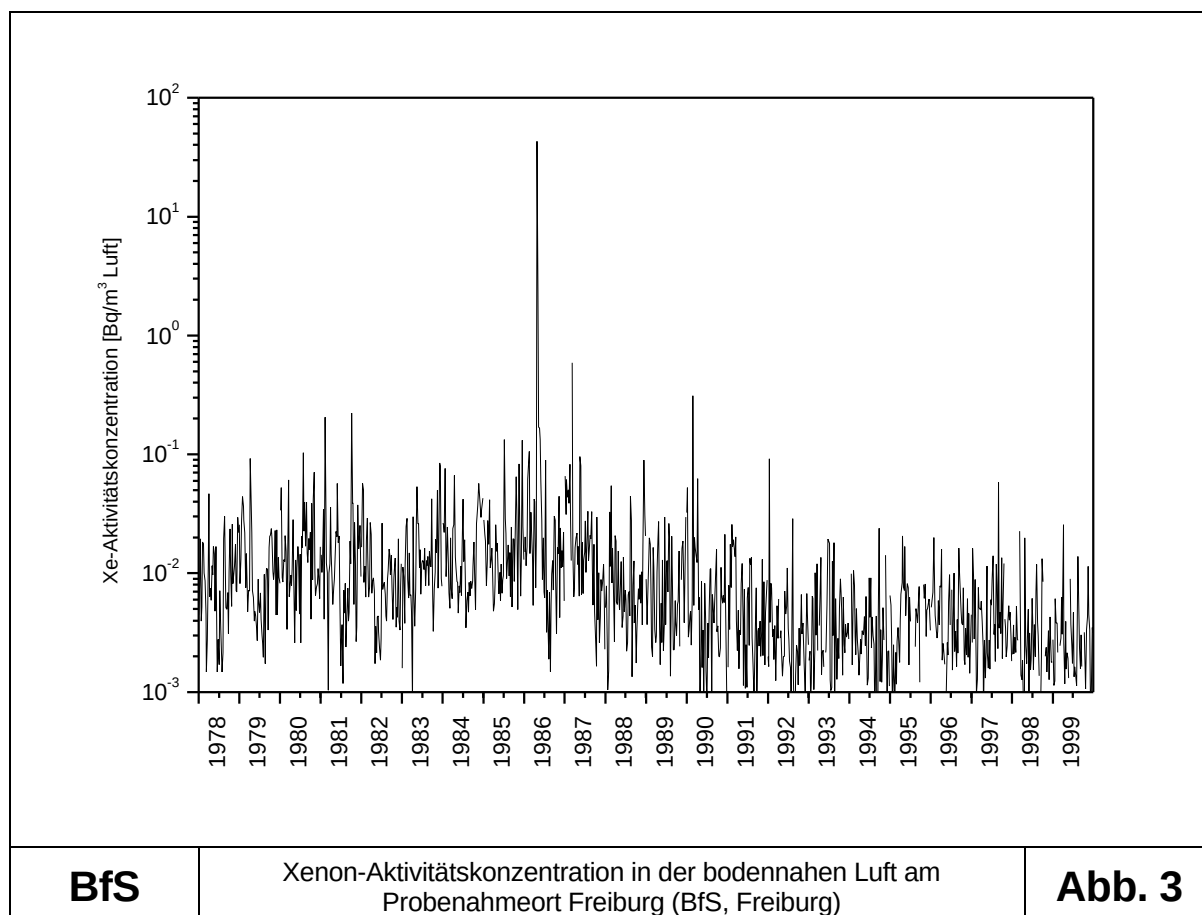
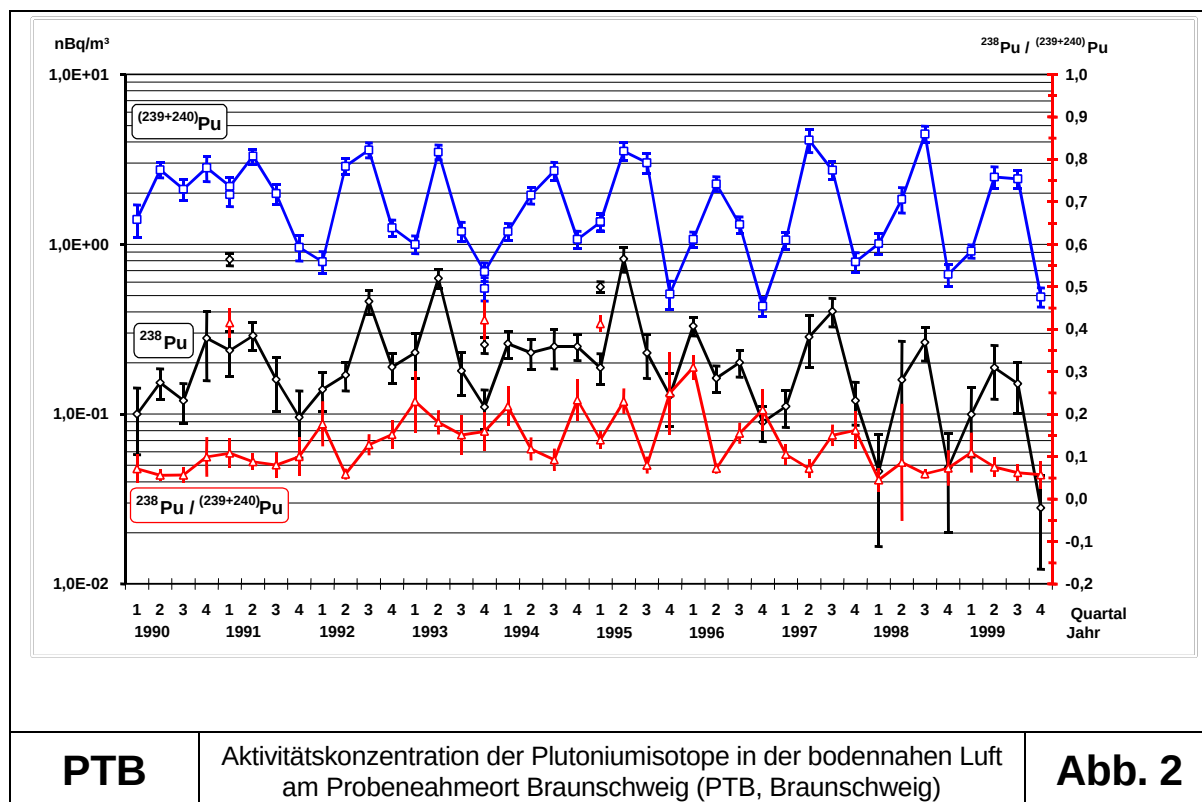
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

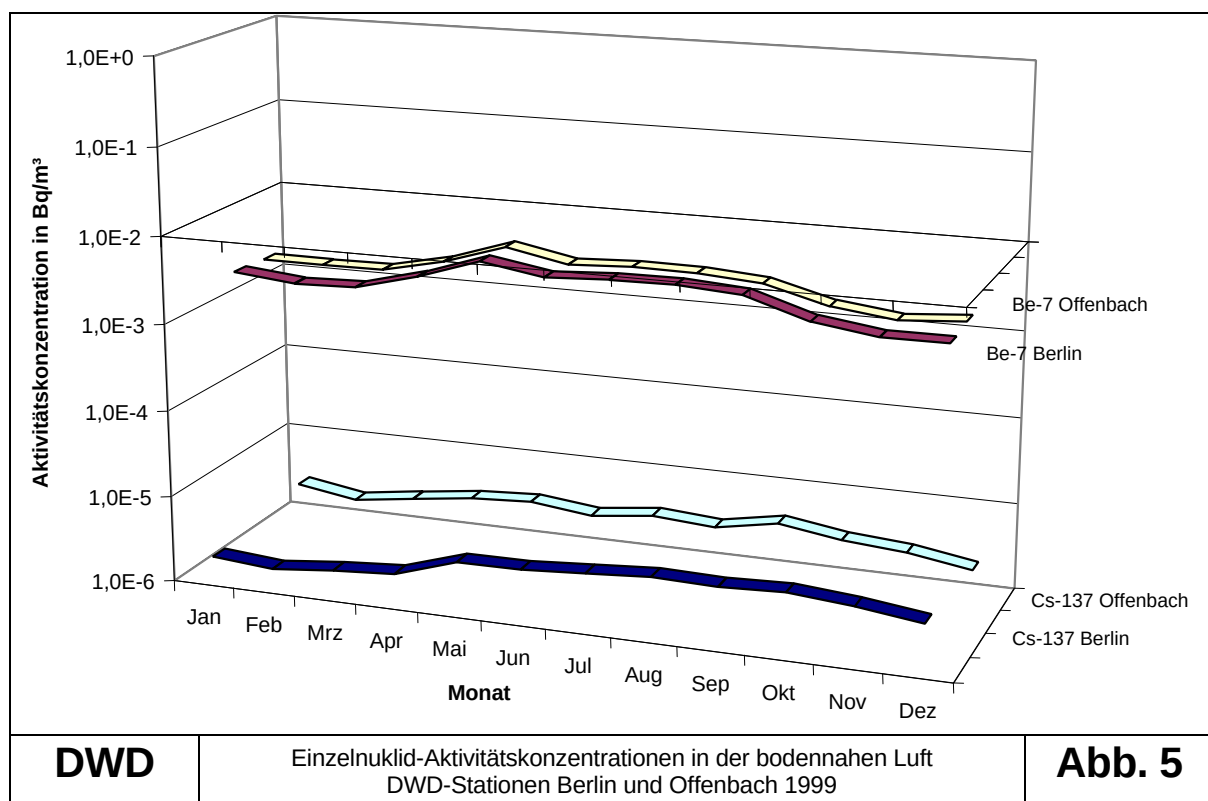
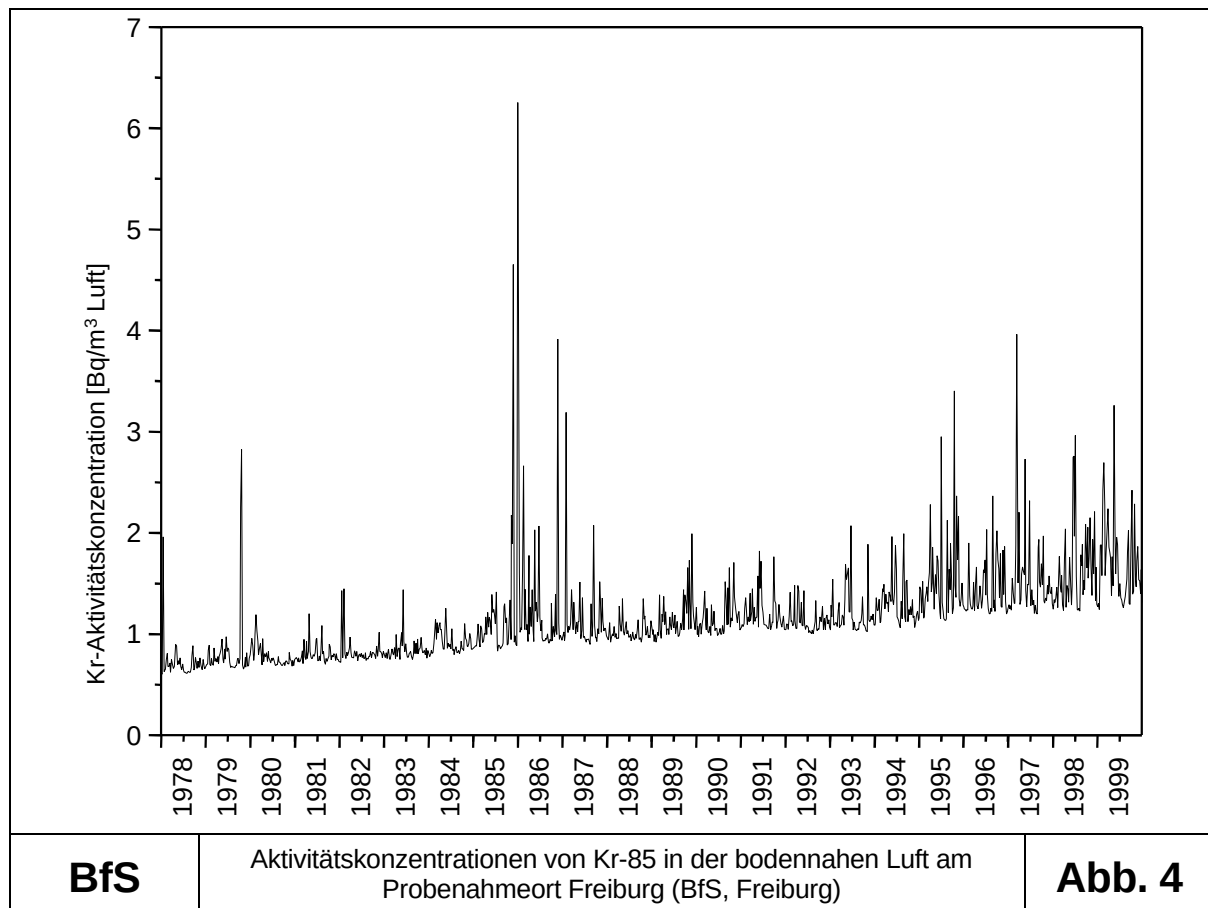
c) Messungen des Deutschen Wetterdienstes

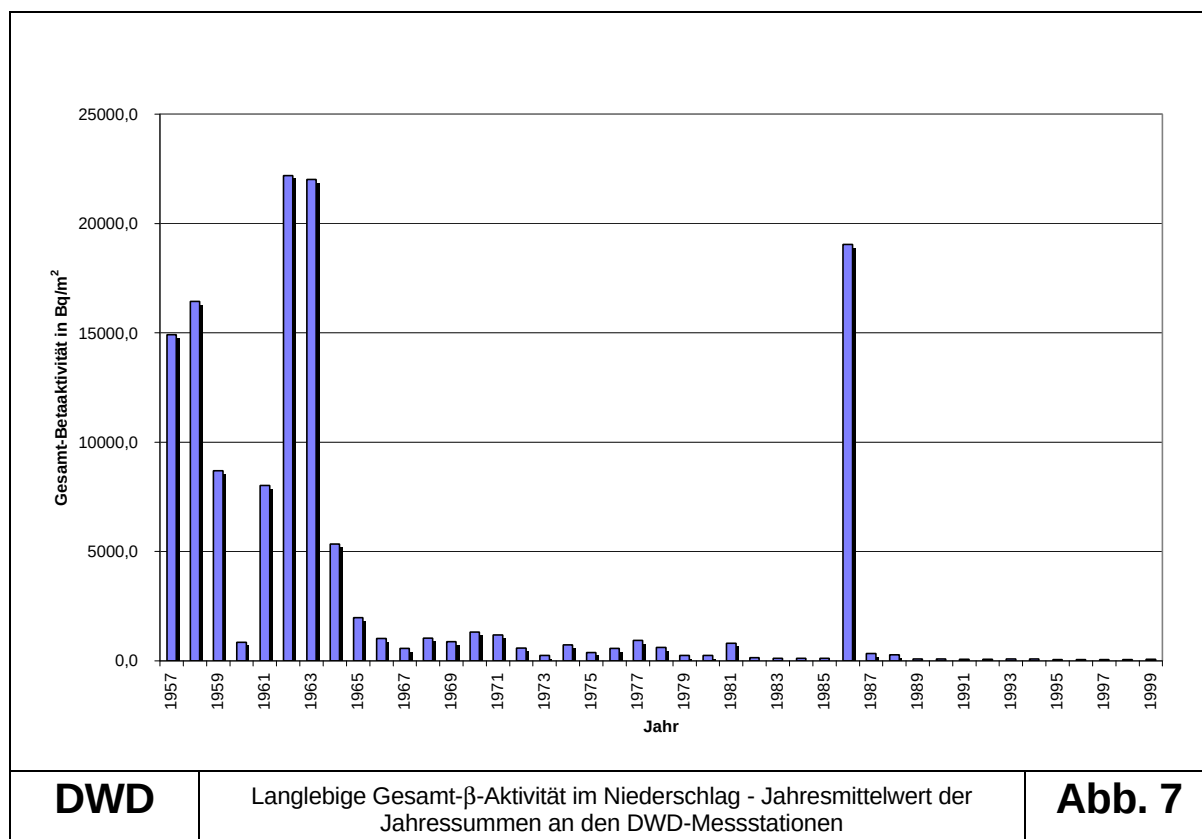
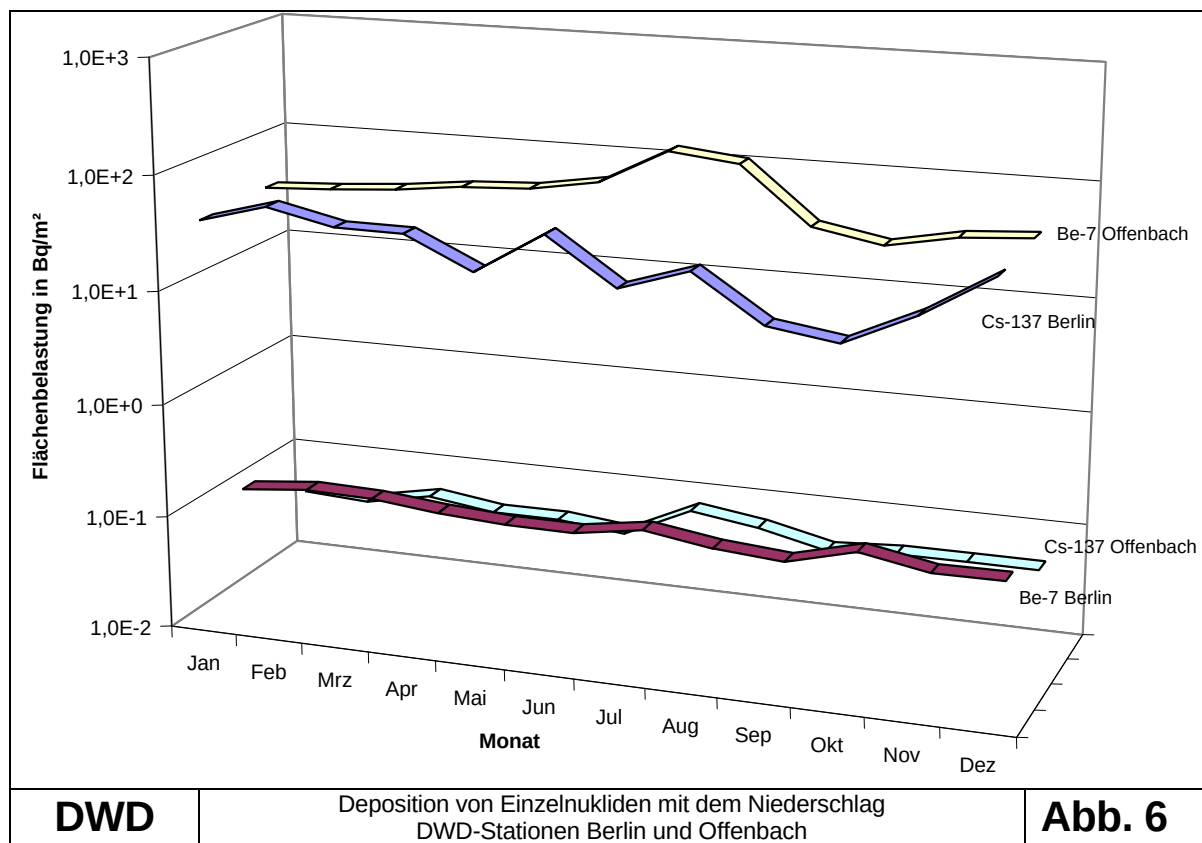
Zeitraum	Aachen			Schleswig		
	l/m ²	Deposition (Bq/m ²)		l/m ²	Deposition (Bq/m ²)	
		Be-7	Cs-137		Be-7	Cs-137
1996	626,6	2080	0,03	530,6	611	<0,56
1997	658,1	904	<0,88	638,4	582	<0,79
1998	892,6	1251	<0,96	1049,1	820	<1,14
1999	833,1	1005	<1,01	908,0	766	<1,05
Januar	92,4	69	<0,09	104,1	120	0,08
Februar	83,6	62	<0,08	66,0	53	<0,12
März	61,2	117	<0,09	75,3	34	<0,12
April	71,2	157	<0,08	35,2	32	0,06
Mai	64,7	100	<0,05	34,7	37	<0,09
Juni	81,7	66	<0,09	80,2	87	0,05
Juli	43,1	64	<0,10	70,1	48	<0,12
August	51,7	58	<0,04	81,2	72	<0,09
September	58,2	50	<0,10	64,6	78	0,07
Oktober	47,9	72	<0,09	86,4	61	<0,06
November	50,6	111	<0,11	30,1	29	<0,11
Dezember	126,8	111	<0,09	180,1	115	<0,10

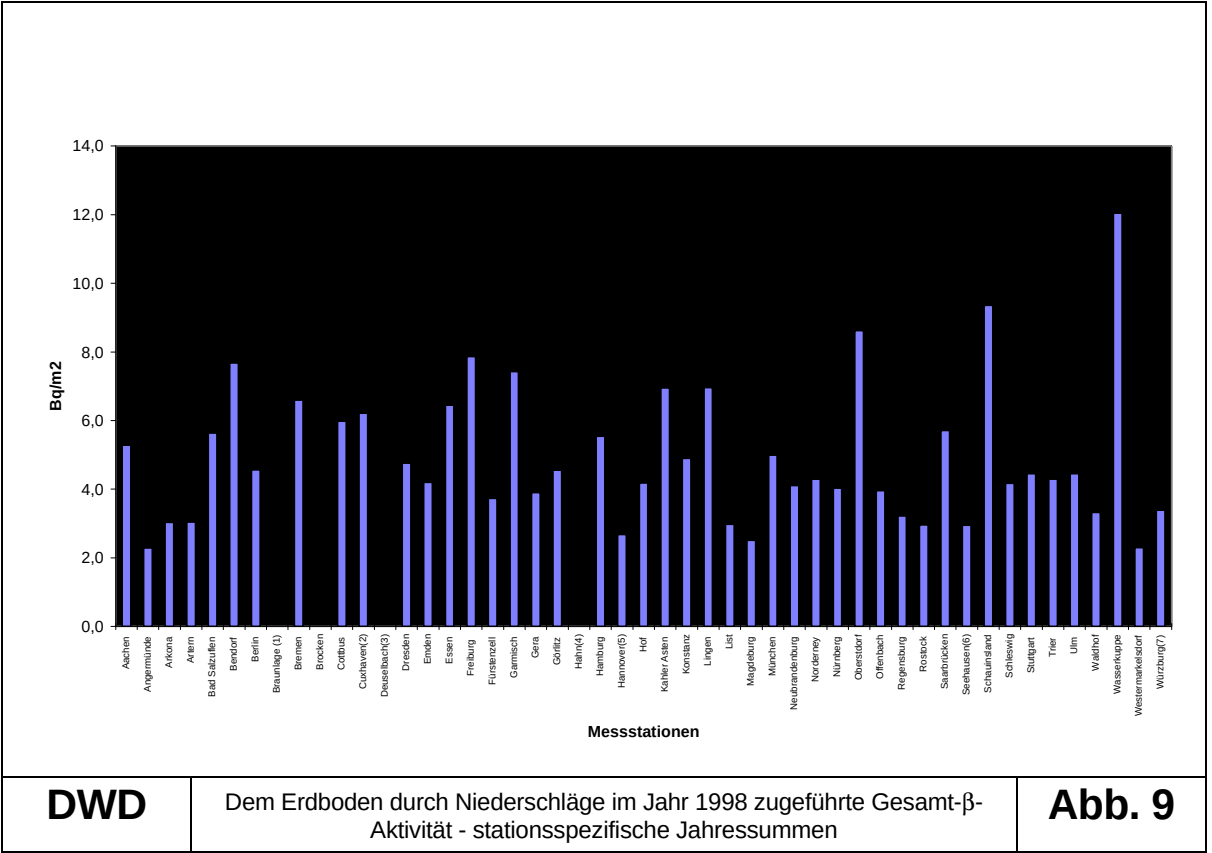
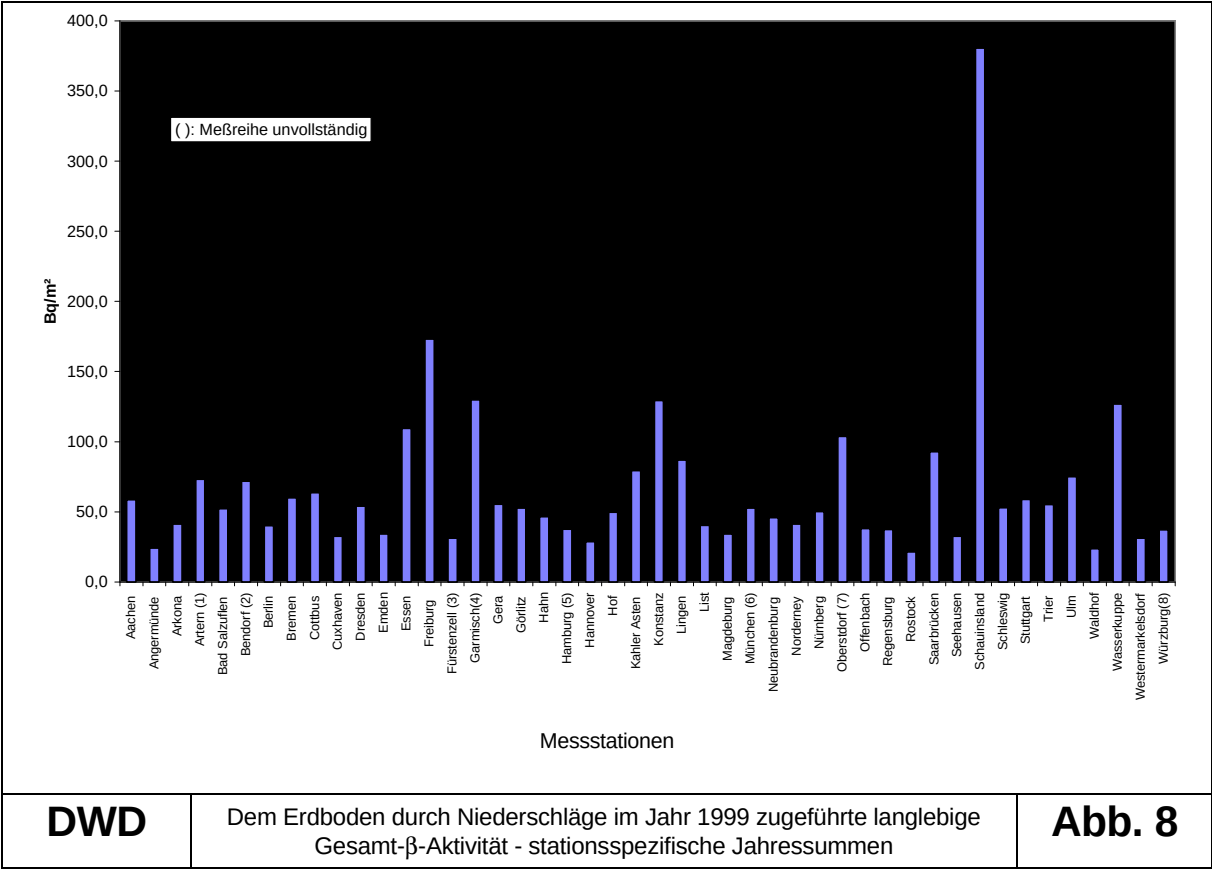
< : Messwert kleiner Nachweisgrenze

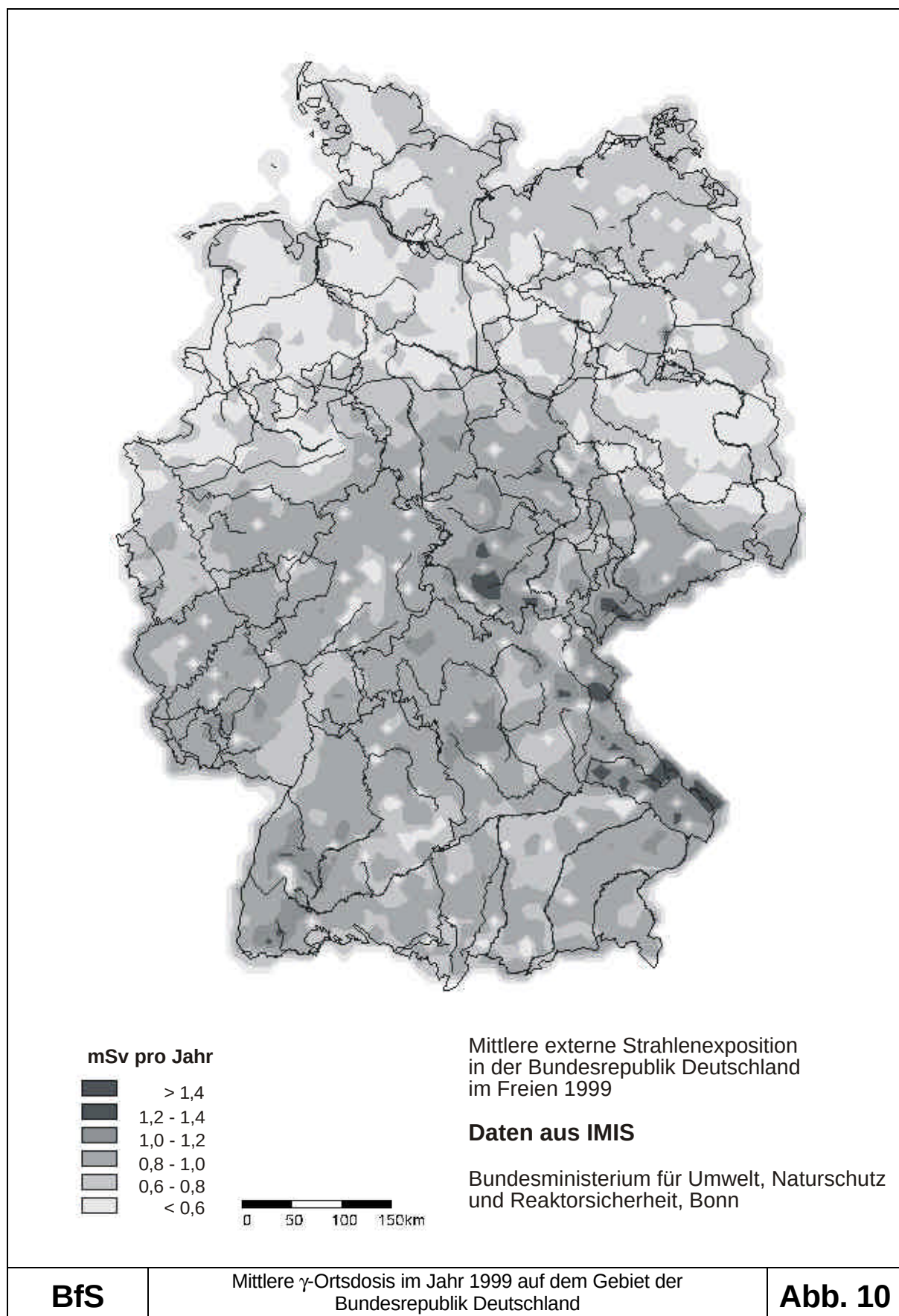












3.2 Boden, Pflanzen und Futtermittel

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

Die Wanderung der Radionuklide **Cäsium-137** und **Strontium-90** in den Boden erfolgt nur sehr langsam. Da beide Radionuklide eine lange Halbwertszeit aufweisen, verändert sich ihre spezifische Aktivität im Boden 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 Probenahme-probleme zurück. Die Kontamination des Bodens mit Cs-137 war im Jahr 1999, wie auch in den Vorjahren, durch die Deposition nach dem Tschernobylunfall geprägt, während das Sr-90 zum überwiegenden Teil noch aus der Zeit der oberirdischen Kernwaffenversuche stammt.

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

In der Vegetationsperiode 1999 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	Entnahme- tiefe in cm	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden- Württemberg	1997	0 - 10	11	< 47,0	181,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	10	22,6	47,7	4	0,3	0,5
	1999	0 - 10	11	56,8	183,0	2	2,9	3,8
Bayern	1997	0 - 10	19	147,3	520,0	17	3,3	7,3
	1998	0 - 10	19	129,4	465,0	17	3,4	7,8
	1999	0 - 10	19	122,4	496,0	17	3,1	7,5
Berlin	1997	0 - 10	4	24,5	35,0	1	1,7	-
	1998	0 - 10	4	18,9	27,0	1	1,0	-
	1999	0 - 10	3	19,9	33,0	1	0,5	-
Brandenburg	1997	0 - 10	9	52,4	206,0	4	2,9	3,4
	1998	0 - 10	9	22,7	38,8	4	1,8	2,3
	1999	0 - 10	13	17,2	34,0	4	2,0	2,7
Bremen	1997	0 - 10	1	14,6	-	1	0,6	-
	1998	0 - 10	1	26,1	-	1	0,4	-
	1999	0 - 10	1	57,7	-	1	2,2	-
Hamburg	1997	0 - 10	2	20,0	26,8	1	2,5	-
	1998	0 - 10	2	19,8	25,6	1	0,8	-
	1999	0 - 10	2	20,7	29,1	1	0,9	-

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Entnahme- tiefe in cm	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1997	0 - 10	5	28,5	49,5	3	4,6	9,3
	1998	0 - 10	5	26,5	45,6	3	3,8	6,9
	1999	0 - 10	5	19,3	39,7	3	3,1	5,8
Mecklenburg- Vorpommern	1997	0 - 10	8	26,3	82,8	4	1,1	1,5
	1998	0 - 10	8	24,3	95,9	4	< 0,7	0,9
	1999	0 - 10	8	22,1	62,1	4	1,0	1,6
Nieder- sachsen	1997	0 - 10 (- 20)	12	< 30,1	58,9	5	1,7	3,9
	1998	0 - 10	11	28,7	43,6	8	4,5	12,2
	1999	0 - 10	12	34,1	74,8	5	8,1	14,9
Nordrhein- Westfalen	1997	0 - 10	19	18,4	37,7	5	1,0	1,8
	1998	0 - 10	20	20,5	37,1	4	1,8	3,2
	1999	0 - 10	21	20,9	66,7	5	1,5	2,8
Rheinland- Pfalz	1997	0 - 10	7	26,0	47,5	3	1,0	1,3
	1998	0 - 10	7	20,8	32,1	3	1,5	1,9
	1999	0 - 10	7	19,9	31,3	3	1,9	2,8
Saarland	1997	0 - 10	3	20,8	27,6	2	1,8	1,9
	1998	0 - 10	3	13,0	15,4	2	2,0	2,5
	1999	0 - 10	3	21,4	35,8	2	2,5	2,5
Sachsen	1997	0 - 10	6	19,8	51,4	5	1,7	2,6
	1998	0 - 10	6	24,4	77,6	5	2,0	3,5
	1999	0 - 10	6	22,7	74,9	5	2,4	4,4
Sachsen-Anhalt	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	0 - 10	4	8,3	17,0	a)	a)	a)
Schleswig- Holstein	1997	0 - 10	7	23,7	28,7	5	2,0	2,4
	1998	0 - 10	7	20,5	27,7	5	2,0	2,7
	1999	0 - 10	7	19,4	28,4	5	1,8	2,1
Thüringen	1997	0 - 10	6	28,4	45,0	3	1,3	1,4
	1998	0 - 10	6	23,8	36,7	3	1,6	1,9
	1999	0 - 10	6	28,4	41,5	3	2,0	2,3

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2 Radioaktive Kontamination von Ackerböden

Bundesland	Jahr	Entnahme- tiefe in cm	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Baden- Württemberg	1997	0 - 30	7	41,5	148,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	10	29,0	101,0	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	8	32,2	100,0	a)	a)	a)
Bayern	1997	0 - 30	25	33,8	171,0	3	2,6	5,4
	1998	0 - 30	25	37,3	296,0	3	4,1	9,8
	1999	0 - 30	25	32,2	188,0	3	3,0	6,9
Berlin	1997	0 - 30	1	10,4	-	1	1,6	-
	1998	0 - 30	2	9,2	9,5	1	1,8	-
	1999	0 - 30	1	9,2	-	1	1,1	-

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland	Jahr	Entnahmetiefe in cm	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Brandenburg	1997	0 - 30	9	16,5	43,7	3	0,8	1,0
	1998	0 - 30	9	15,3	34,0	3	0,9	1,2
	1999	0 - 30	9	16,4	43,0	3	0,8	1,0
Bremen	1997	0 - 30	2	12,9	16,8	1	2,4	-
	1998	0 - 30	2	7,2	8,4	1	0,1	-
	1999	0 - 30	2	26,1	47,8	1	2,5	-
Hamburg	1997	0 - 30	1	16,3	-	1	1,3	-
	1998	0 - 30	1	9,3	-	1	1,2	-
	1999	0 - 30	1	8,9	-	1	1,3	-
Hessen	1997	0 - 30	7	12,5	26,1	2	1,3	2,2
	1998	0 - 30	7	12,1	23,3	2	1,1	1,8
	1999	0 - 30	7	10,1	19,2	2	0,8	1,3
Mecklenburg-Vorpommern	1997	0 - 30	7	12,2	21,1	2	0,7	0,8
	1998	0 - 30	7	12,5	21,1	2	1,0	1,2
	1999	0 - 30	7	11,6	24,5	2	0,8	1,1
Niedersachsen	1997	0 - (25/30)	23	12,1	20,2	4	1,2	1,8
	1998	0 - (25/30)	20	10,5	19,8	4	0,9	1,8
	1999	0 - (25/30)	26	15,1	44,9	9	1,7	5,0
Nordrhein-Westfalen	1997	0 - 30	20	10,8	21,9	5	1,1	1,6
	1998	0 - 30	21	11,4	21,5	6	1,4	2,3
	1999	0 - 30	20	10,7	19,8	5	1,3	2,8
Rheinland-Pfalz	1997	0 - (25/30)	7	10,4	19,4	3	0,8	1,4
	1998	0 - (25/30)	7	8,4	18,7	3	1,2	1,4
	1999	0 - (25/30)	7	11,4	27,9	3	1,3	1,6
Saarland	1997	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen	1997	0 - 30	6	9,7	17,9	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	6	11,1	27,3	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	6	13,4	40,6	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt	1997	0 - 30	14	16,4	49,1	5	1,7	2,4
	1998	0 - 30	14	17,3	50,6	5	1,9	4,0
	1999	0 - 30	14	19,8	60,1	5	1,8	3,1
Schleswig-Holstein	1997	0 - 30	5	9,6	13,2	a)	a)	a)
	1998	0 - 30	5	9,5	13,3	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	5	9,1	11,6	a)	a)	a)
Thüringen	1997	0 - 30	6	10,9	16,6	2	1,4	1,5
	1998	0 - 30	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	0 - 30	6	11,3	19,0	2	1,6	1,6

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 3 Radioaktive Kontamination von Waldböden

Bundesland	Jahr	Entnahme- tiefe in cm	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
			Cs-137			Sr-90		
			N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Hessen	1997	0 - 10	4	57,2	109,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	4	65,3	123,0	2	3,3	5,7
	1999	0 - 10	4	74,2	132,0	2	7,4	13,0
Niedersachsen	1997	0 - 10	1	152,0	-	1	8,2	-
	1998	0 - 10	2	35,2	62,8	2	5,7	9,2
	1999	0 - 10	1	29,0	-	1	2,5	-
Nordrhein- Westfalen	1997	0 - 10	7	75,8	220,0	a)	a)	a)
	1998	0 - 10	6	72,5	137,0	a)	a)	a)
	1999	0 - 10	6	69,9	204,0	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	1997	15	< 0,9	< 1,6	a)	a)	a)
	1998	19	< 1,2	7,4	9	0,3	1,0
	1999	18	< 1,9	11,3	7	3,3	5,2
Bayern	1997	81	< 11,9	451,0	30	3,3	7,2
	1998	80	< 6,1	89,8	30	3,4	12,6
	1999	80	< 5,8	94,6	30	2,8	11,1
Berlin	1997	2	1,1	1,4	1	3,6	-
	1998	3	0,8	1,2	1	1,8	-
	1999	3	0,9	1,5	1	0,4	-
Brandenburg	1997	22	< 3,2	29,5	8	2,7	8,5
	1998	22	< 2,2	6,3	11	2,3	5,6
	1999	26	< 4,3	43,0	6	1,9	5,5
Bremen	1997	2	< 1,6	2,5	1	1,2	-
	1998	2	2,9	2,9	1	1,6	-
	1999	2	< 1,4	2,2	1	0,5	-
Hamburg	1997	2	1,5	1,7	1	0,8	-
	1998	2	2,2	2,4	1	2,2	-
	1999	2	2,6	3,8	1	3,7	-
Hessen	1997	7	< 0,8	2,7	4	2,3	3,8
	1998	6	< 1,4	2,8	3	6,0	9,6
	1999	5	< 0,7	1,2	2	4,3	5,0
Mecklenburg- Vorpommern	1997	25	< 3,7	50,7	12	2,0	4,9
	1998	25	< 1,9	19,8	12	1,9	3,7
	1999	25	< 5,0	49,5	12	1,7	5,3
Nieder- sachsen	1997	40	< 3,2	32,4	22	0,9	2,3
	1998	49	< 5,7	44,7	26	1,4	4,2
	1999	47	5,1	39,7	22	1,4	3,5
Nordrhein- Westfalen	1997	21	< 1,6	9,6	8	1,8	3,5
	1998	18	< 0,8	1,8	9	2,2	6,5
	1999	20	< 5,1	83,1	9	2,3	7,6

Fortsetzung Tabelle 4

Bundesland	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		Cs-137			Sr-90		
		N	Mittelwert	max. Wert	N	Mittelwert	max. Wert
Rheinland-Pfalz	1997	8	< 0,5	1,0	4	2,7	4,4
	1998	8	< 0,8	1,9	4	1,9	2,5
	1999	8	< 0,9	2,4	4	2,1	3,1
Saarland	1997	2	< 1,0	1,8	1	0,8	-
	1998	2	< 1,4	1,5	1	2,1	-
	1999	2	0,8	1,1	1	1,4	-
Sachsen-Anhalt	1997	14	< 3,8	19,6	7	2,3	4,0
	1998	14	< 1,7	5,1	7	2,0	3,3
	1999	18	< 2,0	11,2	7	2,0	4,9
Sachsen	1997	20	< 1,1	5,6	10	1,5	2,2
	1998	20	< 4,7	71,3	10	1,3	2,5
	1999	20	< 1,3	9,5	9	2,2	3,2
Schleswig-Holstein	1997	21	< 1,2	4,7	10	2,6	4,4
	1998	20	< 1,0	7,8	10	2,0	3,2
	1999	20	< 0,9	2,8	10	2,4	3,8
Thüringen	1997	12	< 0,5	1,3	6	1,7	3,5
	1998	12	< 0,7	1,6	6	1,7	2,8
	1999	12	< 0,6	2,9	6	1,3	2,1

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	1997	227	< 0,5	5,4	1	0,5	-
	1998	246	< 0,8	75,0			
	1999	248	< 0,5	5,6			
Futterrüben	1997	32	< 0,6	4,1			
	1998	40	< 1,0	2,6			
	1999	37	< 0,6	2,2			
Futtergetreide	1997	141	< 0,3	2,3			
	1998	160	< 0,2	1,3			
	1999	140	< 0,2	1,5			
Futterkartoffeln	1997	67	< 0,7	9,8			
	1998	78	< 0,5	2,5			
	1999	77	< 0,4	3,1			
Erbsen	1999	5	< 0,28	0,6			

Tabelle 6 Radioaktive Kontamination von Futtermittelimporten

Futtermittel	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Futtergetreide	1997	10	< 0,13	0,25
	1998	6	< 0,16	< 0,25
	1999	11	< 0,14	0,26
Mais, Maisprodukte	1998	21	< 0,27	< 0,41
	1999	12	< 0,37	1,54
Maniok, Tapioka	1997	22	< 0,15	0,8
	1999	6	< 0,28	0,78
Ölkuchen, Ölschrote	1997	58	< 0,61	2,49
	1998	75	< 0,52	4,28
	1999	68	< 0,36	2,00
Leguminosen, Lupinen	1997	2	0,76	0,97
	1998	2	0,30	0,30
	1999	6	< 0,52	1,60
Äpfel	1999	8	< 0,52	1,52
Tier-, Fleisch-, Knochenmehl	1999	7	< 0,32	0,68

Tabelle 7 Radioaktive Kontamination von Pflanzen (Indikatoren)

Pflanzenindikator	Jahr	N	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse	
			Cs-137	
			Mittelwert	max. Wert
Blätter	1997	115	< 14,5	456,0
	1998	114	< 18,1	649,0
	1999	117	< 15,8	530,0
Nadeln	1997	59	< 55,1	933,0
	1998	59	< 63,7	1690,0
	1999	59	< 46,2	1120,0
Gras	1997	114	< 18,7	220,0
	1998	116	< 23,2	460,0
	1999	113	< 39,0	2600,0
Farne (Thüringen)	1997	28	430,1	3750,0
	1998	2	61,5	116,0
	1999	2	64,8	126,0

3.3 Gewässer

3.3.1 Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment der Binnengewässer

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält Ergebnisse der Messstellen der Länder sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) über Radionuklidkonzentrationen in Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus der großräumigen Überwachung der Binnengewässer gemäß Routinemessprogramm (RMP) zum Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) für 1999. Die bei der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen (REI) von den Messstellen der Länder und den Betreibern mitgeteilten Werte sind in Kapitel II 1.4.3 zusammengefasst und bewertet.

Im Rahmen der Überwachung nach dem StrVG wurden im Berichtsjahr 1999 Messungen mit insgesamt 16616 Einzelwerten (1998: 15645) von 468 (1998: 482) Entnahmestellen ausgewertet. Für ausgewählte Probenentnahmestellen wurden Jahresmittelwerte von Radionuklidkonzentrationen in Wasser, Schwebstoff und Sediment berechnet und - zusammen mit den jeweiligen minimalen und maximalen Einzelwerten (Messwerte) - in Tabelle 1 (Fließgewässer) bzw. Tabelle 2 (Seen einschl. Talsperren) dem jeweiligen Mittelwert des Vorjahres (1998) gegenübergestellt. Daneben wurden die Anzahl der gemessenen Einzelwerte (N) sowie die der Werte unterhalb der Nachweisgrenze (<NWG) angegeben. Zur Darstellung langfristiger Trendentwicklungen bei der Kontamination der Binnengewässer mit radioaktiven Stoffen sind die Jahresmittelwerte repräsentativer Entnahmestellen in den Abbildungen 2 bis 5 beispielhaft aufgezeigt.

Jahresmittelwerte bei gemischten Messwertreihen (Messwerte und Angaben der Nachweisgrenze) wurden stets so ermittelt, dass möglichst realistische Aussagen erhalten wurden. Waren alle Werte als Nachweisgrenzen mitgeteilt worden, wurde in der jeweiligen Auftragsangabe "nn" angegeben. Wurden die Werte der Nachweisgrenzen in die Mittelwertbildung einbezogen, so sind die Jahresmittelwerte mit "<" gekennzeichnet.

Die dynamischen Kompartimente Oberflächenwasser und Schwebstoff reagieren relativ kurzfristig auf den Eintrag radioaktiver Stoffe. Bei Fließgewässern ist zu beachten, dass Radionuklide - in gelöster Form oder partikulär gebunden - mit Wasser bzw. Schwebstoffen über weite Strecken verfrachtet werden können. Schwebstoffe sedimentieren bevorzugt in sogenannten Stillwasserbereichen, wie sie z. B. Häfen, Buhnenfelder, Altarme, Stauhaltungen und Uferböschungen darstellen, und können dort zu einer Kontamination des Sediments führen. In Sedimenten lassen sich die langzeitigen Auswirkungen radioaktiver Kontaminationen aufzeigen; sie sind als das eigentliche Langzeitspeichermedium zu betrachten. Durch die Remobilisierung von Sedimenten, beispielsweise bei Hochwassersituationen, ist eine spätere Weiterverfrachtung von abgelagerten Radionukliden möglich.

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

Eine Bewertung der bei der großräumigen Überwachung nach dem StrVG im Berichtsjahr 1999 erhaltenen Messergebnisse ergibt für den radiologischen Gütezustand der Binnengewässer folgendes Bild:

Oberflächenwasser wies H-3-Gehalte im Jahresmittel überwiegend unterhalb von 10 Bq/l (entspricht der Nachweisgrenze des RMP) auf. In der Mosel wurden als Folge von Ableitungen aus einer kerntechnischen Anlage im Fernbereich Jahresmittelwerte bis 20,4 Bq/l erhalten. Die mittleren Gehalte von Sr-90 und Cs-137 schwankten meist zwischen 0,001 und 0,01 Bq/l und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l. Die von kerntechnischen Anlagen eingeleiteten Spalt- und Aktivierungspro-

dukte waren im Fernbereich der Emittenden i. Allg. nicht mehr nachweisbar; lediglich in der Ems konnte Co-60 unterhalb von 0,01 Bq/l nachgewiesen werden. I-131 konnte sporadisch bis zu 0,04 Bq/l (Einzelwerte) gemessen werden. Die Bestimmungen der Gesamt- α -Aktivität ($G\alpha$) bzw. von **Uran-234** (U-234), **-235** und **-238** ergaben durchweg Werte, die dem natürlichen Urangelalt der Binnengewässer entsprechen: z. B. schwankten die Werte für U-238 regional zwischen unter 0,001 und 0,1 Bq/l. **Plutonium-238** (Pu-238) und **-239/240** wurden, bezogen auf die Nachweisgrenze des RMP von 0,01 Bq/l, nicht nachgewiesen.

Anhand der Messungen von **Schwebstoffen** können Belastungen der Binnengewässer mit radioaktiven Stoffen empfindlich und kurzfristig erfasst werden. Cs-137 erreichte überwiegend mittlere Konzentrationen unterhalb von 100 (meist unter 50) Bq/kg TM. In einigen Seen lagen die Jahresmittelwerte von Cs-137 wie in den vergangenen Jahren z. T. wesentlich höher: Steinhuder Meer 397 Bq/kg TM, Starnberger See 376 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 konnten in Rhein und Mosel über große Fließstrecken verfolgt werden. Die mittleren Gehalte blieben durchweg bei weniger als 3 Bq/kg TM und damit unter der Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM. In Elbe, Eider, Ems und Jadebusen bestimmte Co-60-Gehalte (Einzelwerte) lagen ebenfalls unter 3 Bq/kg TM. I-131 wurde in Konzentrationen von vorwiegend unter 50 Bq/kg TM (Einzelwerte) gemessen; etwas höhere Werte mit 130 Bq/kg TM im Mittel stammten von der Spree (Berlin).

Zur Darstellung der langfristigen Kontamination eines Gewässers sind Untersuchungen von **Sedimenten** besonders geeignet. Innerhalb eines Gewässers können die Radionuklidgehalte, je nach Lage der Entnahmestelle und Beschaffenheit des entnommenen Sohlenmaterials (Korngröße), stark variieren, wobei die Schwankungen durchaus eine Größenordnung übersteigen können. Cs-137 konnte überwiegend in mittleren Gehalten von bis zu 100 Bq/kg TM bestimmt werden. In Seen lagen auch hier immer noch mittlere Konzentrationen an Cs-137 von z. T. mehreren hundert Bq/kg TM vor: Schollener See (Sachsen-Anhalt) 295 Bq/kg TM, Schaalsee (Schleswig-Holstein) 228 Bq/kg TM. Co-58 und Co-60 traten in Sedimenten aus Rhein, Mosel, Elbe, Ems und Weser in Konzentrationen unterhalb von 2 Bq/kg TM auf und unterschritten somit die Nachweisgrenze des RMP von 5 Bq/kg TM.

Der radiologische Gütezustand der Binnengewässer ist 1999 mit dem des Vorjahres insgesamt vergleichbar. Die langlebigen Radionuklide werden nur in größeren Zeiträumen merklich abnehmen. Die Schwankungen können - von radioaktivem Zerfall und Statistik abgesehen - mit den in Gewässern dynamisch ablaufenden Dispersions-, Sedimentations- und Resuspensionsprozessen erklärt werden, die zu inhomogenen Verteilungen der Radionuklide in den Gewässern führen können. Bei den Radionukliden aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Anwendungen ist außerdem zu berücksichtigen, dass diese meist intermittierend in die Gewässer eingeleitet werden.

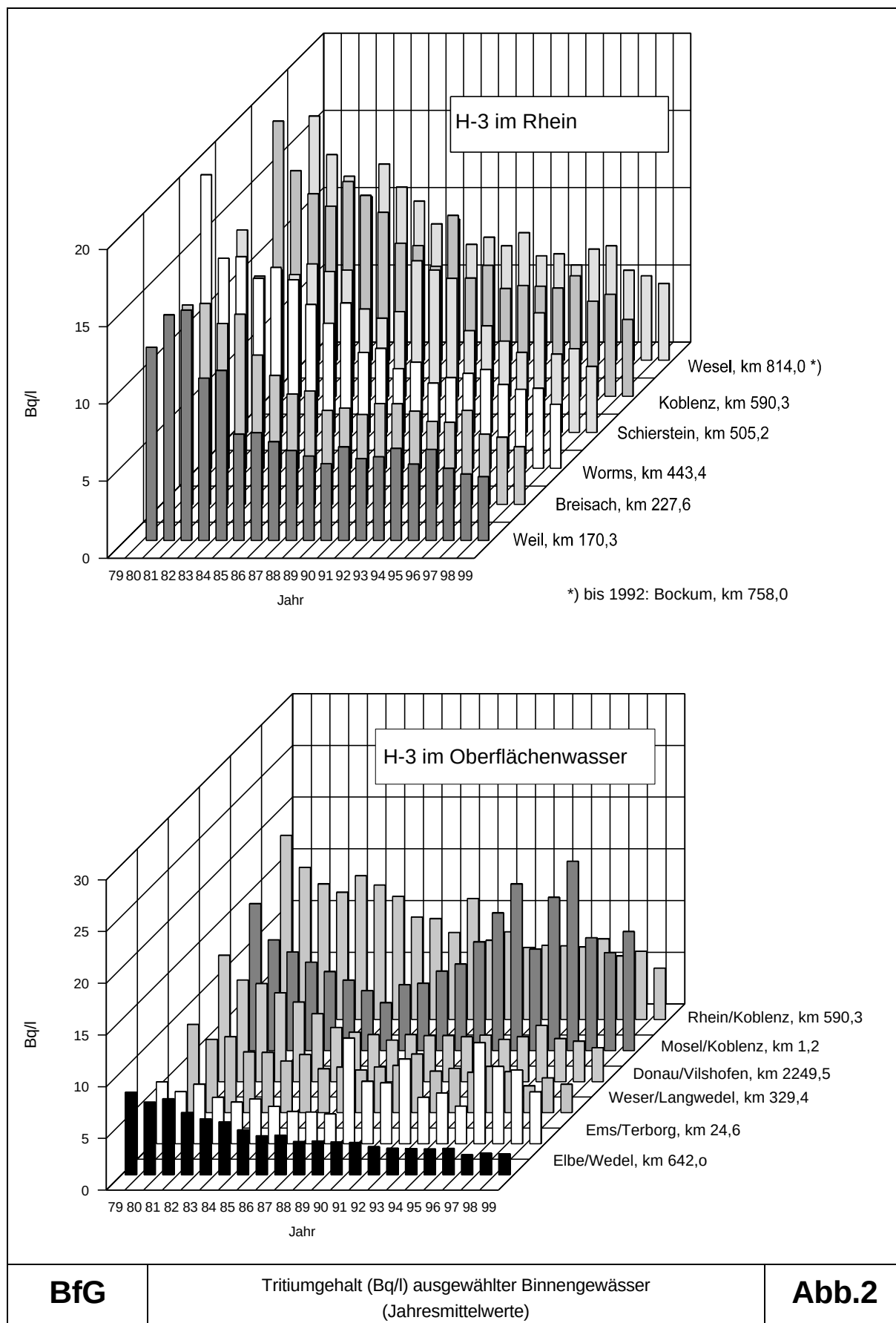
Strahlenexposition

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

Die auf die oberirdischen Kernwaffenversuche sowie auf den Reaktorunfall in Tschernobyl in Oberflächenwasser 1999 zurückzuführende Kontamination beträgt im Falle von H-3 bis ca. 3 Bq/l und im Falle von Sr-90 und Cs-137 jeweils ca. 0,005 Bq/l. Falls derart kontaminiertes Flusswasser unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, errechnet sich die zusätzliche effektive Äquivalentdosis für Erwachsene auf dem **"Trinkwasserpfad"** zu ca. 0,2 μ Sv/a. Allein der auf die natürlichen Nuklide **Kalium-40** (K-40) und **Radium-226** (Ra-226) für typische Gehalte zu erwartende Dosisbeitrag liegt mit ca. 2 μ Sv/a um eine Größenordnung höher.

Insbesondere Cs-137 war auch 1999 noch in Sedimentproben aus deutschen Binnengewässern deutlich nachweisbar. So konnten in der Sohlenschicht von entsprechend genutzten bzw. unterhaltenen Abschnitten der Donau immer noch ein mittlerer Gehalt von Cs-137 von 133 Bq/kg TM gemessen werden. Unter Zugrundelegung dieser an Sedimentproben gemessenen Nuklidgehalte kann die auf dem Expositionspfad **"Aufenthalt auf Spülfeldern"** für Standardbedingungen zu erwartende zusätzliche externe effektive Äquivalentdosis zu ca. 16 μ Sv/a abgeschätzt werden. Im Vergleich hierzu liegen die mittleren Dosisbeiträge der natürlichen Radionuklide K-40, Ra-226 und **Thorium 232** (Th-232) für die gleichen Expositionspfade mit insgesamt ca. 46 μ Sv/a deutlich höher.

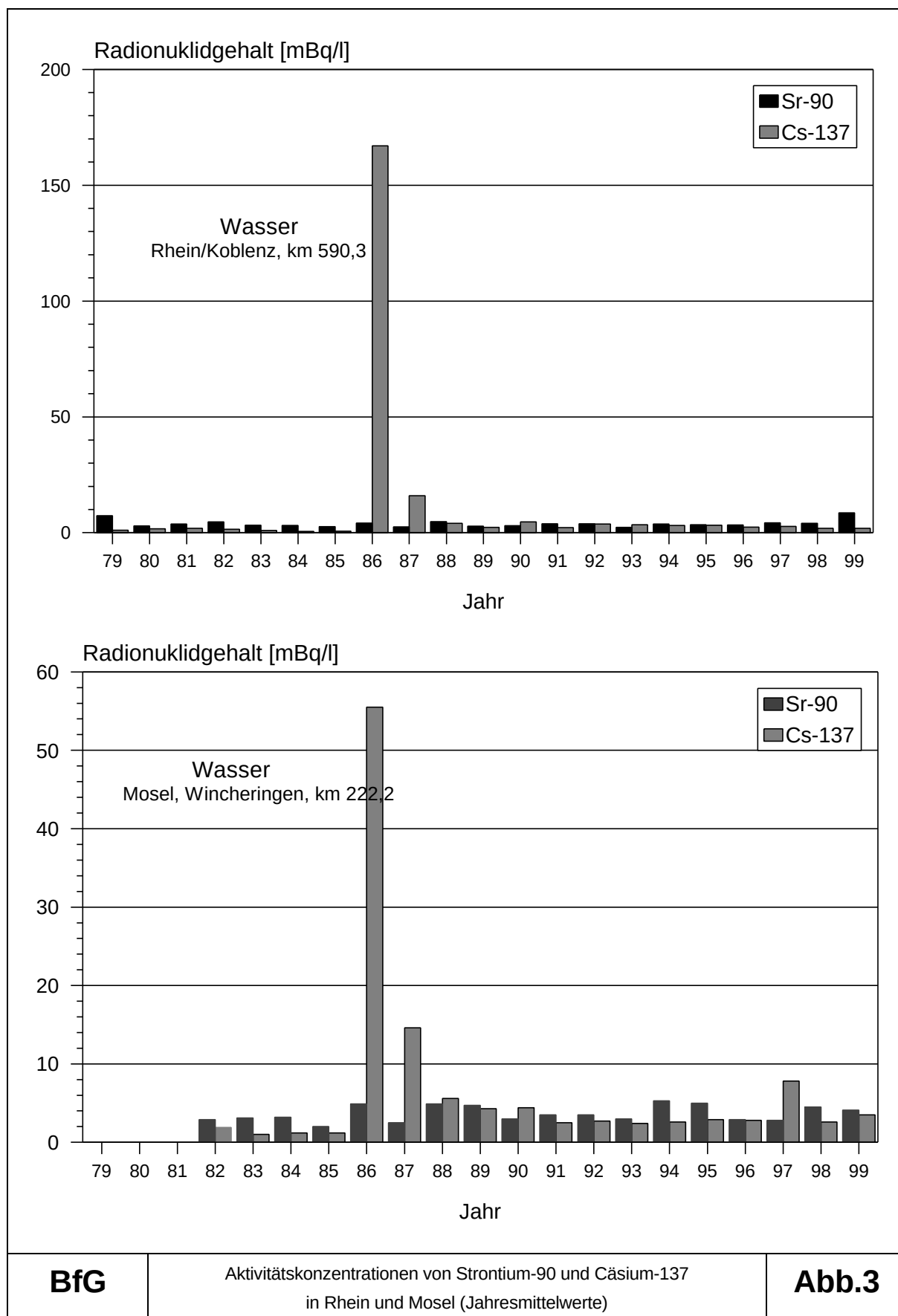


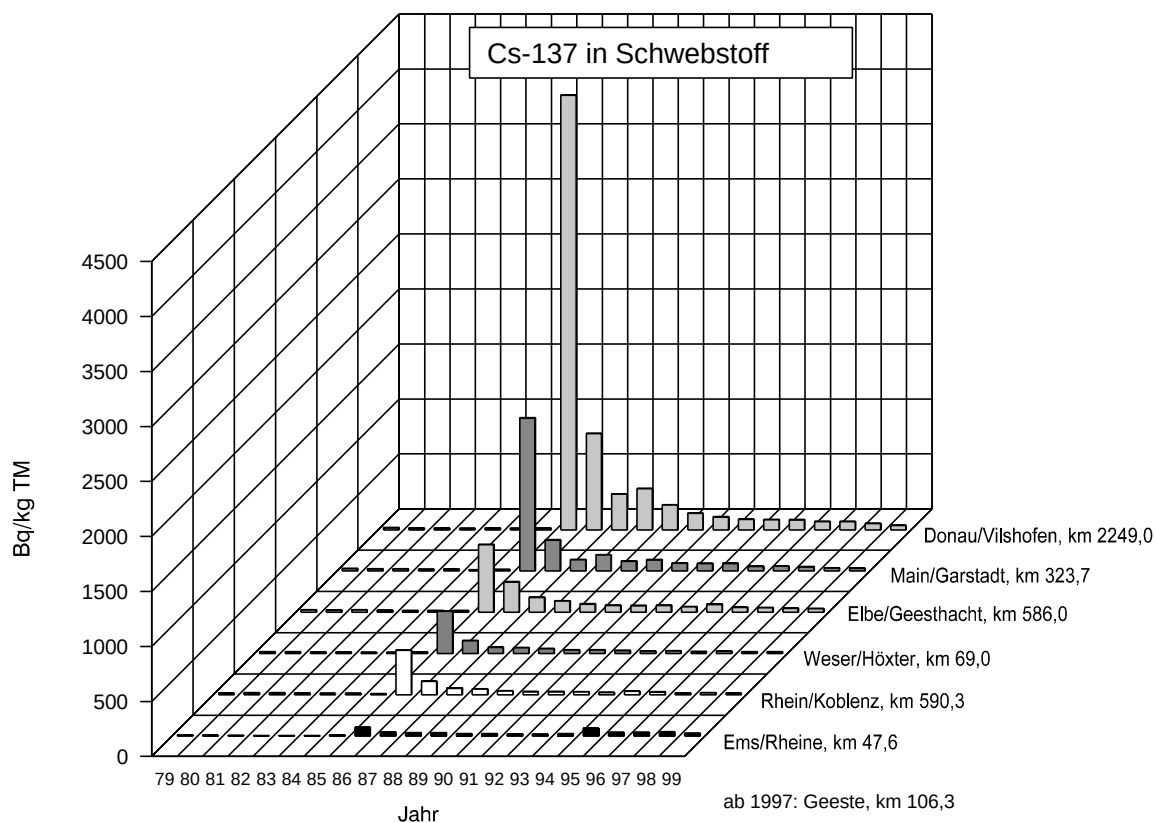
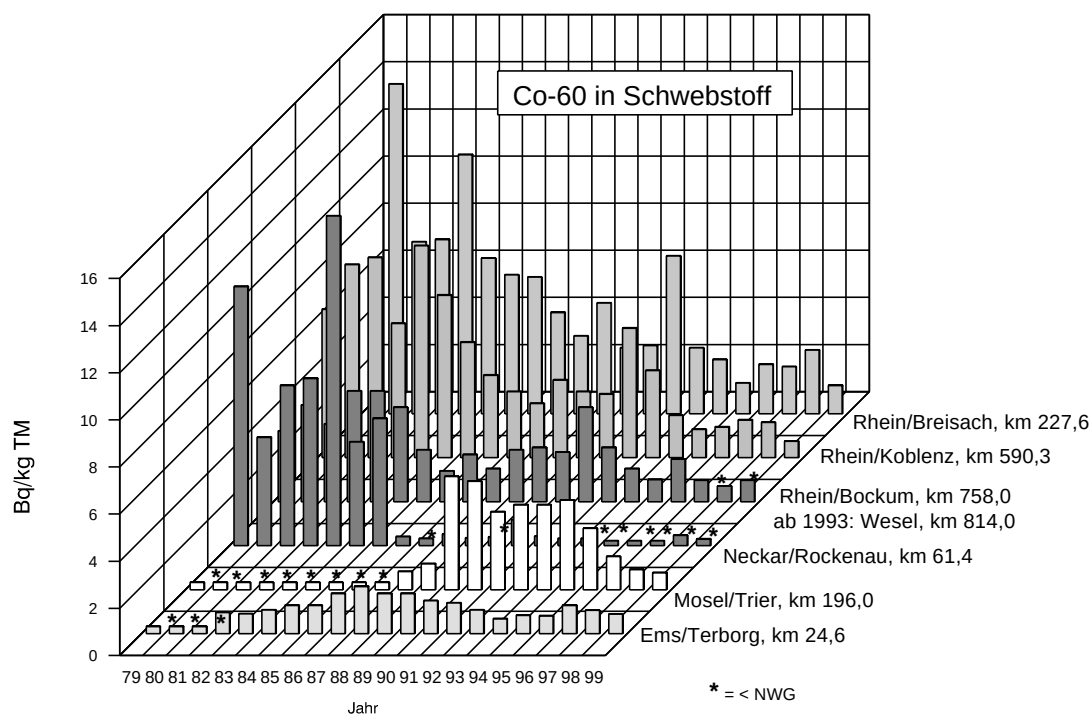


BfG

Tritiumgehalt (Bq/l) ausgewählter Binnengewässer
(Jahresmittelwerte)

Abb.2

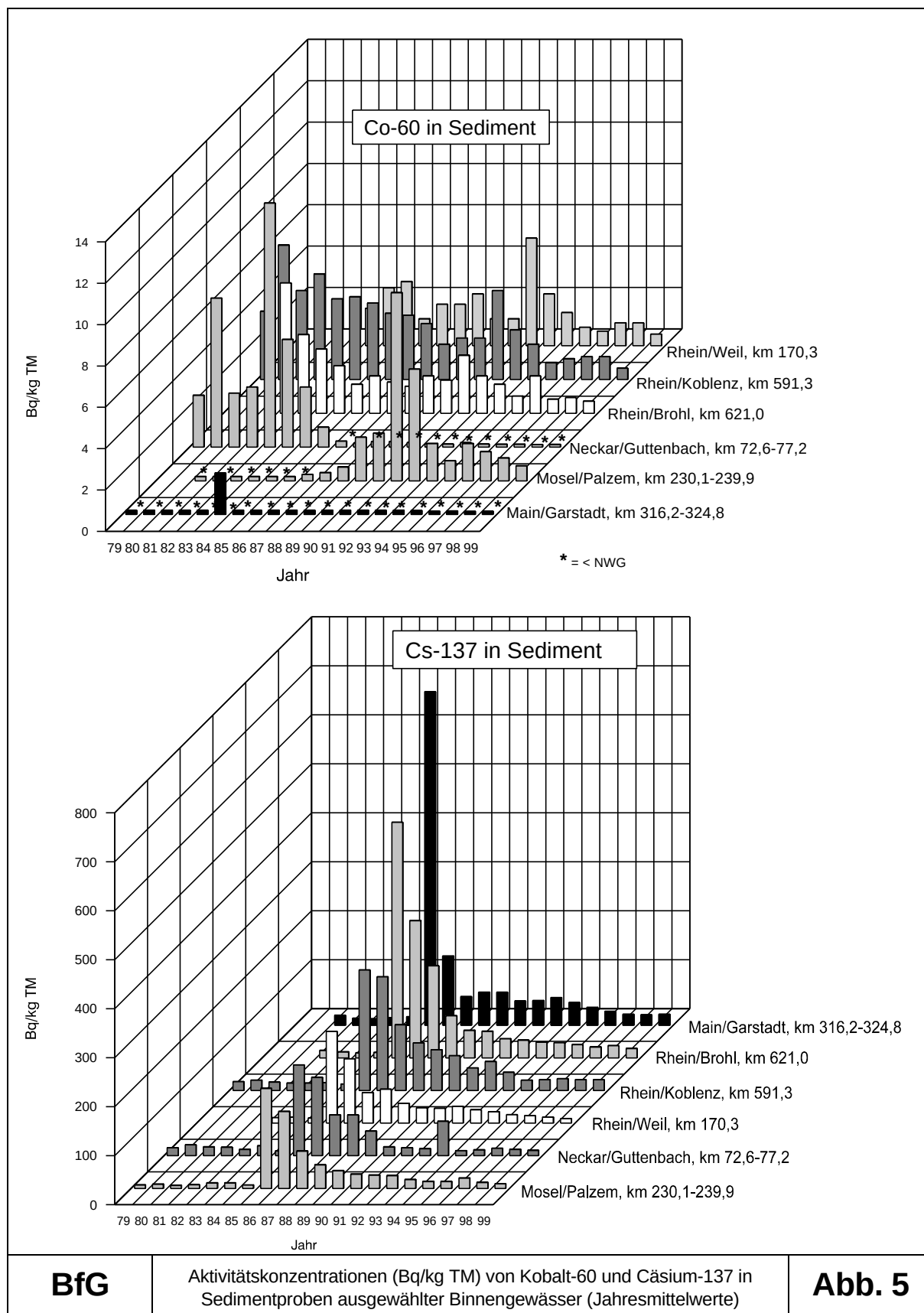




BfG

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

Abb. 4



BfG

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

Abb. 5

Tabelle 1 Überwachung von Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment aus deutschen Fließgewässern nach StrVG

Aktivitätskonzentration								
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
RHEIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Weil, km 172,97	5	-	2,8	6,3	4,1	4,3
		Koblenz, km 590,3	12	-	3,6	7,1	5,0	6,6
		Wesel, km 814,0	12	-	4,0	7,1	5,0	5,5
	Sr-90	Weil, km 172,97	2	-	0,0034	0,014	0,0086	0,0036
		Koblenz, km 590,3	4	-	0,0042	0,0048	0,0042	0,0041
		Wesel, km 814,0	4	-	0,0030	0,0061	0,0040	0,0078
	Cs-137	Weil, km 172,97	5	-	0,0015	0,0024	0,0019	0,0027
		Koblenz, km 590,3	12	-	0,0008	0,0039	0,0020	0,0019
		Wesel, km 814,0	12	1	0,0011	0,0040	0,0021	0,0023
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 172,97	3	-	0,57	5,99	2,38	15,3
		Koblenz, km 590,3	8	-	0,29	1,14	0,60	1,06
	Co-60	Weil, km 172,97	3	-	0,94	1,77	1,24	5,68
		Koblenz, km 590,3	12	3	0,44	0,96	0,70	1,49
		Wesel, km 814,0	3	2	<0,48	1,69	<0,91	nn
	Cs-137	Weil, km 172,97	3	-	10,4	18,4	13,2	21,3
		Koblenz, km 590,3	12	-	12,1	17,3	15,3	17,1
		Wesel, km 814,0	3	-	3,54	23,1	14,3	15,1
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-58	Weil, km 170,3	6	-	0,12	1,99	0,73
Worms, km 445,0-446,6			10	1	0,077	0,45	0,29	0,49
Koblenz, km 591,3			2	-	0,13	0,26	0,19	0,44
Düsseldorf, km 740,3-748,9			6	-	0,21	0,98	0,58	nn
Co-60		Weil, km 170,3	9	7	0,16	1,76	0,56	1,08
		Worms, km 445,0-446,6	27	12	0,28	0,67	0,43	0,39
		Koblenz, km 591,3	9	2	0,44	1,03	0,63	1,05
		Düsseldorf, km 740,3-748,9	19	14	0,50	0,80	0,66	0,82
Cs-137		Weil, km 170,3	9	-	4,11	16,7	9,07	11,7
		Worms, km 445,0-446,6	27	-	4,00	15,0	9,14	5,51
		Koblenz, km 591,3	9	-	12,5	43,6	22,4	22,0
		Düsseldorf, km 740,2-748,9	19	-	8,34	31,5	19,1	21,4
NECKAR								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Lauffen, km 125,2	3	-	9,1	14,4	11,9	-
		Rockenau, km 61,4	12	-	6,1	17,7	9,5	13,2
	Sr-90	Lauffen, km 125,2	4	-	0,0024	0,0040	0,0032	0,0041
		Rockenau, km 61,4	4	-	0,0022	0,0070	0,0053	0,0041
	Cs-137	Lauffen, km 125,2	12	6	0,0009	0,0041	0,0020	0,0021
		Rockenau, km 61,4	12	3	0,0008	0,0045	0,0028	0,0026
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Rockenau, km 61,4	4	3	<0,065	0,67	<0,28	<0,44
	Cs-137	Obertürkheim, km 189,5	4	-	8,74	14,7	11,5	15,8
		Rockenau, km 61,4	4	-	7,47	15,5	10,4	11,4
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Lauffen, km 125,2-130,1	19	-	3,32	71,9	16,2	11,4
		Neckarzimmern, km 85,8-110,6	18	-	5,56	22,0	11,5	16,1
		Guttenbach, km 72,0-77,0	14	-	2,63	18,9	10,8	12,7
MAIN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wipfeld, km 316,1	11	-	1,8	9,2	3,0	5,6
		Eddersheim, km 15,3	10	-	2,0	7,9	3,3	5,1
	Sr-90	Wipfeld, km 316,1	4	-	0,0040	0,0054	0,0044	0,0056
		Eddersheim, km 15,3	3	-	0,0032	0,0034	0,0033	0,0051
	Cs-137	Wipfeld, km 316,1	11	-	0,0009	0,0063	0,0027	0,0034
		Eddersheim, km 15,3	11	2	0,0019	0,0060	0,0033	0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	18,0	44,3	32,6	41,8
		Garstadt, km 323,7	3	-	19,2	29,9	25,3	27,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Hallstadt, km 388,2	4	-	10,1	17,1	13,1	12,8
		Garstadt, km 316,2-324,8	8	-	3,03	71,4	21,9	21,4

Fortsetzung Tabelle 1

Aktivitätskonzentration											
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte				
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998			
MOSEL											
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wincheringen, km 222,2 Lehmen, km 20,83	12 4	- -	6,8 7,5	30,8 13,0	20,4 10,4	20,1 9,5			
	Sr-90	Wincheringen, km 222,2 Lehmen, km 20,83	4 4	- -	0,0033 0,0034	0,0048 0,0048	0,0041 0,0044	0,0045 0,0048			
		Cs-137	Wincheringen, km 222,2 Lehmen, km 20,83	12 10	1 4	0,0005 0,0009	0,0076 0,0041	0,0035 0,0022	0,0026 0,0019		
	Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-58	Perl, km 241,96 Trier, km 196,0 Lehmen, km 20,83	8 2 -	- - -	0,24 0,60 -	5,24 1,45 -	2,50 1,02 -	2,80 0,70 0,54		
			Co-60	Perl, km 241,96 Trier, km 196,0 Lehmen, km 20,83	12 12 12	5 10 12	0,52 <0,11 <0,18	6,88 0,87 <1,32	2,80 <0,39 nn	4,19 0,85 <0,42	
Cs-137				Perl, km 241,96 Trier, km 196,0 Lehmen, km 20,83	12 12 12	- - -	12,5 11,6 18,8	28,9 22,7 37,6	19,0 16,6 24,1	22,9 22,2 24,7	
		Sediment (Bq/kg TM)		Co-58	Perl, km 239,7-242,0 Trier, km 184,1-196,1 Koblenz, km 4,05	1 1 2	- - 1	0,22 0,17 <0,10	0,22 0,17 0,92	0,22 0,17 <0,51	0,22 0,24 nn
			Co-60		Perl, km 239,7-242,0 Trier, km 184,1-196,1 Koblenz, km 4,05	22 24 8	15 16 7	0,31 0,14 <0,06	1,96 0,63 0,74	0,65 0,63 <0,20	0,58 0,70 <0,30
Cs-137					Perl, km 239,7-242,0 Trier, km 184,1-196,1 Koblenz, km 4,05	22 24 9	- - -	0,68 5,80 12,5	28,1 23,3 72,2	7,19 13,9 34,6	8,79 18,7 15,8
				SAAR							
			Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Kanzem, km 5,0	10	-	1,4	2,5	1,8	2,1
Sr-90				Kanzem, km 5,0	4	-	0,0018	0,014	0,0052	0,0041	
Cs-137	Kanzem, km 5,0			10	3	0,0006	0,0041	0,0022	0,0023		
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137		Kanzem, km 5,0	12	-	13,6	28,0	21,0	27,9		
DONAU											
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8 Geisling, km 2354,28 Vilshofen, km 2249,0	4 12 9	4 - -	<8,0 2,1 2,5	<8,0 3,5 3,8	nn 2,6 3,3	nn 3,4 3,9			
		Sr-90	Geisling, km 2354,28 Vilshofen, km 2249,0	4 3	- -	0,0013 0,0037	0,0041 0,0059	0,0031 0,0045	0,0053 0,0054		
			Cs-137	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8 Geisling, km 2354,28 Vilshofen, km 2249,0	4 12 9	3 2 -	0,0071 0,0015 0,0084	<0,011 0,016 0,017	<0,0096 0,0043 0,0066	<0,010 0,0036 0,0065	
	Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137		Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8 Regensburg, km 2381,3 Vilshofen, km 2249,0	3 4 3	- - -	112 28,7 27,9	153 76,5 45,2	133 56,6 38,1	158 97,8 56,2	
				Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Ulm, km 2582,6 bzw. 2590,8 Regensburg, km 2400,1-2379,1 Straubing, km 2320,93 Jochenstein, km 2202,7	4 21 4 4	- - - -	88,2 5,88 40,9 8,09	177 101 82,6 18,5	133 35,2 67,8 12,1
			ISAR								
	Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Pullach, km 162,0 Plattling, km 9,1			4 4	- 2	1,6 6,7	2,6 8,4	2,0 7,6	2,1 <6,8
			Cs-137	Pullach, km 162,0 Plattling, km 9,1	4 4	2 4	0,0007 <0,0050	0,0009 <0,0084	0,0008 nn	0,0007 nn	
Schwebstoff (Bq/kg TM)		Cs-137		Pullach, km 162,0 Plattling, km 9,1	4 4	- -	26,0 59,6	41,6 97,0	35,7 81,7	47,0 108	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Pullach, km 162,0 Plattling, km 9,1	4 4	- -	37,3 7,74	51,9 59,6	41,7 22,6	55,4 19,8			

Fortsetzung Tabelle 1

Aktivitätskonzentration								
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
EMS								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Geeste, km 106,3	12	-	1,8	53,8	12,0	35,1
		Terborg, km 24,7	10	-	2,2	10,2	5,0	7,1
	Co-60	Geeste, km 106,3	12	11	<0,0006	0,0045	<0,0010	nn
		Terborg, km 24,7	12	6	0,0008	0,0075	0,0049	0,0085
	Sr-90	Geeste, km 106,3	4	-	0,0030	0,0096	0,0051	0,0088
		Terborg, km 24,7	4	-	0,0040	0,0060	0,0050	0,010
	Cs-137	Geeste, km 106,3	12	1	0,0009	0,016	0,0044	0,0029
		Terborg, km 24,7	12	-	0,0016	0,041	0,018	0,033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Geeste, km 106,3	4	4	<0,10	<0,41	nn	nn
		Terborg, km 24,7	4	-	0,67	0,97	0,83	0,99
	Cs-137	Geeste, km 106,3	4	-	12,5	26,9	22,6	35,8
		Terborg, km 24,7	4	-	3,28	6,64	4,35	5,67
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Außenems, Knock, km 51	1	-	2,0	2,0	2,0	2,60
		Außenems, Gandersum, km 32	1	1	<0,35	<0,35	nn	nn
	Cs-137	Außenems, Knock, km 51	1	-	9,20	9,20	9,20	11,0
		Außenems, Gandersum, km 32	1	-	0,38	0,38	0,38	0,30
WESER /JADEBUSEN								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Höxter, km 69,0	12	-	1,2	3,1	2,0	2,0
		Rinteln, km 163,2	12	-	1,1	17,7	3,5	4,2
		Langwedel, km 329,4	12	-	1,2	10,7	2,7	3,4
		Blexen, km 63,3	12	-	2,3	7,0	3,9	3,8
	Sr-90	Höxter, km 69,0	4	-	0,0018	0,0052	0,0030	0,0041
		Rinteln, km 163,2	4	-	0,0025	0,011	0,0053	0,0048
		Langwedel, km 329,4	4	-	0,0023	0,0050	0,0033	0,0054
		Blexen, km 63,3	4	-	0,0027	0,015	0,0070	0,0086
	Cs-137	Höxter, km 69,0	12	1	0,0011	0,0046	0,0029	0,0036
		Rinteln, km 163,2	12	2	0,0013	0,0043	0,0028	0,0034
		Langwedel, km 329,4	12	-	0,0014	0,0058	0,0033	0,0049
		Blexen, km 63,3	12	-	0,0063	0,014	0,0096	0,011
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Co-60	Höxter, km 69,0	4	4	<0,13	<0,27	nn	0,25
		Rinteln, km 163,2	4	4	<0,11	<0,25	nn	1,10
		Wilhelmshaven/Jadebusen	3	1	2,03	2,47	2,25	2,38
	Cs-137	Höxter, km 69,0	4	-	11,3	16,7	13,7	14,9
		Rinteln, km 163,2	4	-	8,96	14,9	12,0	15,6
		Langwedel, km 329,4	4	-	14,5	16,6	15,7	18,8
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Unterweseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	0,90	1,50	1,20	1,29
		Hann.Münden, km 0,0	2	-	3,50	8,70	6,10	11,8
	Cs-137	Intschede, km 329,3	2	-	25,0	26,0	25,5	31,5
		Habenhausen, km 361,0	1	-	27,0	27,0	27,0	28,0
		Unterweseraltarm, Schweiburg, km 49	2	-	9,90	15,0	12,5	14,1
ELBE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Dresden, km 58,0	12	-	1,3	3,1	2,0	1,9
		Geesthacht, km 586,0	12	-	1,1	2,6	1,9	1,8
		Cuxhaven, km 724,5	10	-	2,6	3,6	3,2	3,7
	Sr-90	Dresden, km 58,0	2	-	0,0044	0,0056	0,0050	0,0072
		Geesthacht, km 586,0	4	-	0,0023	0,0053	0,0035	0,0088
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,0014	0,0065	0,0038	0,0030
	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	1	0,0017	0,0075	0,0037	0,0039
		Geesthacht, km 586,0	12	-	0,0008	0,0040	0,0020	0,0024
		Cuxhaven, km 724,5	10	2	0,0019	0,0084	0,0045	0,0052
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	12	-	21,5	33,8	28,2	36,1
		Geesthacht, km 586,0	4	-	14,5	52,9	31,5	34,6
		Wedel, km 642,0	3	-	6,20	13,6	10,3	16,1
		Cuxhaven, km 724,5	4	-	0,65	1,49	0,91	0,76
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Dresden, km 58,0	11	-	18,8	52,7	35,9	46,1
		Schnackenburg, km 475	4	-	8,10	43,0	18,2	32,0

Fortsetzung Tabelle 1

Aktivitätskonzentration								
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
ODER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	-	1,4	2,2	1,8	1,9
		Hohensaaten, km 667,5	11	-	1,3	1,9	1,7	1,7
	Sr-90	Eisenhüttenstadt, km 553,2	2	-	0,0073	0,011	0,0090	0,0084
		Hohensaaten, km 667,5	2	-	0,0060	0,012	0,0089	0,0067
	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	12	3	0,0019	0,0067	0,0034	0,0049
Hohensaaten, km 667,5		11	6	0,0022	0,0071	0,0039	0,0029	
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Eisenhüttenstadt, km 553,2	4	-	8,45	61,3	30,2	42,0
		Hohensaaten, km 667,5	12	-	29,3	170	66,9	83,6
SPREE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	4	<2,9	<4,4	nn	nn
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	-	1,0	2,7	1,6	1,5
	Sr-90	Berlin-Schöneweide, km 0,60	2	-	0,0046	0,0050	0,0048	0,0059
		Berlin-Sophienwerder, km 0,60	2	-	0,0018	0,0034	0,0026	0,0024
	Cs-137	Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	5	0,0020	0,0039	0,0029	0,0030
Schwebstoffe (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	2,7	4,1	3,63	4,75
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	12	-	22,9	53,3	37,7	38,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Berlin-Sophienwerder, km 0,60	4	-	10,7	17,5	13,5	12,8
		Berlin-Schöneweide, km 27,2	4	-	17,2	24,6	19,7	18,5
HAVEL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Zehdenick, km 15,1	12	-	1,2	1,9	1,5	1,7
	Sr-90	Zehdenick, km 15,1	2	-	0,0056	0,0077	0,0067	0,0064
	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	1	0,0022	0,013	0,0075	0,0053
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	11	-	46,7	113	88,9	99,7
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Zehdenick, km 15,1	12	-	6,81	71,2	37,2	37,6
SAALE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Merseburg, km 104,5	4	-	1,4	1,7	1,5	1,7
	Sr-90	Merseburg, km 104,5	2	-	0,0059	0,011	0,0085	0,0054
	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	3	0,0018	0,0074	0,0039	0,0049
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	11	-	10,9	19,5	14,6	18,9
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Merseburg, km 104,5	10	-	13,7	23,1	17,6	15,1
PEENE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Anklam, km 96,1	12	-	1,1	1,7	1,4	1,4
	Sr-90	Anklam, km 96,1	2	-	0,0043	0,0062	0,0053	0,0056
	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	8	0,0016	0,0049	0,0027	0,0027
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	12	-	29,6	88,3	48,3	49,3
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Anklam, km 96,1	11	-	25,2	58,1	43,7	45,8

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

Aktivitätskonzentration								
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
BADEN-WÜRTTEMBERG								
BODENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Langenargen	8	8	<8,0	<8,0	nn	nn
	Cs-137		8	6	0,0065	<0,012	<0,018	nn
BAYERN								
CHIEMSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seeon-Seebruck	4	1	1,7	2,0	1,8	1,7
	Sr-90		3	-	0,0031	0,0060	0,0047	0,0040
	Cs-137		4	2	0,0012	0,0013	0,0013	0,0008
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	75,5	122	98,8	133
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Seeon-Seebruck	4	-	68,3	98,5	77,8	88,8
STARNBERGER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Starnberg	4	-	2,1	4,4	3,1	3,2
	Sr-90		2	-	0,010	0,012	0,011	0,0084
	Cs-137		4	-	0,0039	0,012	0,0060	0,0049
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	3	-	338	429	376	441
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Starnberg	4	-	30,0	49,7	42,2	161
BERLIN								
MÜGGELSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	PE-Stelle 41035	4	4	<2,9	<4,38	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0038	0,0053	0,0048	0,0056
	Cs-137		4	-	0,0018	0,0046	0,0031	0,0033
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	-	1,50	6,30	3,48	3,70
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	PE-Stelle 41035	4	-	81,5	100	91,0	108
STÖSSENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Siemenswerder	4	4	<2,9	<4,4	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0043	0,0058	0,0050	0,0069
	Cs-137		4	-	0,0017	0,0049	0,0030	0,0032
Schwebstoff (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	3,3	5,10	4,10	3,60
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Siemenswerder	4	-	60,3	91,0	77,6	71,2
BRANDENBURG								
STECHLINSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Neuglobsow	4	4	<5,3	<6,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,020	0,024	0,022	0,020
	Cs-137		4	-	0,010	0,020	0,015	0,013
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Neuglobsow	4	-	15,0	24,0	19,0	18,6
NEUENDORFER SEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Alt-Schadow	4	4	<10,0	<11,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,0060	0,0080	0,0065	0,0068
	Cs-137		4	4	< 0,0031	<0,0060	nn	0,0035
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Alt-Schadow	4	-	0,90	2,10	1,55	1,52

Fortsetzung Tabelle 2

Aktivitätskonzentration								
GEWÄSSER	Nuklid	Ort, Fluß-km	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
Umweltmedium			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
HESSEN								
MARBACH-TALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Erbach	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		4	4	<0,010	<0,010	nn	<0,0099
	Cs-137		4	4	<0,010	<0,015	nn	nn
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4	-	27,3	28,9	28,1	23,3
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Erbach	4	-	24,1	33,9	27,5	20,7
MECKLENBURG-VORPOMMERN								
BORGWALLSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Lüssow	4	3	3,5	<5,2	<4,5	<3,9
	Cs-137		4	-	0,0047	0,0081	0,0060	0,0060
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Lüssow	4	-	10,5	14,7	12,8	9,71
SCHWERINERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Schwerin	4	1	2,8	4,9	3,7	<5,0
	Sr-90		4	-	0,011	0,022	0,015	0,010
	Cs-137		4	-	0,016	0,022	0,020	0,024
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schwerin	4	-	27,4	38,2	31,6	36,0
NIEDERSACHSEN								
SÖSETALSPERRE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Osterode am Harz	4	-	1,1	1,6	1,4	1,4
	Sr-90		4	-	0,0011	0,0037	0,0025	0,0032
	Cs-137		4	2	0,0003	0,0055	0,0004	0,0004
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	1	-	56,0	56,0	56,0	-
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Osterode am Harz	4	-	48,0	140	95,8	94,5
STEINHUDEMEER								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Wunstorf	4	1	1,2	1,5	1,3	1,5
	Cs-137		4	-	0,0098	0,025	0,017	0,012
Schwebstoff (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	3	-	380	410	397	420
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Wunstorf	4	-	48,0	120	91,0	100
NORDRHEIN-WESTFALEN								
MÖHNE-STAUSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Möhnesee	4	4	<6,0	<10,0	nn	nn
	Sr-90		1	-	0,0083	0,0083	0,0083	-
	Cs-137		4	4	<0,0038	<0,0061	nn	nn
RHEINLAND-PFALZ								
LAACHERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Maria Laach	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,040	0,049	0,045	0,045
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Maria Laach	4	-	90,5	131	120	140
SACHSEN								
TALSPERREPÖHL								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Toßfell	4	4	<8,5	<9,0	nn	nn
	Cs-137		4	1	0,0031	0,0052	0,0042	0,0031
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Toßfell	4	-	10,1	11,2	10,6	12,0

Fortsetzung Tabelle 2

GEWÄSSER Umweltmedium	Nuklid	Ort, Fluß-km	Aktivitätskonzentration					
			Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
SACHSEN-ANHALT								
ARENDSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Arendsee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,080	0,12	0,10	0,11
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Arendsee	4	-	24,7	103	62,2	56,7
SCHOLLENERSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Schollene	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	-	0,020	0,060	0,037	0,050
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Schollene	4	-	191	447	295	312
SCHLESWIG-HOLSTEIN								
SCHAALSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Seedorf	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Sr-90		4	-	0,012	0,014	0,013	0,012
	Cs-137		4	-	0,009	0,016	0,013	0,018
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Seedorf	4	-	205	249	228	212
WITTENSEE								
Oberflächenw. (Bq/l)	H-3	Gr.Wittensee	4	4	<5,0	<5,0	nn	nn
	Cs-137		4	1	0,0070	0,0196	0,011	0,013
Sediment (Bq/kgTM)	Cs-137	Gr.Wittensee	4	-	15,8	27,3	20,8	23,7

3.3.2 Meerwasser, Schwebstoff, Sediment

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

Die Aktivitätskonzentrationen langlebiger künstlicher Radionuklide in der Nordsee waren über viele Jahre überwiegend durch die kontrollierten und genehmigten Einleitungen radioaktiver Abwässer aus den europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague (Frankreich) in den Englischen Kanal und Sellafield (Großbritannien) in die Irische See bestimmt. Die künstliche Radioaktivität in der Ostsee wurde bis zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Wesentlichen durch den Fallout der atmosphärischen Kernwaffentests der sechziger Jahre bestimmt.

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

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

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

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

Das Monitoring der künstlichen Radioaktivität durch das BSH erstreckt sich in der Nordsee seit Jahren schwerpunktmäßig auf die Nuklide 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 wird mit geringerer Häufigkeit die Verteilung von Technetium-99 ermittelt.

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

In den Abbildungen 3 und 4 ist die räumliche Verteilung der Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 und Sr-90 in der Deutschen Bucht im März 1999 dargestellt. In der inneren Deutschen Bucht liegen die Konzentrationen beider Nuklide inzwischen nur noch geringfügig über den Fallout-Konzentrationen atlantischen Meerwassers. Dagegen lässt sich mit den erhöhten Konzentrationen des Cs-137 in der

äußeren Deutschen Bucht ein geringer Einfluss der WAA Sellafield nach wie vor eindeutig nachweisen.

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

In den Abbildungen 5-11 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90, Tc-99, Pu-239/240, Pu-238, Am-241 und Cm-244 in der östlichen Nordsee und den Gewässern um die Britischen Inseln im November 1999 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Aktivitätskonzentrationen aller überwachten Nuklide in der Nordsee um den Faktor 2 - 10 über denen des einströmenden Atlantikwassers liegen. Dabei sind die Konzentrationen in der Nordsee während der neunziger Jahre für die meisten der hier betrachteten Nuklide abnehmend und deutlich niedriger als in den Jahren zuvor. Eine Ausnahme stellt hier das Tc-99 dar. Die in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre in der Nordsee gefundenen Aktivitätskonzentrationen sind signifikant höher als die der vergleichbaren Kontamination des europäischen Küstenstromes durch die Anlage La Hague ein Jahrzehnt zuvor. Die andere Ausnahme ist das Nuklid Am-241. Vor allem in den Gewässern um die britischen Inseln ist die Aktivitätskonzentration dieses Nuklids in den neunziger Jahren nahezu gleichbleibend. Als Quelle sind die erheblichen Mengen des Mutternuklids Pu-241 (HWZ = 14,35 a) zu nennen, die im Sediment der Irischen See auf Grund der früheren Ableitungen eingelagert sind.

Ein signifikanter Anteil der Konzentrationen des Cs-137 und der Transurannuklide stammt aus der Resuspension des Sedimentes und nicht aus den gegenwärtigen Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield. Das Sediment der Irischen See wurde vor allem durch Einleitungen in den siebziger Jahren stark kontaminiert. Die Resuspension wird sowohl durch natürliche Ereignisse wie Stürme als auch durch menschliche Einflüsse wie Grundnetz- und Baumkurrenfischerei hervorgerufen.

Zusammenfassend kann man für die Nordsee festhalten:

1. Trotz der Einleitungen der Wiederaufarbeitungsanlagen treten die höchsten Aktivitätskonzentrationen an Cs-137 im Skagerrak durch abfließendes Ostseewasser auf. Die Ostsee stellt derzeit, und für die nächsten Jahre, die stärkste Quelle für Cs-137 in der Nordsee dar.
2. Das Sediment der Irischen See stellt die zweitstärkste Quelle für Cs-137 dar. Vergleichende Betrachtungen mit anderen konservativen Nukliden ergeben, dass zwischen 50 und 70 TBq/Jahr an Cs-137 resuspendiert werden. Dies ist das 5 bis 7fache der momentanen Einleitungen. Die in der Irischen See im Wasser befindlichen Radionuklide gelangen zu einem großen Teil in die Nordsee.
3. Die Einleitungen an Sr-90 der WAA La Hague sind gegenüber den Erhöhungen der Jahre 1991/92 wieder stark zurückgegangen. Die zeitweise erhöhten Sr-90 Einleitungen der WAA Sellafield sind im Jahre 1999 in der Nordsee kaum noch nachzuweisen.
4. Die Einleitungen an Tc-99 der WAA Sellafield führen trotz des wesentlich längeren Transportweges zu höheren Konzentrationen in der Nordsee als dies für Einleitungen der WAA La Hague Anfang der neunziger Jahre nachgewiesen wurde.
5. Die immer noch erheblichen Konzentrationen an Transuranen in der Irischen See liegen im Wesentlichen in den hohen spezifischen Aktivitäten des dortigen Sedimentes durch die hohen Ableitungen der früheren Jahre begründet. Dies lässt sich aus den im Wasser gefundenen Aktivitätsverhältnissen ableiten, die nicht denen der aktuellen Einleitungen, sondern denen des Sedimentinventars entsprechen.

Tritium ist das einzige Radionuklid, das von beiden Wiederaufarbeitungsanlagen in den letzten Jahren im erheblichen Maße verstärkt eingeleitet wurde. Die Tritiumkonzentrationen in der Deutschen Bucht und in der westlichen Ostsee im Jahr 1999 sind in Abbildung 12 dargestellt. Die langjährige Entwick-

lung der mittleren Tritiumgehalte der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (Abb. 13) 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 1999 sind die deutlich höheren Einleitungen der WAA La Hague. Da in der marinen Nahrungskette keine Anreicherung von Tritium stattfindet, werden höhere Tritiumkonzentration im Meer nicht als radiologisch relevant für den Menschen angesehen.

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

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

Abbildung 14 stellt den Verlauf der Aktivitätskonzentration von Cs-137 und Sr-90 an der Position Schleimündung in der Ostsee seit 1961 dar. Deutlich zu erkennen sind die höheren Konzentrationen beider Nuklide in den sechziger Jahren und an Cs-137 seit dem Tschernobyl-Unfall. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Cs-137-Konzentration an der Position "Schleimündung" (54°40'N, 010°05'E) sind durch den jahreszeitlich schwankenden Ein- und Ausstrom des Ostseewassers bestimmt.

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

In den Abbildungen 15 bis 17 sind die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137, Sr-90 und Tc-99 in der westlichen Ostsee und im Kattegat im Juni 1999 dargestellt.

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 lagen im untersuchten Gebiet der Ostsee zwischen 6 und 80 Bq/m³ (Abb. 15). Obwohl die Kontamination der westlichen Ostsee sich gegenüber den Vorjahren verringert hat, ist sie immer noch etwa 10 mal höher als die der Deutschen Bucht. Während die Wassersäule der Ostsee im überwiegenden Teil bis hinunter zum Meeresboden eine sehr homogene Kontamination zeigt, lässt sich im Bodenwasser des Kattegat und der Beltsee der Einstrom des Nordseewassers mit deutlich geringerem Gehalt an Cs-137 und Sr-90, aber höherem Tc-99-Gehalt erkennen. Das Tc-99 (Abb. 17), aus der WAA Sellafield stammend, lässt sich derzeit nur im westlichen Teil der Ostsee nachweisen.

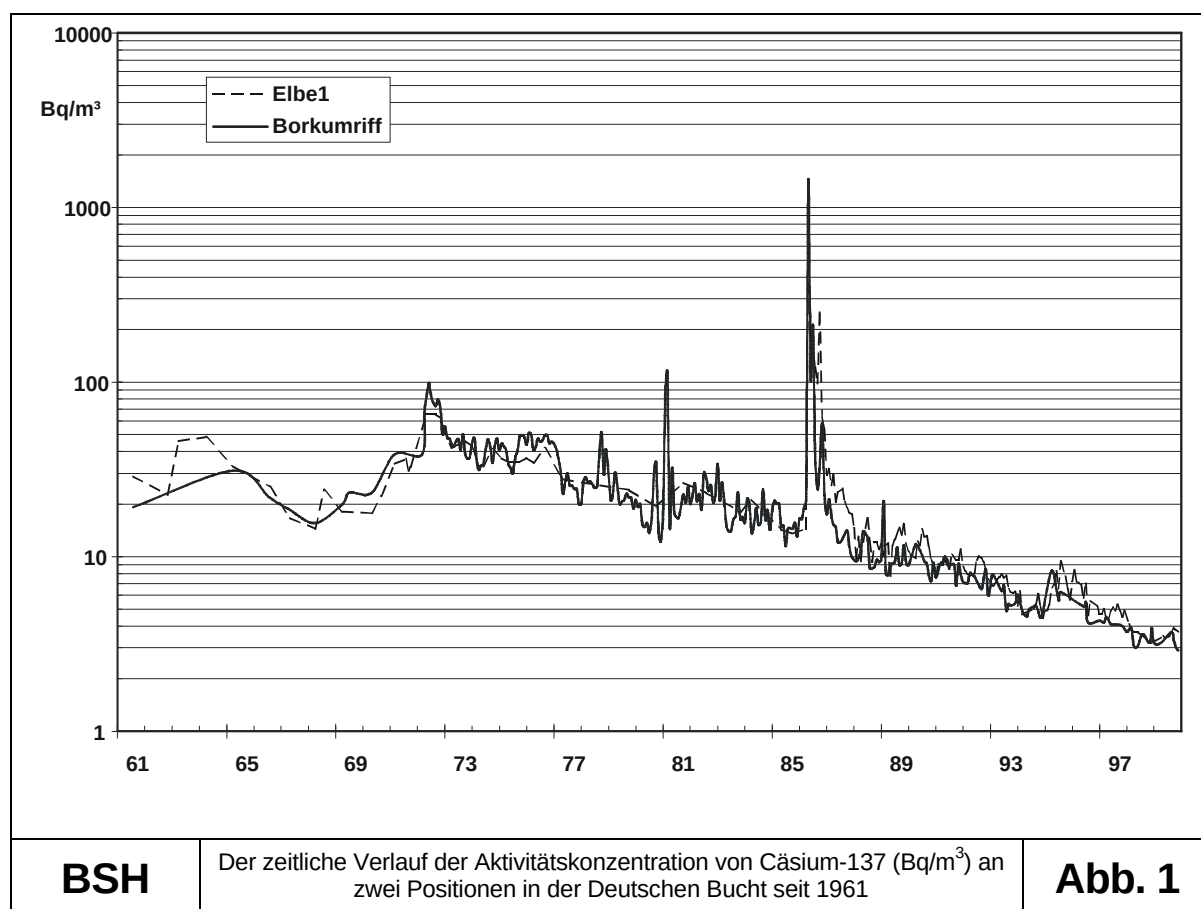
Sedimente

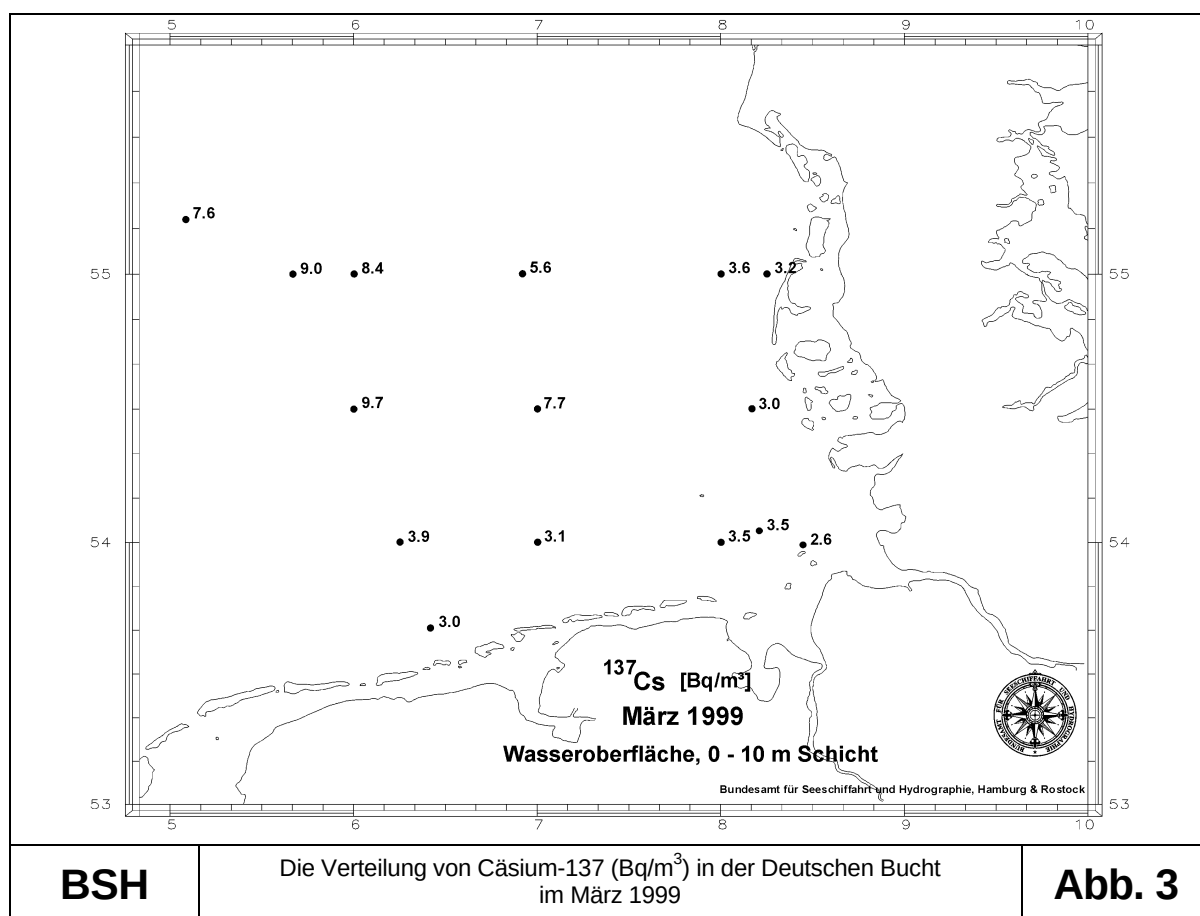
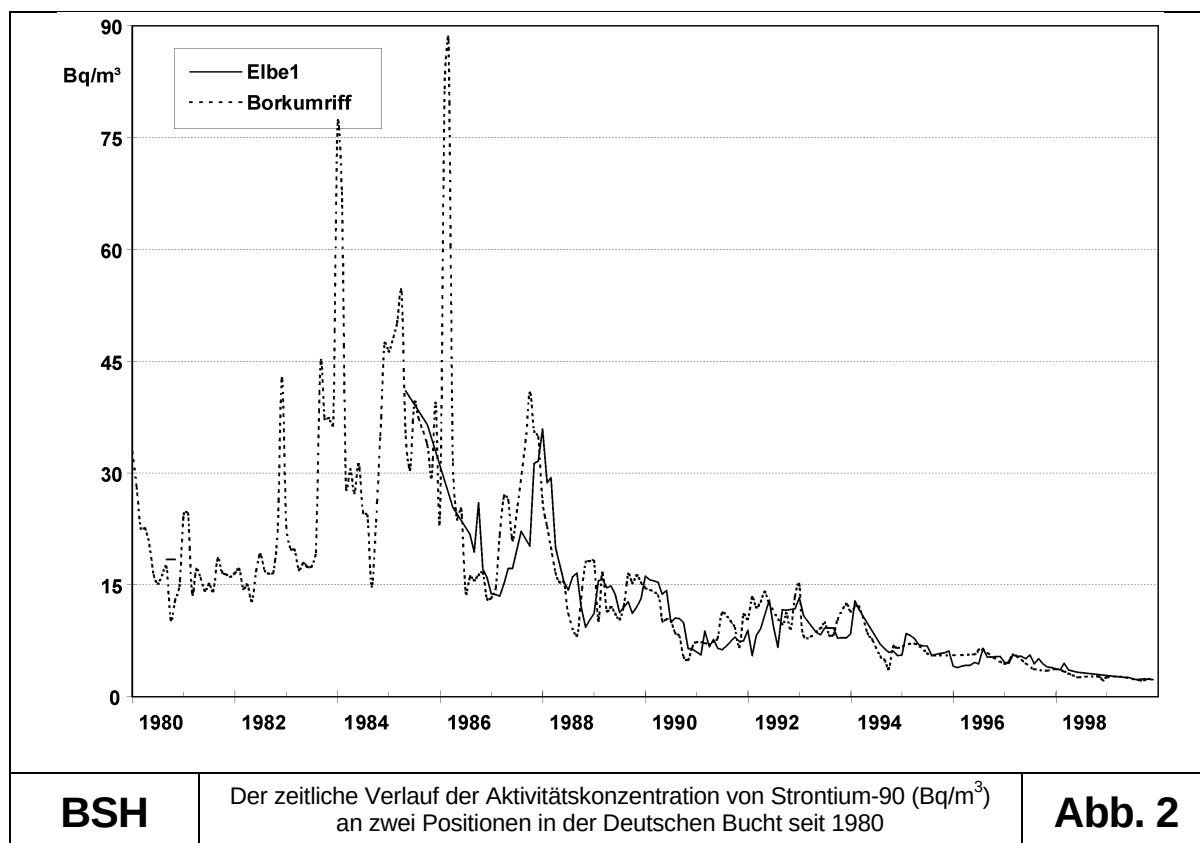
Das Sediment ist eine wesentliche Senke für den Verbleib von Schadstoffen, die ins Meer eingetragen wurden. Je nach chemischen Eigenschaften der Elemente und je nach Schwebstoffbeschaffenheit reichern sich die radioaktiven Nuklide durch Sedimentation am Meeresboden an. Für eine Reihe von Nukliden bedeutet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

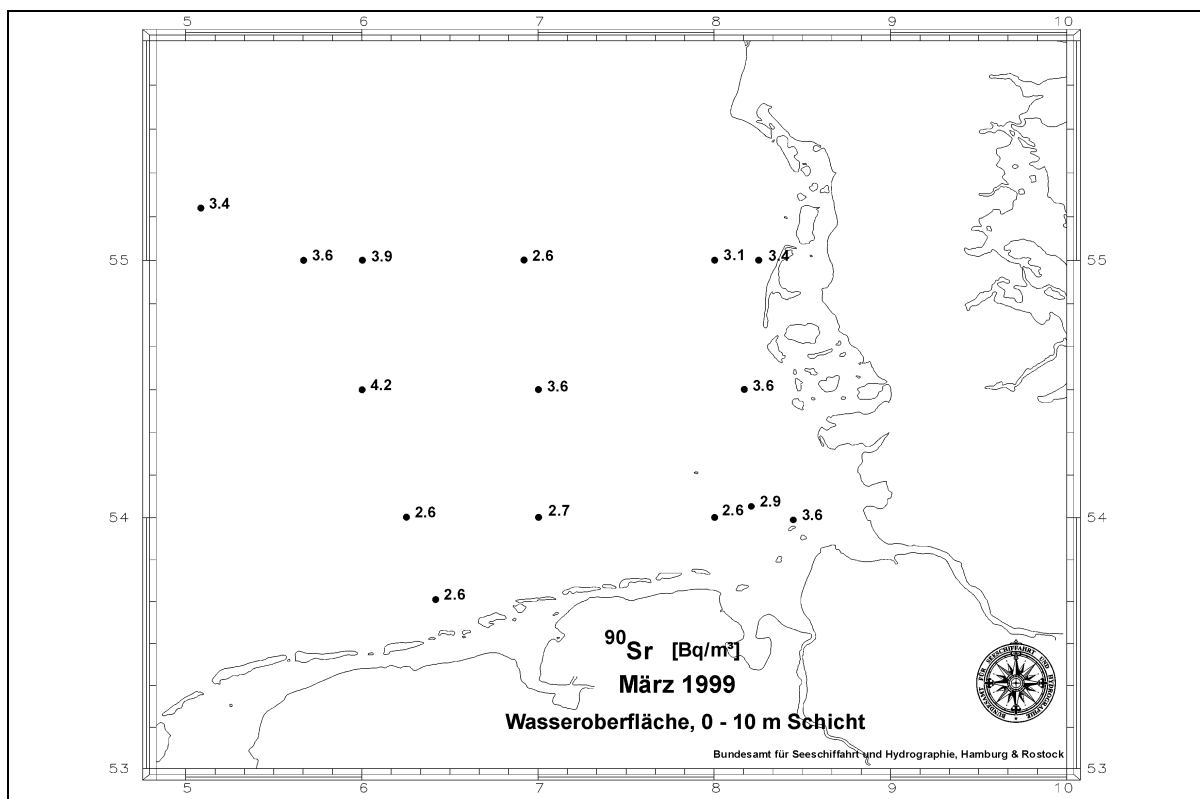
Die Oberflächensedimente der Ostsee weisen höhere spezifische Aktivitäten als diejenigen der Nordsee auf. Diese Aussage gilt in den meisten Fällen auch für natürliche Radionuklide. Einerseits ist dieser Effekt darauf zurückzuführen, dass die Korngröße der meist schlickigen Sedimente der Ostsee kleiner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

Die resultierenden Inventare an Cs-137 sind für die westliche Ostsee in Abbildung 18 dargestellt. Im Bereich der deutschen Wirtschaftszone sind 1999 Inventare von 0,3 bis 5,1 kBq/m² gemessen worden.

Das Cs-137 aus dem Tschernobyl-Unfall wurde in den Sedimenten der westlichen und zentralen Ostsee regional sehr unterschiedlich deponiert. Die Lage der ursprünglichen Deposition findet sich vielfach nicht mehr an der Sedimentoberfläche, sondern je nach Ort in Tiefen von 2 bis 8 cm. Eine Auswahl von Sedimentprofilen von Stationen aus der westlichen Ostsee ist in Abbildung 19 dargestellt. Die örtlich stark variierende Tiefenlage der Höchstkonzentration ist ausschließlich auf Unterschiede in den Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. Die Aktivitätskonzentrationen im Meerwasser sind wesentlich gleichförmiger (siehe auch Abb. 15).



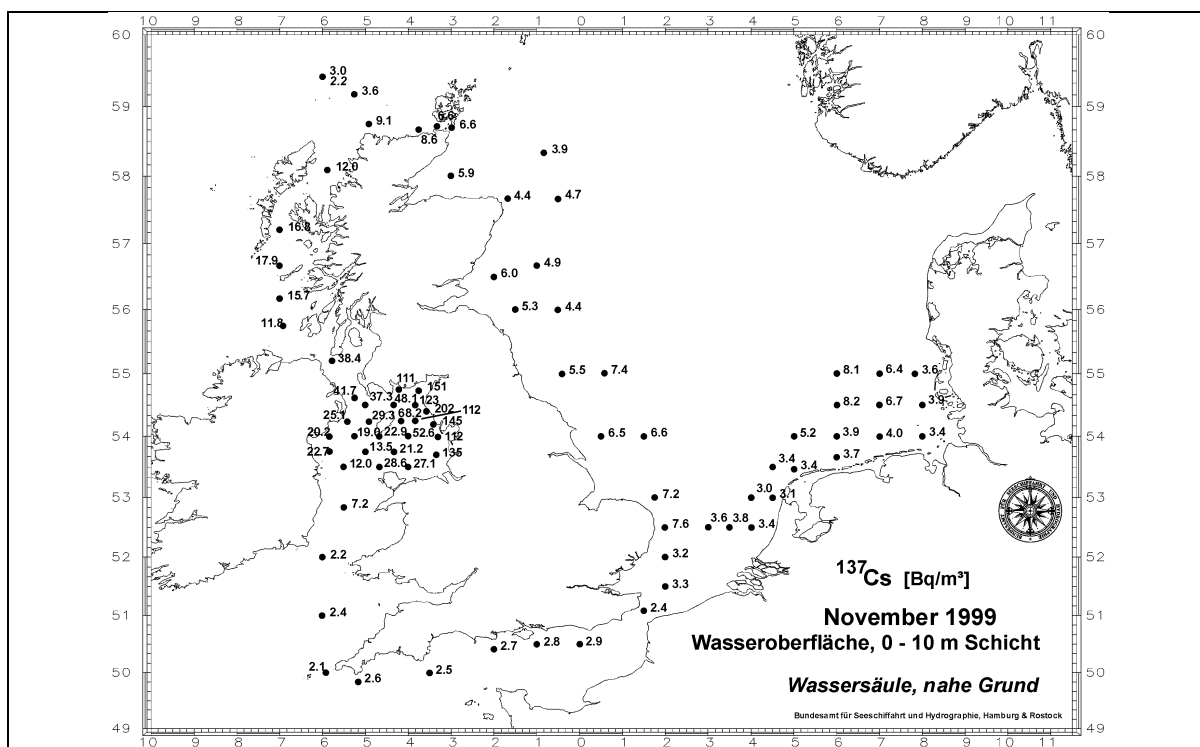




BSH

Die Verteilung von Strontium-90 (Bq/m^3) in der Deutschen Bucht
im März 1999

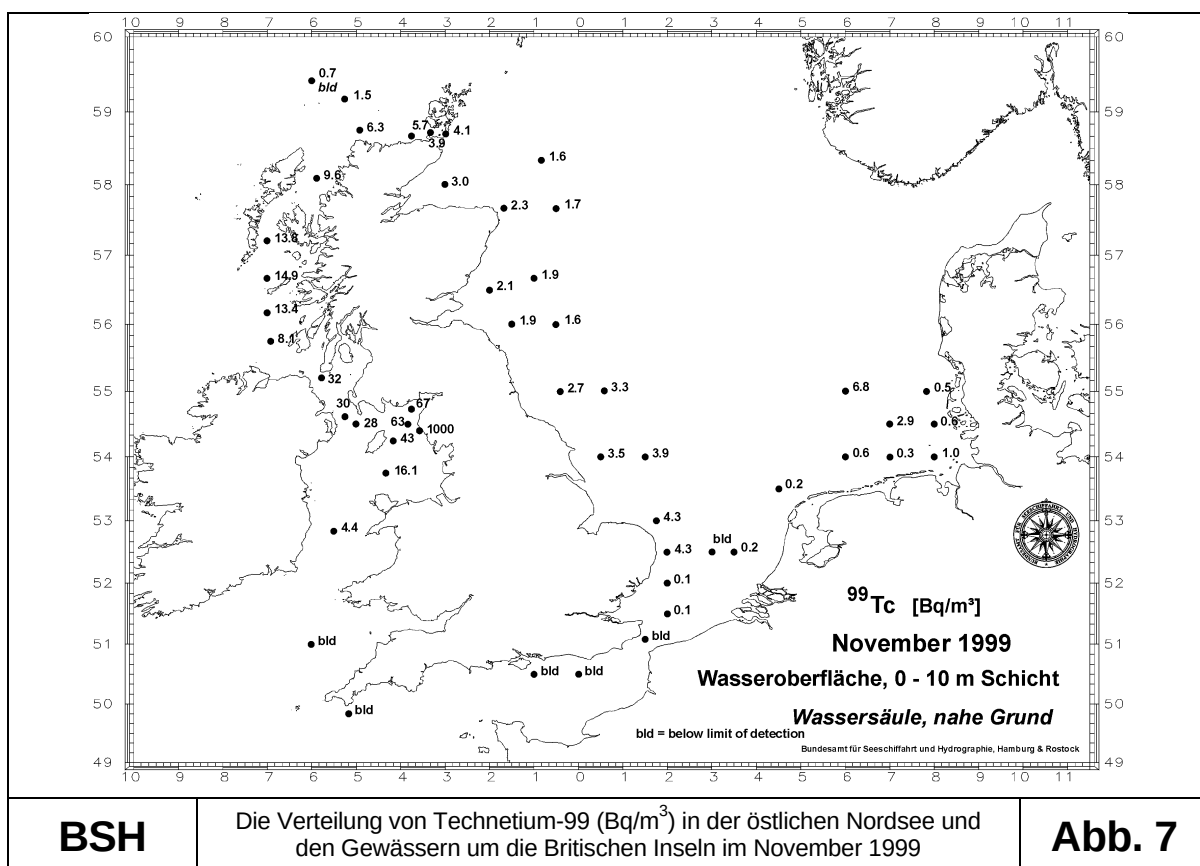
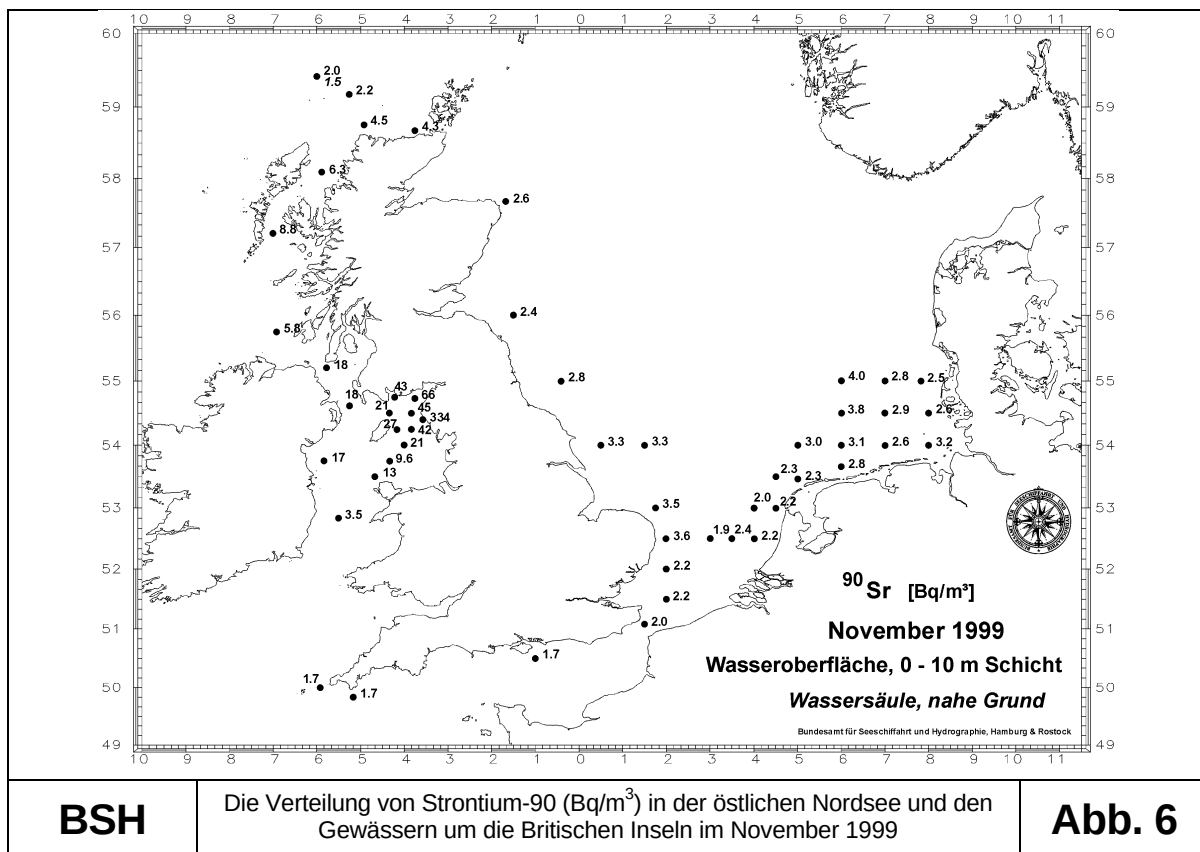
Abb. 4

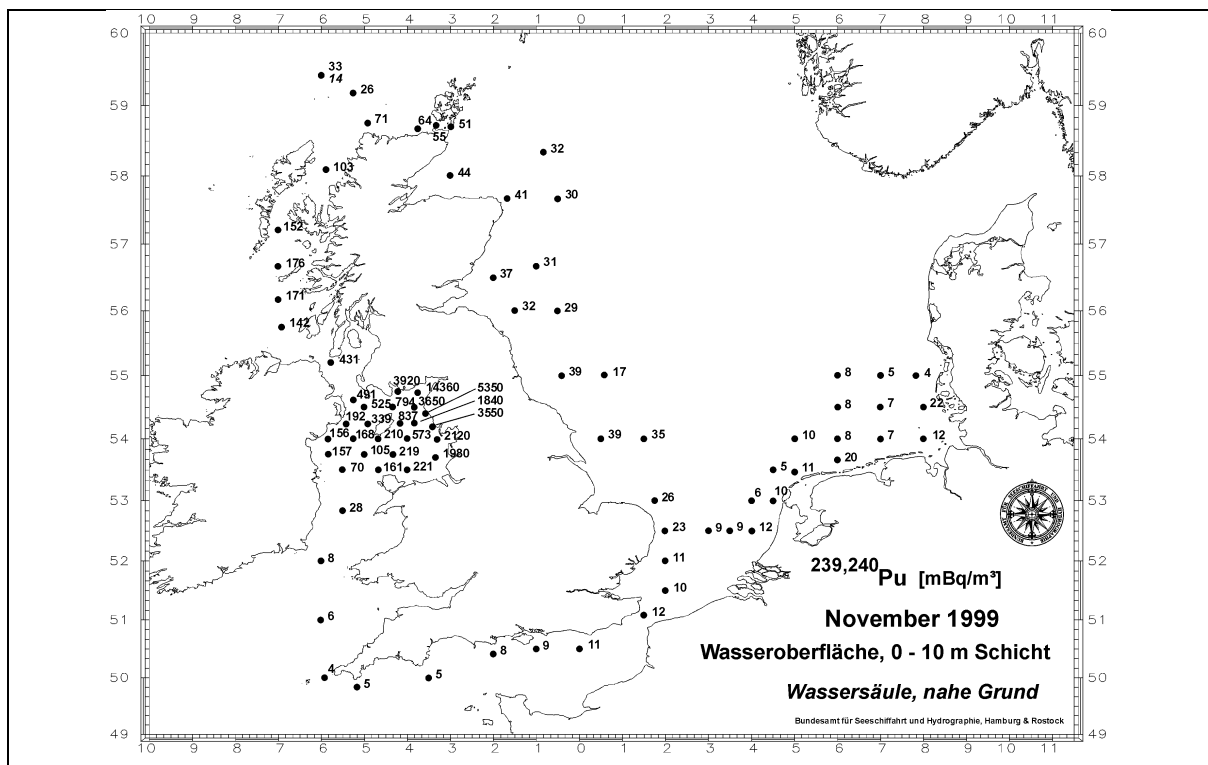


BSH

Die Verteilung von Cäsium-137 (Bq/m^3) der östlichen Nordsee und den
Gewässern um die Britischen Inseln im November 1999

Abb. 5

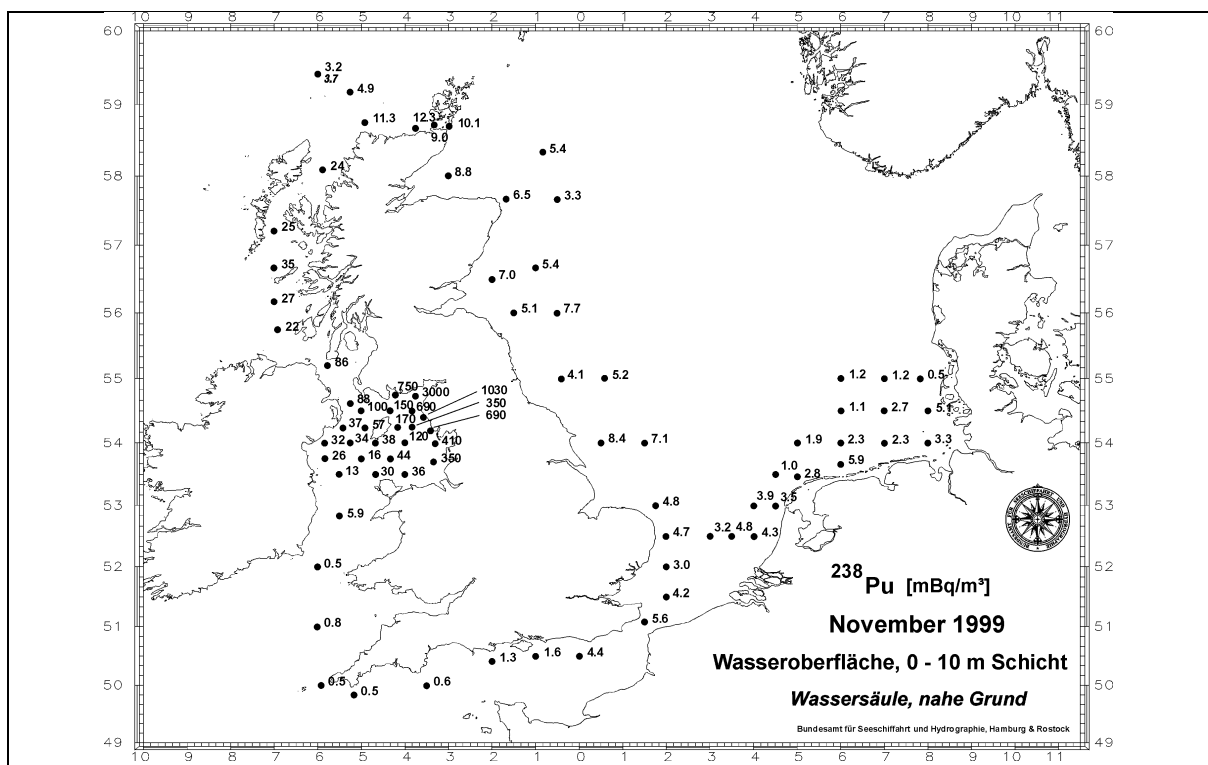




BSH

Die Verteilung von Plutonium-239/240 (mBq/m³) in der östlichen Nordsee und den Gewässern um die Britischen Inseln im November 1999

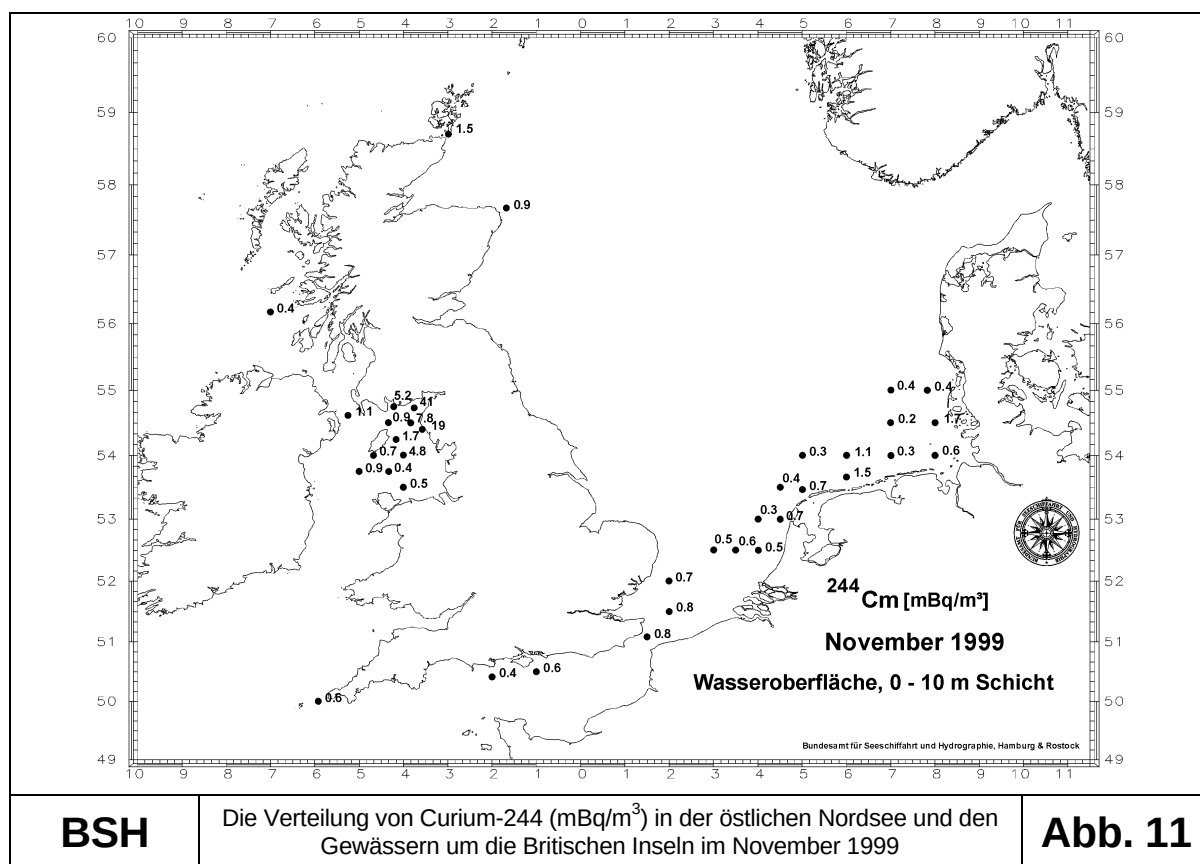
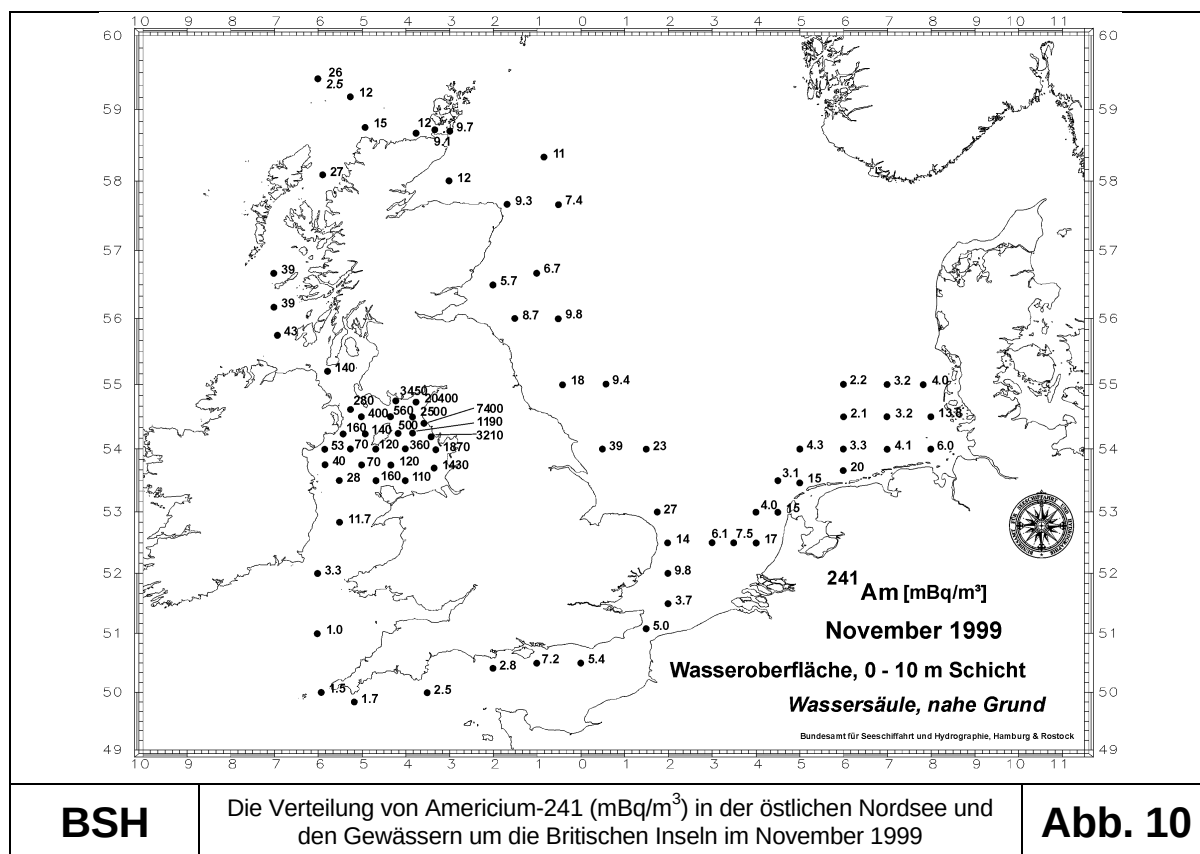
Abb. 8

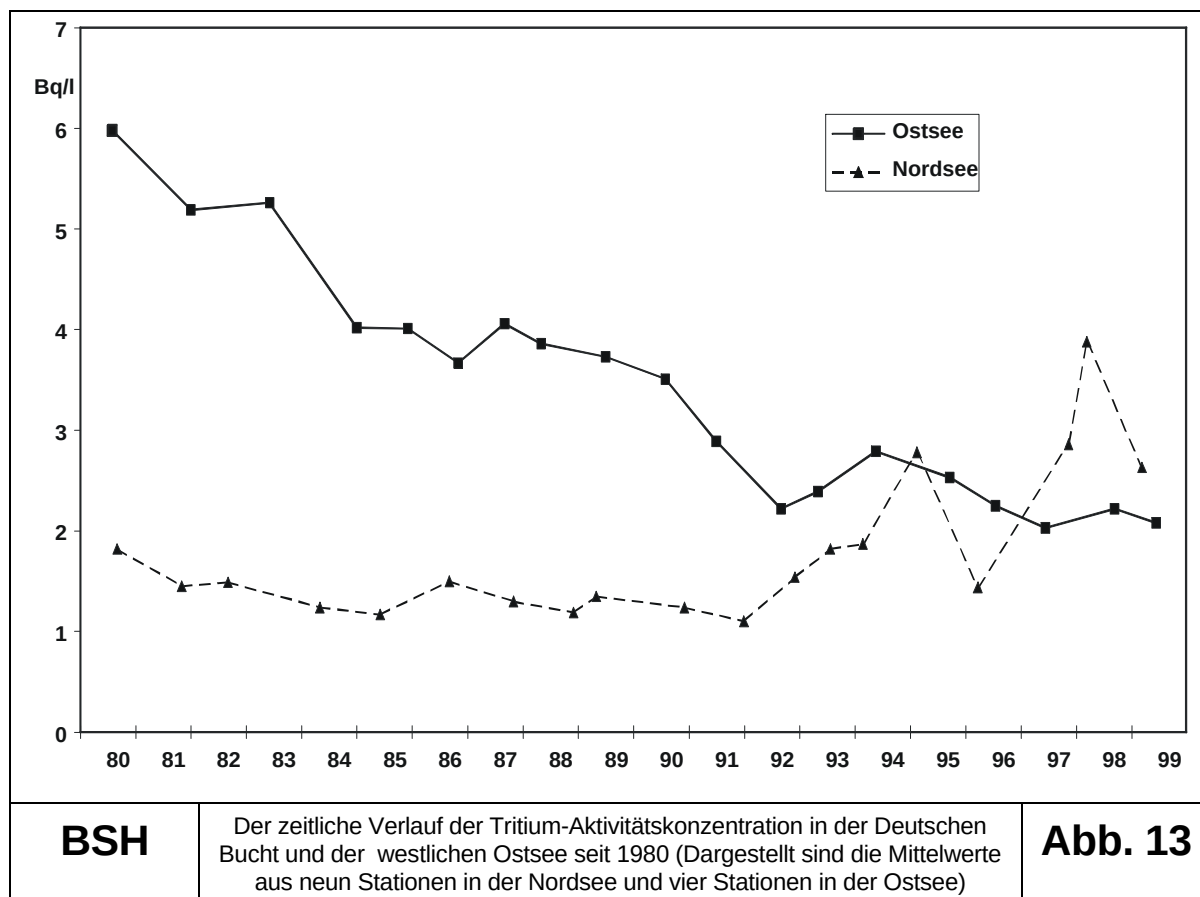
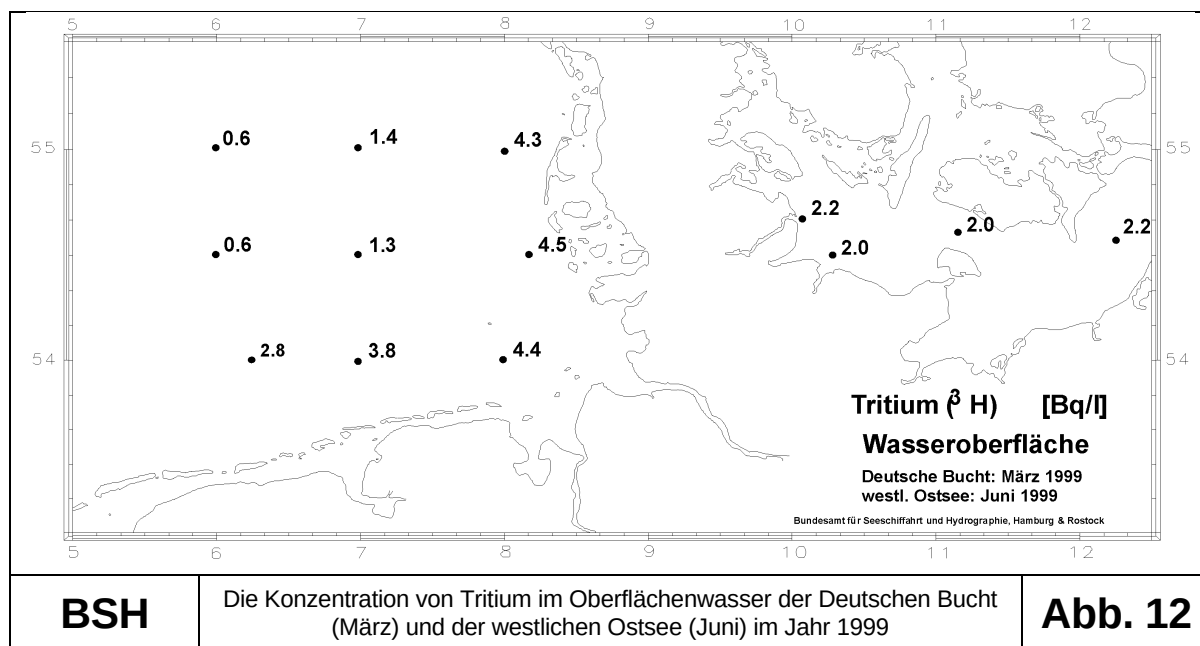


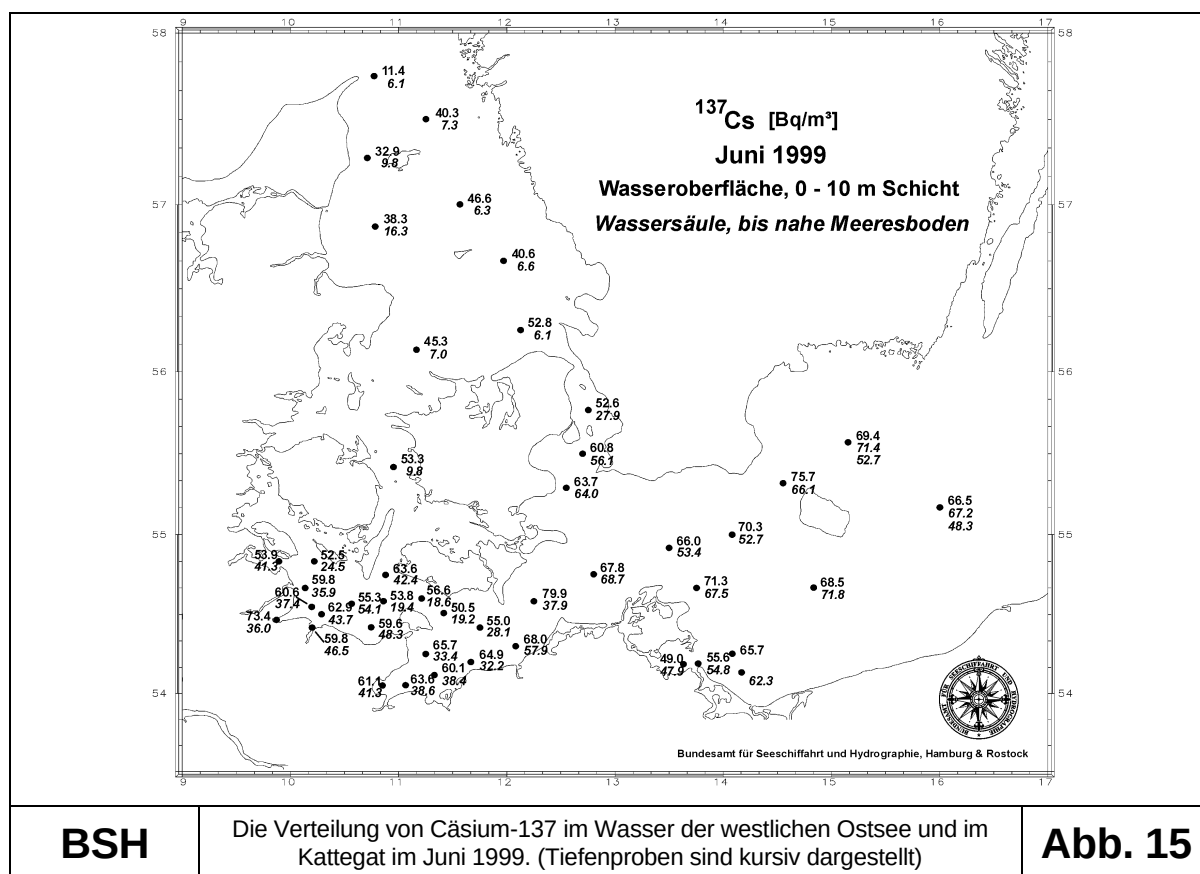
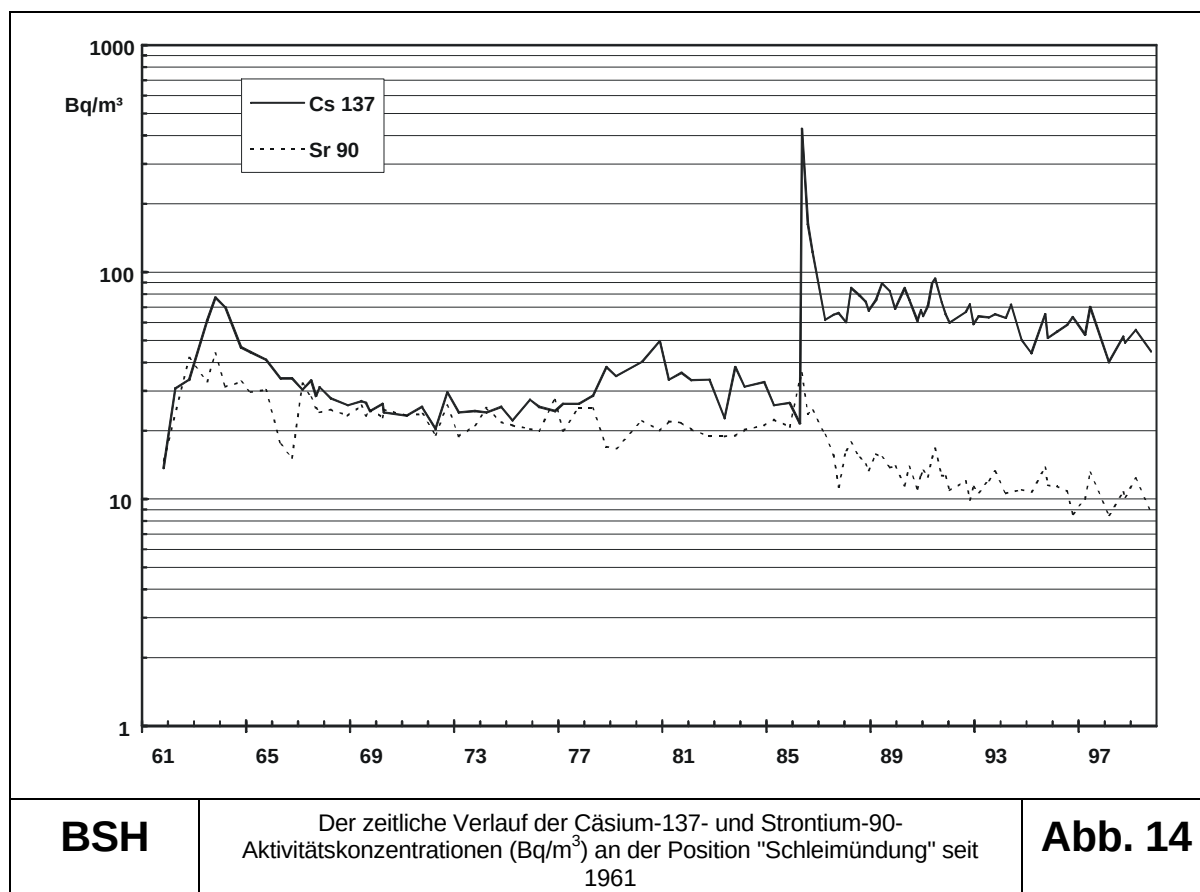
BSH

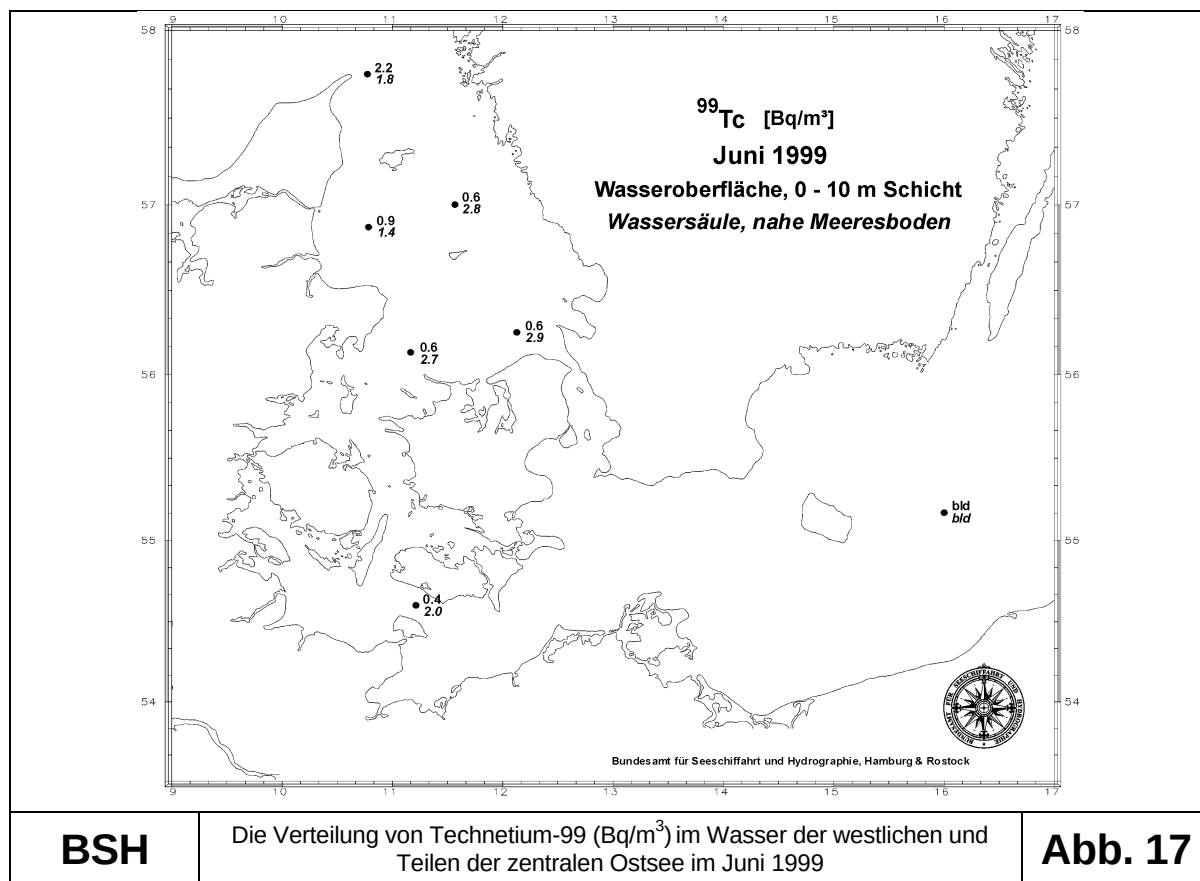
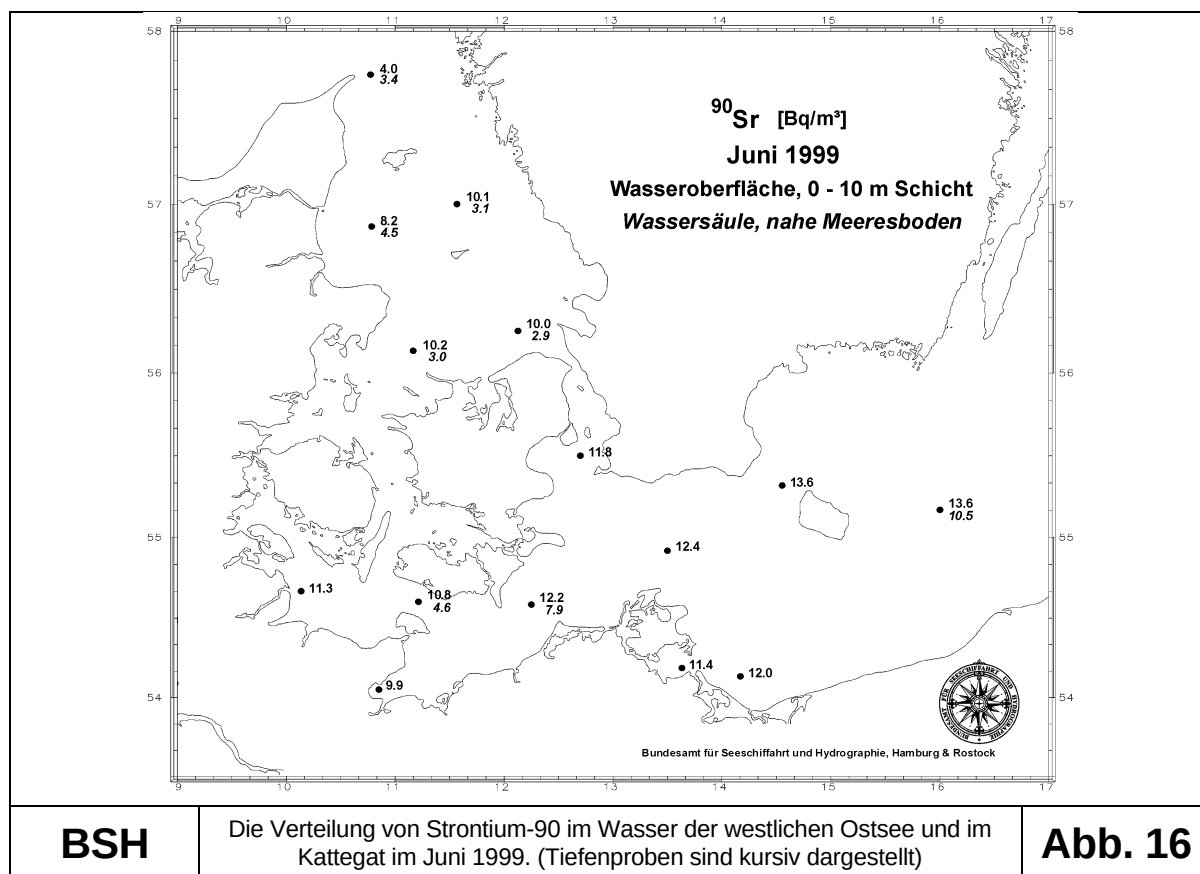
Die Verteilung von Plutonium-238 (mBq/m³) in der östlichen Nordsee und den Gewässern um die Britischen Inseln im November 1999

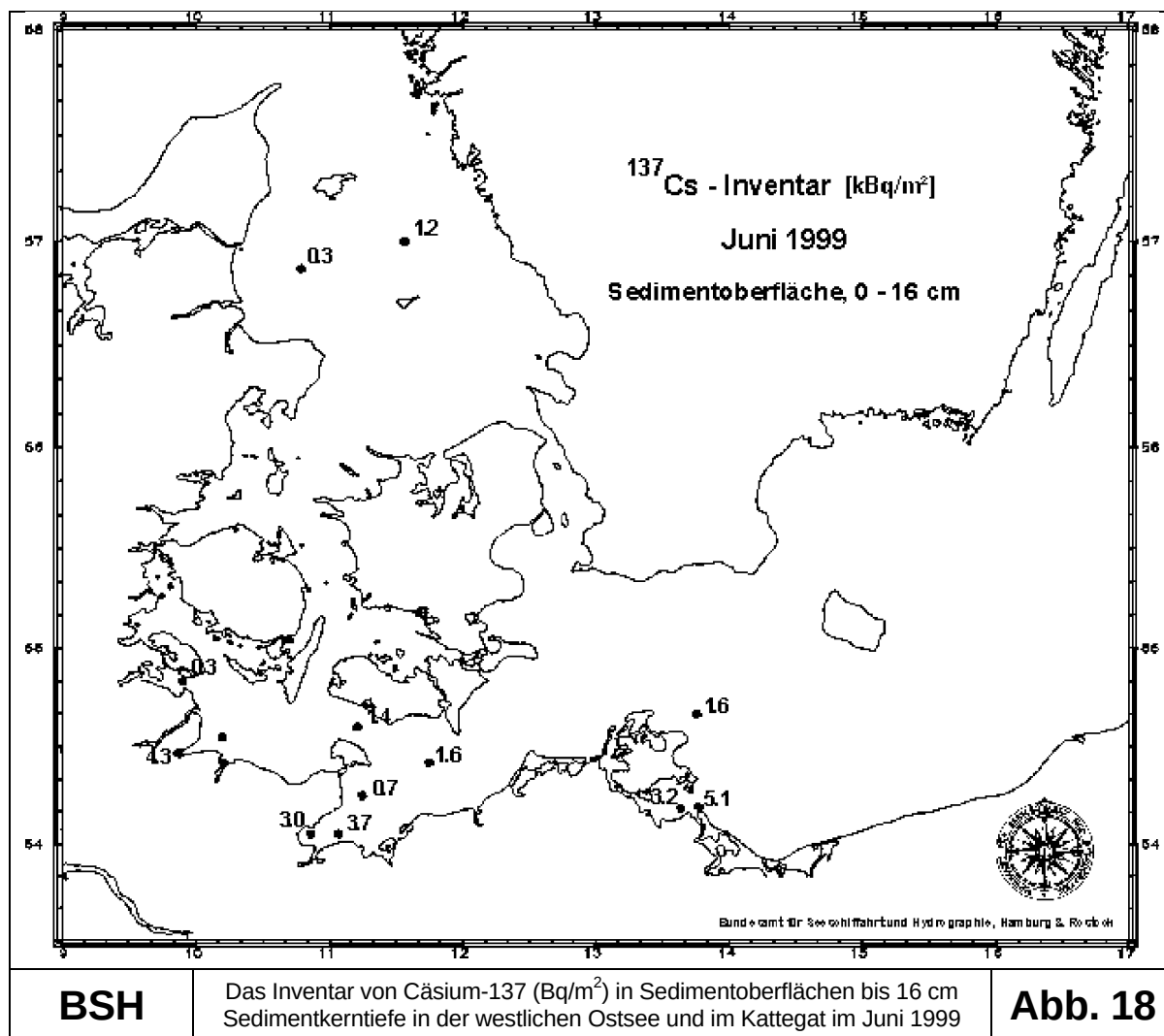
Abb. 9

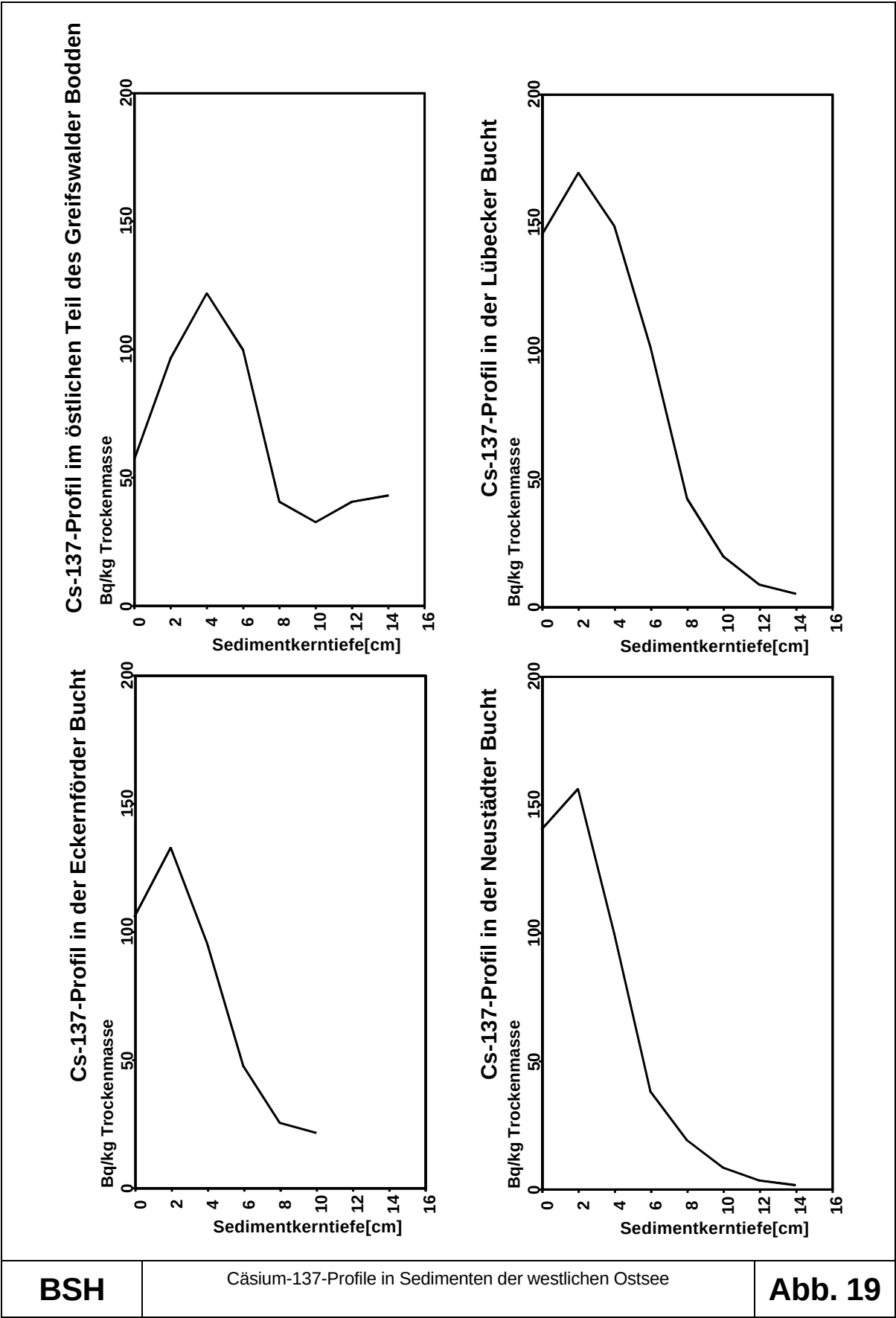












3.4 Lebensmittel und Trinkwasser (einschließlich Grundwasser)

3.4.1 Grundwasser und Trinkwasser

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz sind im Jahr 1999 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. Der Bericht berücksichtigt alle bis zum 30.11.2000 bei der Leitstelle eingegangenen Daten.

Grundwasser

Die Überwachung von Grundwasser wurde an 65 Probenentnahmestellen vorgenommen.

Die Aktivitätskonzentrationen für **Cäsium-137** liegen unterhalb der bei den Messungen gefundenen Nachweisgrenzen (NWG) von 0,67 mBq/l bis 2,4 mBq/l, die im Wesentlichen vom Volumen des zur Messung aufbereiteten Wassers abhängen. Der Median sämtlicher Werte beträgt <4 mBq/l (1998: <3,9 mBq/l).

In 27 % der gemessenen Proben konnte **Strontium-90** mit Werten der Aktivitätskonzentrationen von 0,5 mBq/l bis 11 mBq/l (1998: 0,5 bis 6,1 mBq/l) nachgewiesen werden. Der Median aller Werte liegt bei 2,3 mBq/l (1998: 3,5 mBq/l).

Tritium wurde in 6 Proben in Konzentrationen von 1,3 Bq/l bis 2,7 Bq/l (1998: 1,2 bis 2,3 Bq/l) nachgewiesen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die derzeitige Tritiumkonzentration im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegt (Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hildesheim, 1998).

Trinkwasser

Von den amtlichen Messstellen der Länder wurden Messwerte für 78 Trinkwasser- und 58 Rohwasser-Probenentnahmestellen mitgeteilt.

Für Cs-137 liegen mehr als 96 % der Messwerte unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen von 0,089 mBq/l bis 62 mBq/l, die tatsächlich gemessenen Werte liegen zwischen 0,076 mBq/l und 10 mBq/l (1998: 0,14 und 17 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt bei <5,0 mBq/l (1998: <4,8 mBq/l).

In 59% der untersuchten Proben konnte Sr-90 nachgewiesen werden. Die Aktivitätskonzentrationen liegen zwischen 0,059 mBq/l und 12 mBq/l (1998: 0,055 und 10 mBq/l), der Median sämtlicher Werte liegt bei <5,0 mBq/l (1998: 4,7 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.

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

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

Tabelle 1 Allgemeine Überwachung von Grundwasser und Trinkwasser 1999
(Stand 30.11.2000)

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		Gesamt	<NWG			
Aktivitätskonzentration (Bq/l)						
Grundwasser						
alle Bundesländer	Cs-137	119	119			<0,004
	K-40	119	55	0,019	2,8	0,14
	Sr-90	56	41	0,0005	0,011	0,0023
	H-3	6	0	1,3	2,7	1,7
Trinkwasser						
alle Bundesländer	Cs-137	290	279	0,000076	0,01	<0,005
	K-40	290	171	0,012	2,1	0,14
	Sr-90	82	34	0,000059	0,012	<0,005

3.4.2 Milch und Milchprodukte

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

Die Kontamination von Milch und Milchprodukten mit dem vor und nach dem Tschernobylunfall deponierten **Cäsium-137**, die bereits in den Vorjahren ein sehr niedriges Niveau erreicht hatte, vermindert sich gegenwärtig von Jahr zu Jahr nur noch äußerst geringfügig. Cs-134 war wegen der kürzeren Halbwertszeit nicht mehr nachzuweisen. Die **Strontium-90**-Aktivitätskonzentration ist gegenüber dem Jahr 1998 auf extrem niedrigem Niveau ebenfalls nahezu konstant geblieben.

Die Messwerte, die für Milch und Milchprodukte ermittelt wurden, können in diesem Bericht wegen dessen begrenzten Umfangs nur in komprimierter Form wiedergegeben werden. In Tabelle 1 sind für die Radionuklide Sr-90 und Cs-137 die Anzahl der Messwerte N, die Mittelwerte und die Bereiche der Einzelwerte für Rohmilchproben aufgeführt. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre aufgenommen worden. Die Proben, an denen die Messungen vorgenommen wurden, stammen fast ausschließlich aus größeren Sammeltanks von Molkereien, so dass aus dieser Sicht eine Mittelung sinnvoll erschien. Allerdings fehlten zu den Messwerten in der Regel ergänzende Angaben, so dass bei der Mittelwertbildung keinerlei Wichtung durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus überschätzen die Mittelwerte, die mit dem Zeichen "<" gekennzeichnet sind, die Realität, weil in die Berechnungen zahlreiche Werte von Nachweisgrenzen eingegangen sind, die über den realen Werten lagen. Es verbleiben also einige Unsicherheiten, die es zu beachten gilt, wenn die in der Tabelle enthaltenen Jahresmittelwerte interpretiert werden. Die Mittelwerte für das Radionuklid Sr-90, die für Rohmilch in Tabelle 1 angegeben werden, basieren auf Messergebnissen der Ländermessstellen und auf zusätzlichen Messungen der Leitstelle an Milchpulverproben aus dem gesamten Bundesgebiet, die monatlich das gesamte Jahr über durchgeführt wurden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Verlauf der Jahresmittelwerte der Sr-90- und Cs-137-Aktivitäten der Milch für den Zeitraum von 1960 bis 1999.

Tabelle 2 gibt für das Bundesgebiet einen Überblick über die Anzahl der Messwerte N und die Bereiche der Einzelwerte für wichtige Radionuklide in einigen Milchprodukten. Messungen der Cs-137-Aktivitäten eines MilCHFertigpräparates (Säuglingsnahrung), das in Schleswig-Holstein hergestellt wurde, ergaben im Berichtsjahr durchschnittlich 0,6 Bq/kg (Bandbreite: 0,2 bis 1,2 Bq/kg).

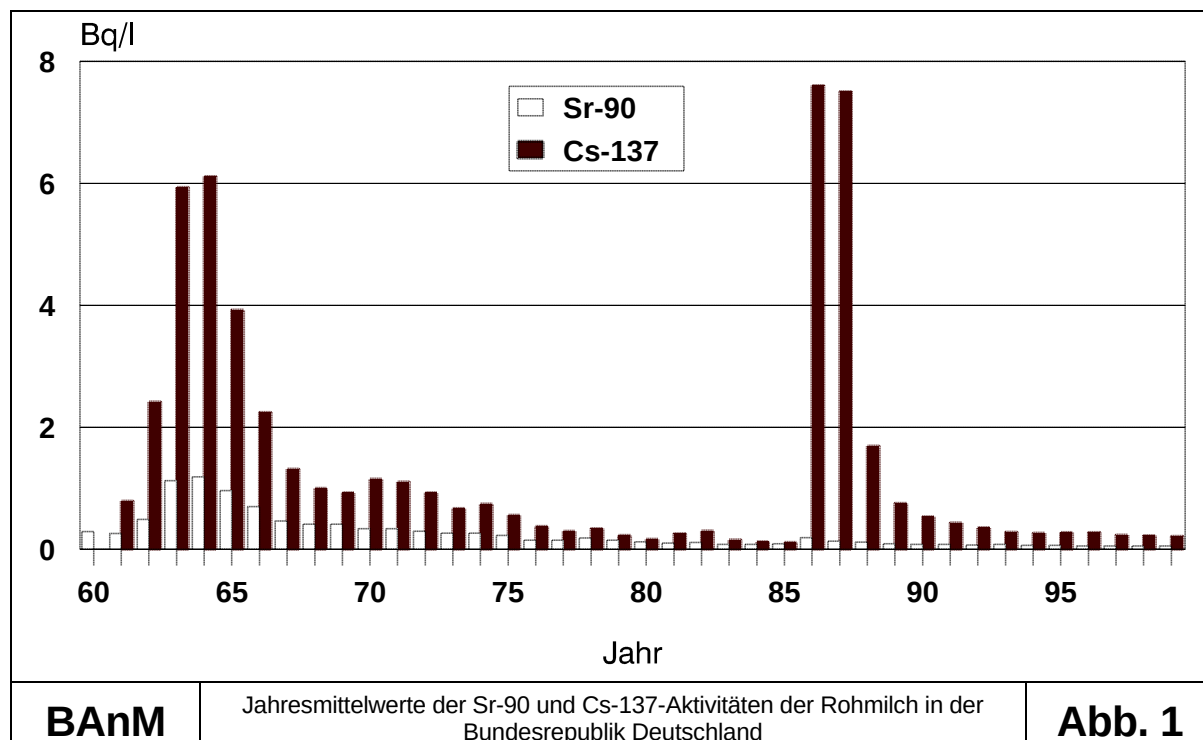


Tabelle 1 Radioaktive Kontamination der Rohmilch

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonzentration (Bq/l)			
		Sr-90		Cs-137	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1997	35	0,10	96	<0,18
	1998	36	0,10	98	<0,17
	1999	32	0,10 (0,05 - 0,17)	94	<0,16 (0,03 - 0,60)
Bayern	1997	104	0,06	272	<0,29
	1998	104	0,06	260	<0,25
	1999	106	0,07 (0,01 - 0,24)	275	<0,24 (<0,01 - 0,89)
Berlin	1997	12	0,05	23	<0,12
	1998	12	0,03	24	<0,22
	1999	12	0,02 (0,02 - 0,03)	24	<0,11 (0,02 - 0,54)
Brandenburg	1997	12	0,06	36	<0,38
	1998	12	0,06	36	<0,47
	1999	16	0,04 (0,02 - 0,07)	41	<0,30 (<0,07 - 0,70)
Bremen	1997	11	<0,06	11	<0,40
	1998	12	<0,06	12	0,52
	1999	12	<0,03 (<0,01 - 0,13)	12	0,44 (0,03 - 1,47)
Hamburg	1997	12	0,04	12	<0,13
	1998	12	0,05	12	<0,13
	1999	a)	a)	12	<0,13 (<0,09 - <0,15)
Hessen	1997	25	0,08	50	<0,23
	1998	15	0,05	41	<0,23
	1999	16	0,06 (0,05 - 0,07)	40	<0,11 (0,02 - 0,43)
Mecklenburg-Vorpommern	1997	46	0,04	70	<0,25
	1998	46	0,04	70	<0,22
	1999	48	0,05 (0,02 - 0,14)	72	<0,19 (<0,06 - 0,47)
Niedersachsen	1997	101	0,05	222	<0,29
	1998	134	0,05	245	<0,31
	1999	122	0,05 (0,02 - 0,08)	243	<0,31 (<0,06 - 2,20)
Nordrhein-Westfalen	1997	54	<0,05	148	<0,15
	1998	48	<0,04	137	<0,13
	1999	54	0,04 (0,02 - 0,12)	147	<0,15 (<0,02 - 0,76)
Rheinland-Pfalz	1997	23	0,06	49	<0,13
	1998	25	0,05	60	<0,13
	1999	22	0,05 (0,04 - 0,06)	46	<0,11 (0,03 - <0,22)
Saarland	1997	12	<0,03	12	<0,20
	1998	12	<0,03	12	<0,20
	1999	10	<0,03 (<0,02 - 0,04)	12	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	1997	12	0,04	24	<0,06
	1998	12	0,04	24	<0,06
	1999	12	0,03 (0,02 - 0,05)	24	<0,08 (<0,06 - <0,12)
Sachsen-Anhalt	1997	16	<0,06	40	<0,31
	1998	12	<0,04	36	<0,23
	1999	12	0,04 (0,02 - 0,09)	28	<0,38 (<0,08 - 3,50)
Schleswig-Holstein	1997	52	0,05	112	<0,14
	1998	51	0,05	112	<0,15
	1999	51	0,05 (0,02 - 0,08)	111	<0,16 (0,03 - 0,94)
Thüringen	1997	19	0,03	31	<0,08
	1998	21	0,03	33	<0,09
	1999	26	0,03 (0,02 - 0,06)	38	<0,07 (<0,02 - 0,12)
Bundesrepublik (gesamt)	1997	546	<0,05	1208	<0,23
	1998	564	<0,05	1212	<0,22
	1999	551	<0,05 (0,01 - 0,24)	1219	<0,21 (<0,01 - 3,50)

Tabelle 2 Bereiche der radioaktiven Kontamination von Milch und Milchprodukten

Aktivitätskonzentration (Bq/kg)

Produkt	N	Cs-134 Bq/kg		Cs-137 Bq/kg	
		max.Wert	min.Wert	max.Wert	min.Wert
Rohmilch	1219	<0,23	<0,01	3,50	<0,01
Trinkmilch	69	<0,22	<0,01	2,17	<0,01
Buttermilch	8	<0,13	<0,01	0,48	<0,04
Butter	4	<0,24	<0,10	0,28	0,15
Sahne	4	<0,09	<0,07	0,34	<0,12
Joghurt	13	<0,14	<0,01	0,58	<0,14
Kefir	2	<0,10	<0,01	<0,10	<0,02
Dickmilch	1	<0,08	-	<0,09	-
Mischmilcherzeugnisse	6	<0,17	<0,08	10,0	<0,10
Quark	4	<0,15	<0,06	0,39	0,13
Friskkäse	11	<0,20	<0,02	0,23	<0,03
Käse	12	<0,19	<0,05	<0,23	<0,07
Milchpulver (alle Sorten)	28	<0,29	<0,10	4,80	<0,14
Importe					
Quark	1	<0,08	-	<0,11	-
Käse	134	<0,24	<0,01	0,70	<0,01
Friskkäse	6	<0,10	<0,09	0,15	<0,08
Schmelzkäse	1	<0,03	-	<0,03	-
Lakenkäse	4	<0,19	<0,04	0,16	<0,05
Schafskäse	15	<0,20	<0,06	0,70	<0,04
Ziegenkäse	2	<0,14	-	0,61	<0,16
Milchpulver	6	<0,20	<0,15	0,57	<0,21

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 das Jahr 1999 zusammengefassten **Cäsium-137**-Gehalte durchgeführt. Dies fand unter Einbeziehung der unterhalb der Nachweisgrenze liegenden, nicht-signifikanten Messwerte statt (die Statistik von Datensätzen mit Werten unterhalb der Nachweisgrenze erfolgte 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 1999 ein Wert zwischen 0,010 und 0,0075 zu erwarten. Die verwendeten Aktivitätsangaben in Bq/kg beziehen sich im folgenden immer auf die Feuchtmasse.

Tabelle 1 zeigt für 1999 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 0,008 (Süddeutschland) und 0,007 (Norddeutschland).

Tabelle 1 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen (1999)

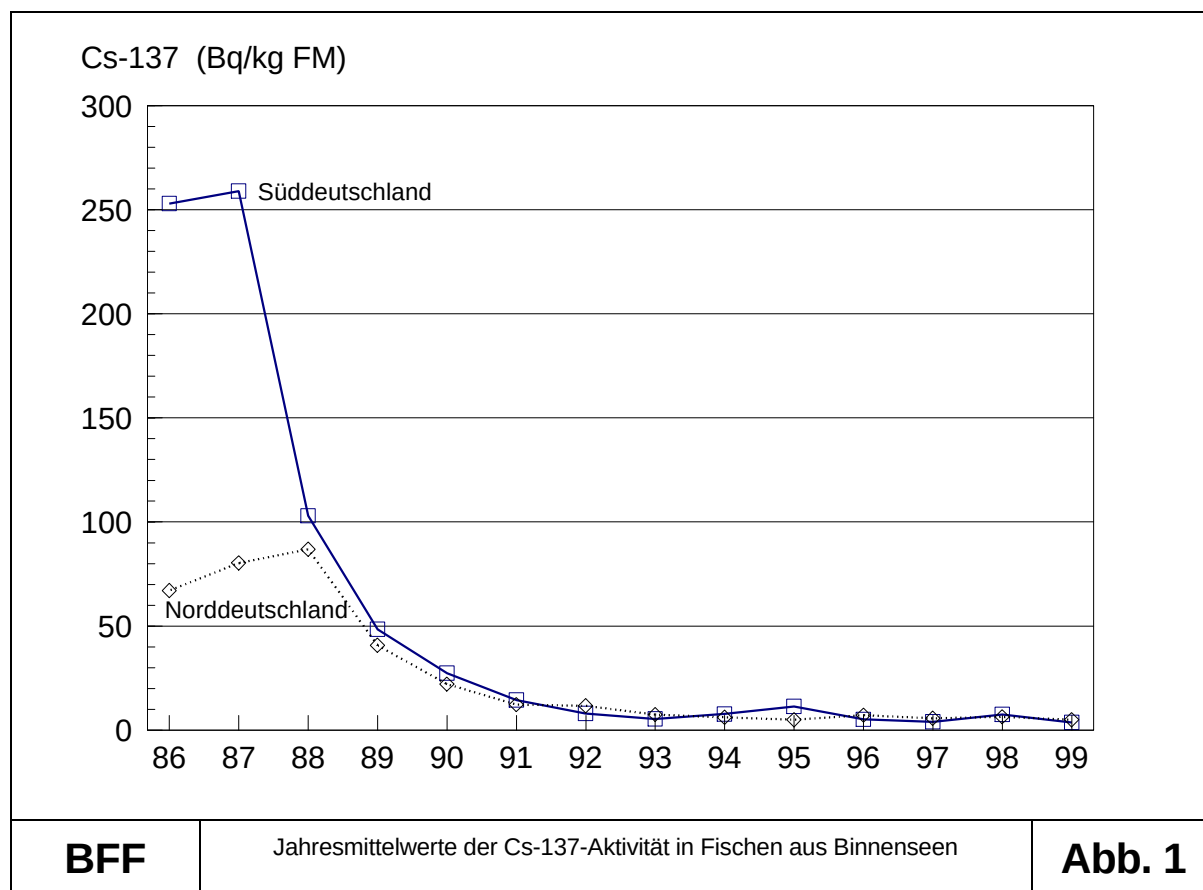
Messungen der Bundesländer (siehe Text für Einteilung der drei Regionen)
N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte < NWG)

Gewässer	Region	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
Gewässer	Region	N	nn	Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Binnenseen	Süddeutschland	47	1	3,7	0,40	72
	Mitteldeutschland	3	0	0,20	0,20	0,68
	Norddeutschland	79	1	5,0	<0,14	51
Fischteiche	Süddeutschland	21	8	0,33	<0,1	0,98
	Mitteldeutschland	22	6	0,23	0,082	7,6
	Norddeutschland	14	3	0,46	<0,11	3,0
Fließgewässer	Süddeutschland	8	2	0,29	<0,15	2,4
	Mitteldeutschland	31	7	0,23	<0,11	8,1
	Norddeutschland	8	2	0,47	<0,13	1,2
nicht spezifizierte Gewässer	Süddeutschland	1	0	0,17	0,17	0,17
	Mitteldeutschland	1	1	<0,2	<0,2	<0,2
	Norddeutschland	1	1	<0,2	<0,2	<0,2

Im Vergleich zwischen Süd- und Norddeutschland zeigen die Abbildungen 1 bis 3 die zeitliche Entwicklung des mittleren Cs-137-Gehaltes in Fischen aus Binnenseen, aus Fischteichen und aus Fließgewässern seit 1986. Die in Binnenseefischen ab 1988 beobachtete zeitliche Abnahme des Cs-137-Gehaltes setzte sich ab etwa 1993 praktisch nicht weiter fort. In den Fließgewässern setzte die Abnahme zumindest schon ab 1987 ein. Bis 1999 ist keine nennenswerte Abnahme gegenüber 1993 mehr festzustellen. Die mittleren Cs-137-Gehalte der Fische aus Fischteichen und aus Fließgewässern waren 1999 wie in den Vorjahren etwa 10-fach niedriger als die aus Binnenseen.

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

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



Für die aus Binnengewässern wirtschaftlich bedeutsamsten Fische, Forellen und Karpfen, sind die mittleren Cs-137-Gehalte (zusammengefasst aus allen Gewässern, Messungen aller Bundesländer) in Tabelle 2 dargestellt. Der Vergleich der Cs-137-Gehalte ergibt, dass wie in den Vorjahren (vgl. Abb. 4) auch 1999 Forellen geringfügig niedriger kontaminiert waren als Karpfen.

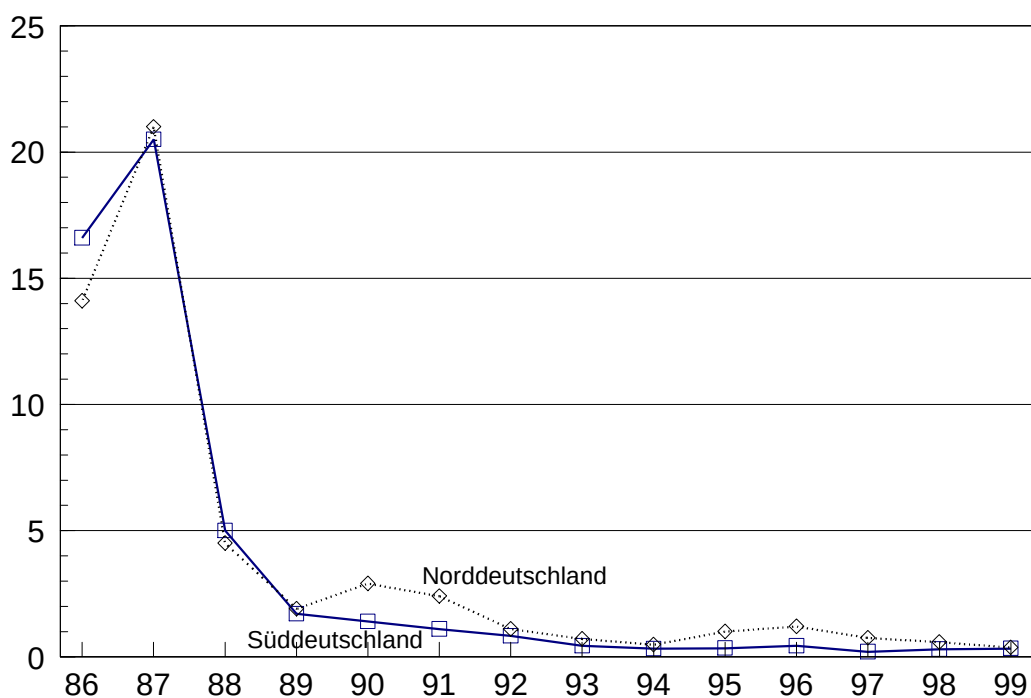
Tabelle 2 Spezifische Cs-137-Aktivität in Forellen und Karpfen (1999)

Messungen der Bundesländer (aus Binnenseen, Fischteichen und Fließgewässern)

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

Fisch	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)					
Forellen	40	15	0,20	0,082	3,0
Karpfen	34	3	0,56	<0,14	31

Cs-137 (Bq/kg FM)

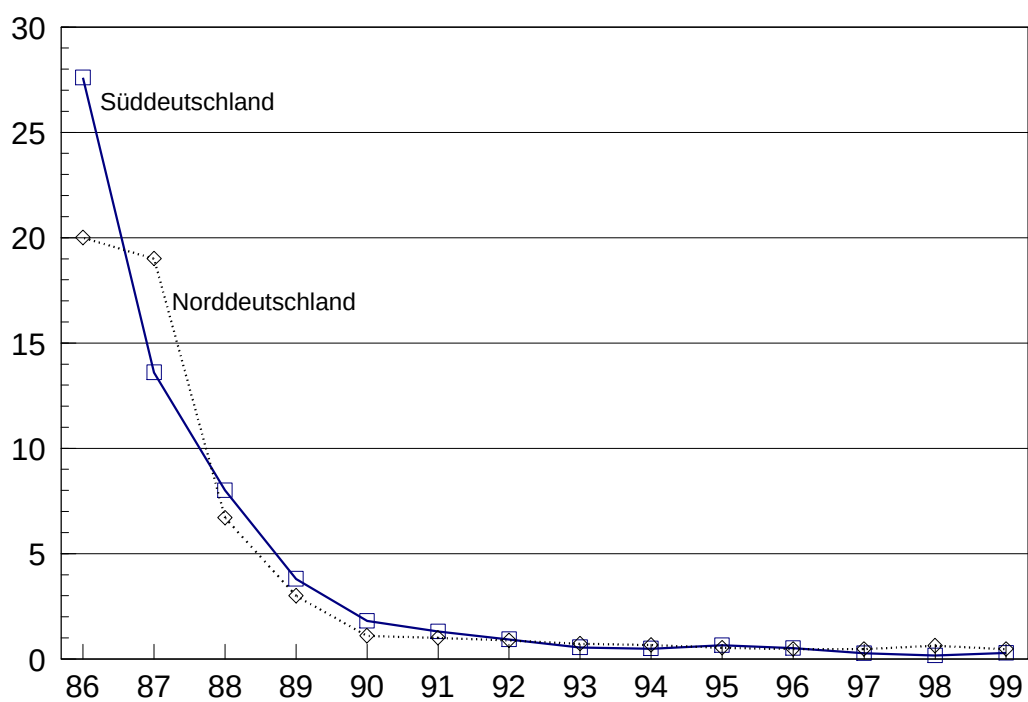


BFF

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fischteichen

Abb. 2

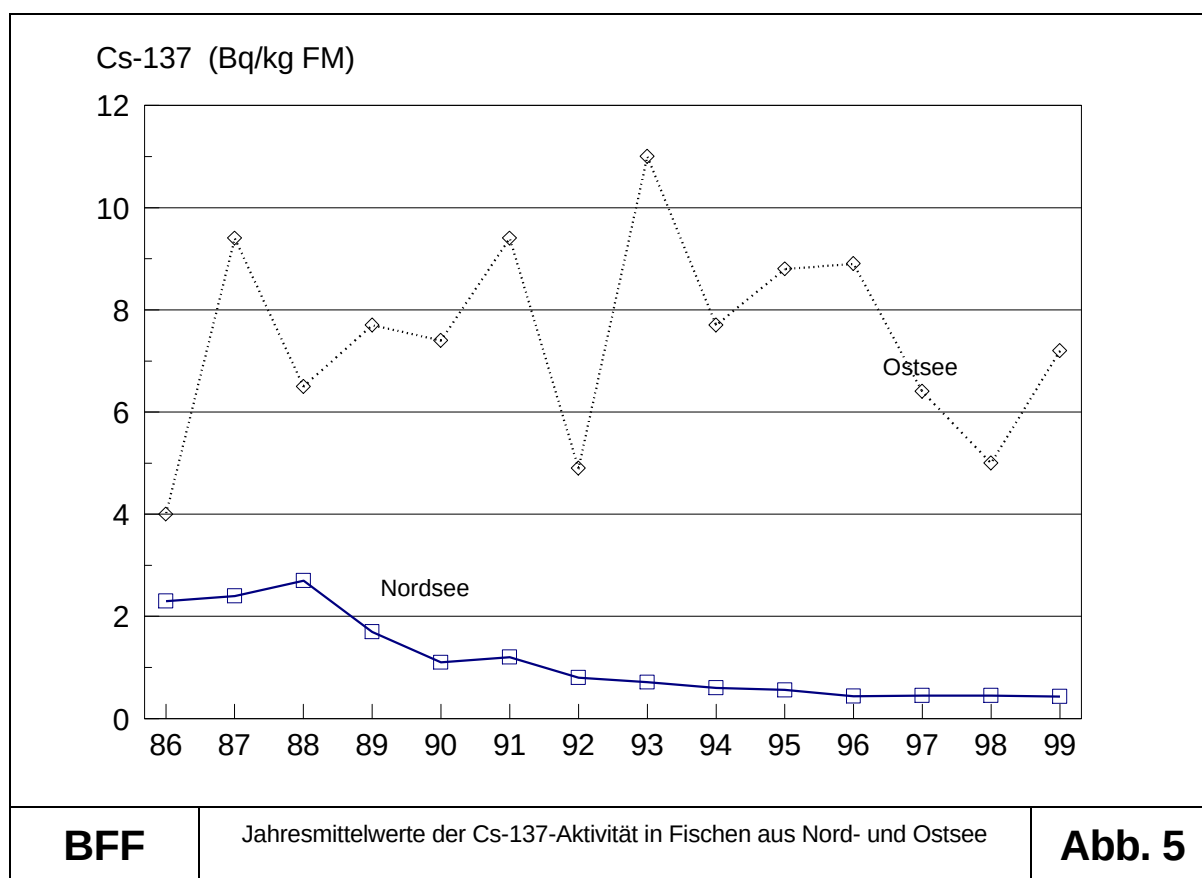
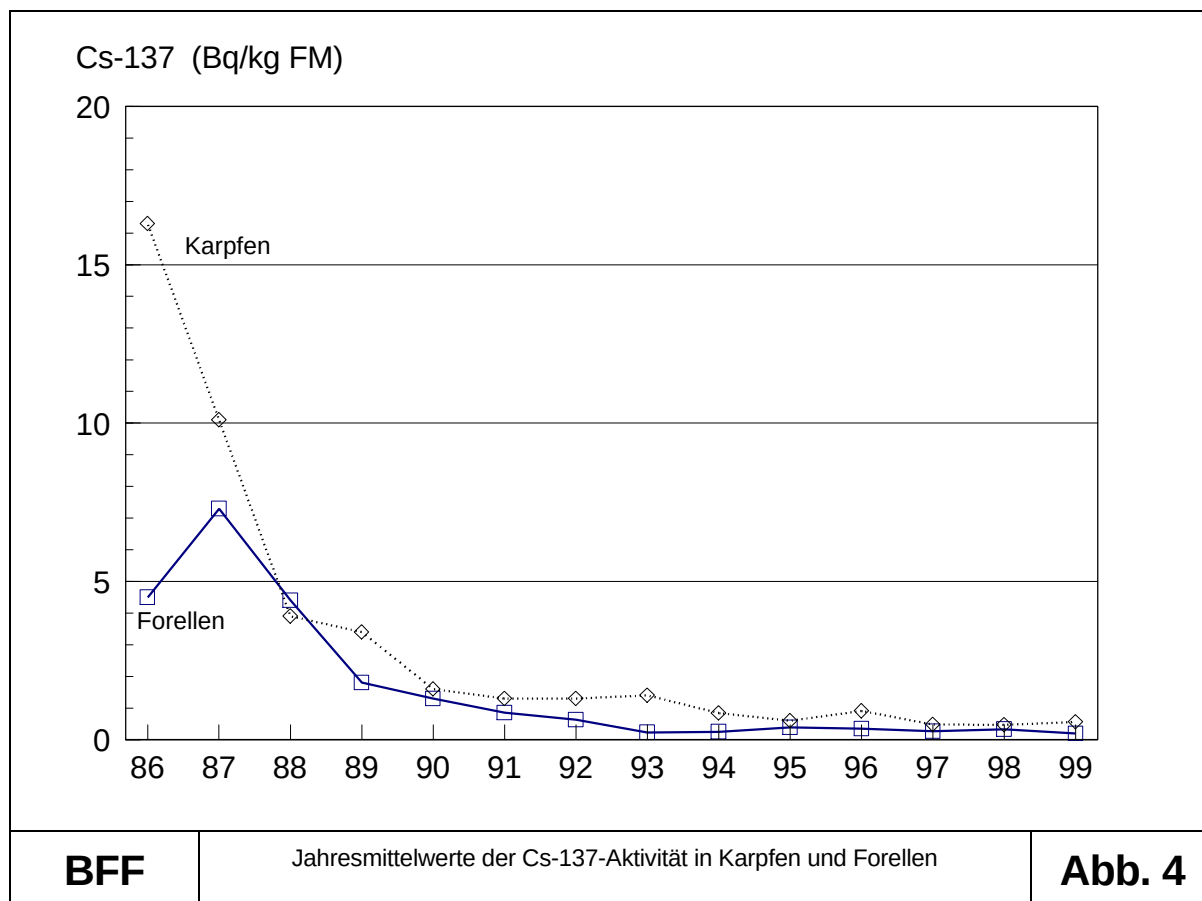
Cs-137 (Bq/kg FM)



BFF

Jahresmittelwerte der Cs-137-Aktivität in Fischen aus Fließgewässern

Abb. 3



In Tabelle 3 sind die mittleren Cs-137-Aktivitätsgehalte für Fische aus der Nord- und der Ostsee dargestellt, wobei hier die Messungen der Leitstelle einbezogen wurden. In Fischen aus der Nordsee, die vor Tschernobyl bereits durch Cs-137 aus europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen kontaminiert waren, blieben 1999 die meisten Cs-137-Werte deutlich unter maximal 1,8 Bq/kg; im Mittel bei etwa 0,43 Bq/kg (1998: 0,45 Bq/kg).

In Fischproben aus der Nordsee ist schon seit Jahren kein durch Tschernobyl bedingter Beitrag zum mittleren Cs-137-Gehalt mehr festzustellen. Dagegen bestimmt dieser Beitrag praktisch vollständig den Gehalt an radioaktivem Cäsium im Ostseefisch. Die 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 (1999: maximal 23 Bq/kg) von Jahr zu Jahr variieren kann.

Tabelle 3 Spezifische Cs-137-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren aus der Nordsee und der Ostsee (1999)

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	Min. Wert	Max. Wert
				Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Nordsee	Fische	60	2	0,43	<0,11	1,8
	Garnelen	14	12	<0,06	0,058	0,20
	Miesmuscheln	18	16	<0,1	<0,1	0,33
Ostsee	Fische	45	0	7,2	0,14	23

Von den Messstellen der Länder entnommene Garnelenfleischproben aus dem Bereich der Nordseeküste wiesen einen Cs-137-Gehalt von <0,06 Bq/kg (1998: 0,07 Bq/kg) auf; bei Miesmuscheln war er kleiner als 0,1 Bq/kg (1998: 0,11 Bq/kg).

Proben von Süßwasserfisch aus Importen zeigten 1999 Jahresmedianwerte für Cs-137 von 0,37 Bq/kg (Tab. 4). Die Werte für Seefisch sowie Krusten- und Schalentiere (Tab. 4) waren vergleichbar mit den entsprechenden Daten der Nordsee (Tab. 3).

Tabelle 4 Spezifische Cs-137-Aktivität in Importproben von Fisch, Krusten- u. Schalentieren (1999)

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

Probenart	N	nn	Medianwert	Min.-Wert	Max.-Wert
			Spez. Cs-137-Aktivität (Bq/kg FM)		
Süßwasserfisch	16	3	0,37	<0,1	2,7
Seefisch	76	15	0,32	0,095	19
Krusten- u. Schalentiere	16	16	<0,34	<0,1	<0,34

Die Ergebnisse der von den Ländermessstellen durchgeführten Strontium-90-Analysen sind in Tabelle 5 aufgeführt. In Bezug auf den Süßwasserbereich zeigte sich, ähnlich wie bei Cs-137, dass der Sr-90-Gehalt bei Fischen aus Binnenseen mindestens vier mal so groß war wie bei Fischen aus Fließgewässern und Fischteichen.

Tabelle 5 Spezifische Sr-90-Aktivität in Fischen, Krusten- und Schalentieren (1999)

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

Probenart	Gewässer	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
				Spez. Sr-90-Aktivität (Bq/kg FM)		
Fisch	Binnenseen	13	0	0,074	0,009	0,46
	Fischteiche	8	4	0,016	<0,01	0,028
	Fließgewässer	9	6	0,0070	0,0063	0,042
	Meere	4	1	0,020	0,013	0,079
Garnelen	Nordsee	12	6	0,025	<0,02	0,093
Miesmuscheln	Nordsee	12	6	0,019	0,019	0,055

Routineprogramm der Leitstelle

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für **Fischproben aus der Nordsee**, die im August und im Dezember 1999 mit dem FFS "Walther Herwig III" genommen wurden und nach Veraschung bisher nur γ -spektrometrisch, aber noch nicht auf **Strontium-90**, **Plutonium**-Isotope und **Americium-241** untersucht wurden. Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung zur Tabelle 3 eingegangen. Mittlere Cs-137-Gehalte lagen nach Tabelle 6, abhängig von der Fischart, zwischen 0,18 und 0,65 Bq/kg. Das mittlere Cs-134/Cs-137-Verhältnis war nicht mehr signifikant bestimmbar ($<0,014$) (1998: 0,006). In der Kabeljauleber wurden wie in den Vorjahren noch das langlebige Silberisotop **Silber-108m** sowie das auf den Einfluss der Wiederaufarbeitungsanlagen zurückzuführende **Kobalt-60** gefunden. Messwerte für Sr-90 und Isotope des Plutonium und Americium stehen noch aus.

Tabelle 6 Radionuklidgehalte von Fischen der Nordsee (1999)

Ergebnisse zweier "Walther-Herwig-III"-Fahrten im August und im Dezember 1999

Probeentnahme zwischen 52°40' und 57° Nord, Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte $< \text{NWG}$)

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Hering, Filet	Cs-137	2	0	0,46	0,44	0,49
Kabeljau, Filet	Cs-137	5	0	0,65	0,47	0,84
Kabeljau, Leber	Co-60	5	4	$<0,018$	$<0,011$	0,026
	Ag-108m	5	3	0,0052	0,0052	0,0088
	Cs-137	5	0	0,11	0,053	0,38
	Cs-137	4	0	0,44	0,41	0,49
Makrele, Fleisch	Cs-137	1	0	0,47	0,47	0,47
Schellfisch, Fleisch	Cs-137	3	0	0,18	0,17	0,26
Scholle, Fleisch	Cs-137	2	0	0,38	0,24	0,52

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (15 Messungen, nn=14): $<0,014$

Im September und Dezember 1999 wurden mit dem FFS "Walther Herwig III" **Fischproben aus der Ostsee** entnommen (Kieler Bucht im Westen und südlich von Öland und Gotland im Osten), die nach Veraschung der Proben bisher überwiegend nur γ -spektrometrisch untersucht wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 über alle Stationen gemittelt zusammengefasst. Bestimmungen von Sr-90 und der Plutonium-Isotope stehen noch aus.

Tabelle 7 Radionuklidgehalte von Fischen der Ostsee (1999)

Ergebnisse zweier "Walther-Herwig-III"-Fahrten im September (2 Fischproben) und Dezember

(10 Fischproben) 1999; Probeentnahme zwischen 10°30' und 19° Ost;

Messungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei

(N: Anzahl der Messungen; nn: Anzahl der Werte $< \text{NWG}$)

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Kabeljau, Filet	Cs-137	10	0	13	6,3	23
Kabeljau, Leber	Ag-108m	10	8	0,0066	$<0,0076$	0,012
	Cs-137	10	0	2,1	1,1	6,2
	Cs-134/Cs-137	10	3	0,0081	0,0078	0,0095
Scholle, Fleisch	Cs-137	2	0	7,5	5,3	9,7

Mittleres Verhältnis Cs-134/Cs-137 im Fischfilet (12 Messungen, nn=0): $0,0077 \pm 0,0001$

Die erhaltenen Cs-137-Werte sind in die Auswertung zur Tabelle 3 eingegangen. Ähnlich wie in den Vorjahren war der Cs-137-Gehalt im Kabeljaufleisch in den weiter östlich gelegenen Gebieten der Ostsee (9 bis 23 Bq/kg) mehr als etwa 2-fach höher als in der Kieler Bucht (7,6 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 1999 mit dem für den Tschernobyl-Fallout charakteristischen Wert von 0,0076 präzise überein. Das in der Dorschleber gefundene langlebige Silberisotop Ag-108m wies ähnliche, sehr niedrige Werte wie in den Vorjahren auf (Tabelle 7).

Die Ergebnisse für **Nordsee-Garnelenproben** aus dem Nordfriesischen Watt und der Elbemündung, die 1999 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. Die Ergebnisse radiochemischer Analysen stehen noch aus.

Tabelle 8 Radionuklidgehalte von Miesmuscheln und Garnelen der Nordsee (1999)

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

Probe	Radionuklid	N	nn	Medianwert	Min. Wert	Max. Wert
				Aktivitätskonzentration (Bq/kg FM)		
Garnelenfleisch	Co-60	5	4	<0,016	<0,016	0,018
	Cs-137	5	0	0,070	0,066	0,12

3.4.4 Einzelebensmittel, Gesamtnahrung, Säuglings- und Kleinkindernahrung

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

Einzelebensmittel

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

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

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

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

Tabelle 1 Weizen Inland

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	35	<0,10 (<0,05 - <0,15)	7	0,19 (0,12 - 0,27)
	1999	37	<0,11 (<0,03 - 0,27)	9	0,24 (0,12 - 0,48)
Bayern	1998	43	<0,21 (<0,10 - 0,69)	6	0,15 (0,05 - 0,26)
	1999	44	<0,16 (0,05 - 0,48)	5	0,22 (0,03 - 0,37)
Berlin	1998	2	<0,13 (<0,11 - <0,15)	1	0,20
	1999	2	<0,07 (<0,06 - <0,08)	1	0,19
Brandenburg	1998	18	<0,11 (<0,06 - 0,20)	1	0,42
	1999	17	<0,12 (<0,07 - 0,20)	1	0,43
Bremen	1998	3	<0,11 (<0,03 - <0,15)	1	0,13
	1999	3	<0,06 (0,02 - 0,08)		
Hamburg	1998	4	<0,14 (<0,11 - <0,17)		
	1999	2	<0,16 (<0,16 - <0,17)		
Hessen	1998	13	<0,17 (<0,10 - <0,22)		
	1999	5	<0,15 (<0,13 - <0,18)		
Mecklenburg-Vorpommern	1998	31	<0,11 (<0,05 - 0,21)	2	0,13 (0,09 - 0,17)
	1999	32	<0,12 (<0,06 - <0,94)	2	0,28 (0,24 - 0,32)
Niedersachsen	1998	36	<0,15 (<0,05 - 0,73)	4	0,26 (0,13 - 0,43)
	1999	41	<0,12 (<0,01 - 0,84)	4	0,24 (0,18 - 0,28)
Nordrhein - Westfalen	1998	32	<0,14 (<0,05 - <0,25)	1	<0,09
	1999	27	<0,14 (<0,06 - <0,25)	2	<0,20 (<0,20 - 0,21)
Rheinland - Pfalz	1998	25	<0,11 (<0,03 - <0,25)	1	0,11

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Saarland	1999	26	<0,10 (<0,03 - <0,25)	1	0,07
	1998	1	<0,20		
	1999	3	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
Sachsen	1998	10	<0,14 (<0,11 - 0,19)	3	0,10 (0,05 - 0,14)
	1999	10	<0,13 (<0,11 - <0,15)	3	0,04 (0,02 - 0,05)
Sachsen - Anhalt	1998	13	<0,12 (<0,07 - 0,31)	3	0,25 (0,03 - 0,60)
	1999	14	<0,13 (<0,08 - 0,21)	4	0,19 (0,12 - 0,31)
Schleswig - Holstein	1998	34	<0,10 (<0,06 - 0,24)	4	0,17 (0,15 - 0,19)
	1999	33	<0,12 (<0,06 - 0,47)	4	0,14 (0,11 - 0,19)
Thüringen	1998	22	<0,11 (<0,09 - <0,17)	1	0,05
	1999	21	<0,10 (<0,06 - <0,14)	1	0,04
Bundesrepublik (gesamt)	1998	322	<0,13 (<0,03 - 0,73)	34	<0,18 (0,02 - 0,60)
	1999	317	<0,12 (<0,01 - 0,94)	38	<0,20 (0,02 - 0,48)

Tabelle 2 Weizen, Einfuhr

Import aus	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg Frischmasse)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Dänemark	1998	1	< 0,15
	1999	-	-
Frankreich	1998	4	< 0,19 (< 0,16 - < 0,20)
	1999	4	< 0,16 (< 0,10 - < 0,20)
Kanada	1998	1	< 0,10
	1999	-	-
Türkei	1998	2	< 0,13 (< 0,10 - < 0,15)
	1999	4	< 0,07 (< 0,04 - < 0,10)
USA	1998	1	< 0,12
	1999	1	< 0,04

Tabelle 3 Sonstige Getreide, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Gerste	1998	113	<0,17 (<0,05 - <3,40)	11	0,20 (0,03 - 0,34)
	1999	123	<0,14 (<0,02 - 0,98)	11	0,20 (0,07 - 0,33)
Hafer	1998	26	<0,87 (<0,06 - 9,37)	2	0,36 (0,19 - 0,52)
	1999	24	<0,42 (<0,05 - 2,40)	2	0,35 (0,24 - 0,46)
Mais	1998	2	<0,10 (<0,09 - <0,10)		
	1999	3	<0,10 (<0,03 - <0,14)		
Reis	1998	17	<0,14 (<0,07 - <0,30)		
	1999	27	<0,19 (0,07 - 1,41)		
Roggen	1998	179	<0,19 (<0,03 - 1,80)	20	0,32 (0,04 - 1,55)
	1999	169	<0,19 (<0,02 - 2,05)	14	0,25 (0,09 - 0,56)

Tabelle 4 Kalbfleisch, Inland

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg Frischmasse)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	7	<0,94 (<0,24 - 3,00)
	1999	7	<1,12 (<0,20 - 4,90)
Bayern	1998	8	<0,77 (<0,10 - 1,50)
	1999	6	<0,40 (<0,20 - 0,70)
Berlin	1998	2	1,00 (0,50 - 1,50)
	1999	4	0,66 (0,33 - 1,50)
Brandenburg	1998	4	5,45 (0,60 - 17,00)
	1999	3	8,87 (0,40 - 25,00)
Bremen	1998	2	0,58 (0,20 - 0,96)
	1999	2	0,24 (0,17 - 0,32)
Hamburg	1998	3	<1,13 (0,50 - <2,00)
	1999	3	<0,31 (<0,11 - 0,69)
Hessen	1998	2	<0,60 (0,29 - 0,92)
	1999	1	<0,08
Mecklenburg-Vorpommern	1998	5	0,85 (0,40 - 1,38)
	1999	4	2,11 (0,17 - 6,56)
Niedersachsen	1998	22	<1,50 (<0,07 - 11,90)
	1999	21	<0,97 (<0,12 - 3,99)
Nordrhein-Westfalen	1998	15	<0,50 (0,06 - 1,30)
	1999	23	<0,60 (<0,10 - 1,25)
Rheinland-Pfalz	1998	2	0,19 (0,12 - 0,25)
	1999	1	0,10
Saarland	1998	3	<0,22 (<0,20 - 0,27)
	1999	8	<0,25 (<0,20 - 0,48)
Sachsen	1998	5	<0,35 (<0,10 - 1,04)
	1999	5	<0,36 (<0,10 - 0,65)
Sachsen-Anhalt	1998	3	0,92 (0,22 - 1,35)
	1999	3	0,75 (0,42 - 1,40)
Schleswig-Holstein	1998	3	<0,50 (<0,10 - 1,24)
	1999	3	<0,44 (<0,15 - 0,81)
Thüringen	1998	1	<0,09
	1999	1	<0,12
Bundesrepublik (gesamt)	1998	87	<1,08 (0,06 - 17,00)
	1999	95	<0,96 (<0,08 - 25,00)

Tabelle 5 Rindfleisch, Inland

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg Frischmasse)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	34	<0,49 (<0,16 - 3,40)
	1999	37	<0,76 (<0,10 - 9,00)
Bayern	1998	66	<0,61 (<0,07 - 6,81)
	1999	52	<0,64 (<0,10 - 6,00)
Berlin	1998	7	2,97 (0,15 - 7,10)
	1999	6	1,34 (0,27 - 2,10)
Brandenburg	1998	32	<4,86 (<0,09 - 45,00)
	1999	31	<4,57 (<0,10 - 17,00)
Bremen	1998	6	2,79 (0,28 - 11,90)
	1999	8	<1,88 (<0,08 - 4,59)
Hamburg	1998	6	<0,72 (<0,11 - 1,85)
	1999	9	<0,16 (<0,08 - 0,30)
Hessen	1998	8	<0,40 (<0,07 - 0,95)
	1999	9	<0,20 (<0,07 - 0,77)
Mecklenburg-Vorpommern	1998	34	<2,01 (<0,06 - 9,85)
	1999	33	<2,18 (<0,06 - 12,40)
Niedersachsen	1998	69	<0,82 (<0,02 - 5,29)
	1999	54	<1,05 (<0,02 - 11,20)
Nordrhein-Westfalen	1998	35	<0,21 (<0,06 - 0,53)
	1999	38	<0,31 (<0,06 - 2,49)
Rheinland-Pfalz	1998	11	<0,22 (<0,09 - 0,66)
	1999	10	<0,19 (<0,09 - 0,47)
Saarland	1998	6	<0,20 (<0,20 - <0,22)
	1999	14	<0,20 (<0,20 - 0,20)
Sachsen	1998	29	<0,36 (<0,09 - 1,47)
	1999	30	<0,33 (<0,09 - 2,19)
Sachsen-Anhalt	1998	22	<0,47 (<0,06 - 4,97)
	1999	24	<1,05 (<0,06 - 9,30)
Schleswig-Holstein	1998	22	<0,60 (0,08 - 5,74)
	1999	27	<0,42 (<0,08 - 1,90)
Thüringen	1998	24	<0,13 (<0,08 - 0,55)
	1999	23	<0,13 (<0,08 - 0,36)
Bundesrepublik (gesamt)	1998	411	<1,05 (<0,02 - 45,00)
	1999	405	<1,05 (<0,02 - 17,00)

Tabelle 6 Schweinefleisch, Inland

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	18	<0,24 (<0,20 - 0,70)
	1999	18	<0,26 (<0,10 - 0,52)
Bayern	1998	34	<0,34 (<0,10 - 2,14)
	1999	28	<0,27 (<0,10 - 1,55)
Berlin	1998	6	0,60 (0,17 - 0,87)
	1999	6	0,50 (0,10 - 0,77)
Brandenburg	1998	27	<0,42 (<0,08 - 3,30)
	1999	24	<0,43 (<0,07- 2,20)
Bremen	1998	7	0,61 (0,10 - 2,07)
	1999	6	0,12 (0,07 - 0,20)
Hamburg	1998	6	<0,37 (<0,08 - 1,00)
	1999	10	<0,21 (<0,08 - 1,16)
Hessen	1998	9	<0,14 (<0,07 - 0,24)
	1999	9	<0,09 (<0,06 - 0,13)
Mecklenburg-Vorpommern	1998	30	<0,24 (0,07 - 0,66)
	1999	30	<0,30 (<0,06 - 1,10)
Niedersachsen	1998	107	<0,22 (<0,04 - 1,29)
	1999	93	<0,19 (<0,01 - 1,27)
Nordrhein-Westfalen	1998	64	<0,15 (<0,05 - 0,34)
	1999	73	<0,17 (<0,05 - 0,46)
Rheinland-Pfalz	1998	8	<0,24 (<0,09 - 0,83)
	1999	9	<0,18 (<0,09 - 0,25)
Saarland	1998	6	<0,20 (<0,20 - <0,20)
	1999	8	<0,20 (<0,20 - <0,20)
Sachsen	1998	24	<0,30 (<0,10 - 1,02)
	1999	23	<0,31 (<0,10 - 1,18)
Sachsen-Anhalt	1998	34	<0,20 (<0,07 - 0,59)
	1999	36	<0,18 (<0,08 - 0,80)
Schleswig-Holstein	1998	11	<0,26 (<0,06 - 0,91)
	1999	19	<0,20 (<0,10 - 0,94)
Thüringen	1998	19	<0,19 (<0,06 - 1,29)
	1999	23	<0,14 (<0,08 - 0,38)
Bundesrepublik (gesamt)	1998	410	<0,25 (<0,04 - 3,30)
	1999	415	<0,22 (<0,01 - 2,20)

Tabelle 7 Sonstiges Fleisch und Hühnereier, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg Frischmasse)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Lamm/Schaf	1998	22	<4,80 (<0,07 - 102,0)
	1999	21	<0,42 (<0,08 - 3,70)
Ente	1998	29	<0,16 (<0,02 - 0,37)
	1999	31	<0,17 (<0,07 - 0,59)
Gans	1998	24	<0,29 (<0,05 - 2,20)
	1999	44	<0,13 (<0,05 - 0,20)
Pute	1998	57	<0,13 (<0,01 - 0,86)
	1999	63	<0,10 (<0,01 - 0,30)
Hähnchen	1998	26	<0,15 (<0,04 - <0,21)
	1999	24	<0,19 (<0,07 - <1,00)
Huhn	1998	137	<0,15 (<0,002 - 0,87)
	1999	130	<0,15 (<0,02 - < 0,51)
Hühnereier	1998	25	<0,14 (<0,07 - <0,20)
	1999	20	<0,15 (<0,09 - <0,20)

Tabelle 8 Wild, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonzentration Cs-137 (Bq/kg Frischmasse)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Damwild	1998	11	27,50 (3,40 - 46,40)
	1999	9	24,22 (12,30 - 45,00)
Hirsch	1998	21	26,60 (0,12 - 96,20)
	1999	23	16,09 (0,47 - 42,80)
Känguru	1998	1	0,17
	1999	1	<0,11
Reh	1998	165	45,10 (0,17 - 1150)
	1999	180	<33,21 (<0,09 - 282)
Wild, Kaninchen	1998	1	0,18
	1999	6	<0,20 (<0,13 - <0,27)
Wild, Hase	1998	6	0,19 (0,11 - 0,30)
	1999	1	17,40
Wildschwein	1998	66	242,00 (0,08 - 3090)*
	1999	89	<208,12 (<0,11 - 1660)

* 6 Werte sind größer als 1000 Bq/kg Frischmasse, ohne diese wäre der Mittelwert dann 89,6 Bq/kg Frischmasse

Tabelle 9 Kartoffeln, Inland

Bundesland	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Baden-Württemberg	1998	14	<0,19 (<0,08 - <0,23)	1	0,01
	1999	13	<0,16 (<0,09 - <0,22)	1	0,05
Bayern	1998	35	<0,21 (<0,10 - 0,35)	3	0,05 (0,03 - 0,06)
	1999	36	<0,18 (<0,06 - 0,66)	3	0,10 (0,05 - 0,21)
Berlin	1998	2	<0,08 (<0,08 - <0,08)	1	0,02
	1999	4	<0,06 (<0,02 - <0,08)	1	0,02
Brandenburg	1998	13	<0,15 (<0,07 - 0,40)	2	0,02 (0,01 - 0,02)
	1999	14	<0,12 (<0,05 - 0,30)	1	0,03
Bremen	1998	2	<0,06 (<0,03 - 0,09)		
	1999	4	<0,04 (<0,02 - 0,07)		
Hamburg	1998	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)		
	1999	4	<0,16 (<0,12 - <0,21)		
Hessen	1998	6	<0,15 (<0,05 - <0,23)	1	0,17
	1999	4	<0,14 (<0,14 - <0,15)		
Mecklenburg-Vorpommern	1998	12	<0,09 (<0,02 - 0,21)	1	0,04
	1999	15	<0,07 (<0,03 - 0,10)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
Niedersachsen	1998	80	<0,16 (<0,01 - 1,30)	4	0,05 (0,01 - 0,10)
	1999	82	<0,14 (<0,01 - 1,40)	3	<0,02 (<0,02 - 0,02)
Nordrhein-Westfalen	1998	16	<0,15 (<0,06 - <0,27)	6	<0,11 (<0,02 - 0,35)
	1999	29	<0,16 (<0,07 - 0,48)	5	0,05 (0,02 - 0,18)
Rheinland-Pfalz	1998	6	<0,27 (<0,18 - <0,37)		
	1999	8	<0,13 (<0,03 - <0,30)	2	0,04 (0,03 - 0,04)
Saarland	1998	2	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
	1999	4	<0,20 (<0,20 - <0,20)		
Sachsen	1998	10	<0,12 (<0,07 - <0,17)	1	0,02
	1999	12	<0,13 (<0,10 - <0,16)	1	<0,02
Sachsen-Anhalt	1998	9	<0,13 (<0,07 - 0,27)	2	0,01 (0,01 - 0,01)
	1999	11	<0,11 (<0,06 - 0,21)	2	0,02 (0,02 - 0,02)
Schleswig-Holstein	1998	6	<0,11 (<0,06 - 0,16)	1	0,03
	1999	8	<0,11 (<0,07 - <0,14)	1	0,04
Thüringen	1998	6	<0,09 (<0,08 - <0,10)	1	0,03
	1999	8	<0,10 (<0,06 - <0,12)	1	0,01
Bundesrepublik (gesamt)	1998	221	<0,16 (<0,01 - 1,30)	24	<0,06 (0,01 - 0,35)
	1999	256	<0,14 (<0,01 - 1,40)	23	<0,04 (0,01 - 0,21)

Tabelle 10 Gemüse (frisch), Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Blattgemüse	1998	782	<0,16 (<0,01 - <2,96)	83	0,20 (0,03 - 0,79)
	1999	727	<0,17 (<0,01 - 2,90)	83	0,21 (0,01 - 1,20)
Fruchtgemüse	1998	239	<0,14 (<0,02 - 0,78)	10	0,07 (0,02 - 0,16)
	1999	231	<0,13 (<0,01 - 0,66)	13	0,13 (0,02 - 0,32)
Sprossgemüse	1998	309	<0,14 (<0,01 - 1,52)	19	0,11 (0,02 - 0,22)
	1999	272	<0,14 (<0,01 - 1,80)	18	0,18 (0,02 - 0,75)
Wurzelgemüse	1998	219	<0,14 (<0,001 - 0,32)	12	0,24 (0,04 - 0,87)
	1999	201	<0,14 (<0,01 - 0,97)	16	<0,17 (<0,02 - 0,78)
Hülsenfrüchte	1998	6	<0,15 (<0,10 - <0,19)		
	1999	6	<0,12 (<0,03 - <0,20)		
Kräuter	1998	4	<2,42 (<0,13 - 5,70)		
	1999	5	<1,10 (<0,15 - 2,74)		

Tabelle 11 Speisepilze, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Kulturpilze	1998	19	<4,16 (<0,10 - 70,40)
	1999	17	<0,30 (<0,02 - 2,06)
<u>Waldröhrenpilze</u>			
Maronenröhrling	1998	31	172,7 (1,39 - 832)
	1999	29	218,7 (33,10 - 1040)
Steinpilz	1998	43	64,88 (2,70 - 654)
	1999	33	62,16 (6,07 - 208)
sonstige Waldröhrenpilze	1998	31	48,01 (0,12 - 293)
	1999	33	60,02 (0,53 - 810)
<u>sonstige Waldpilze</u>			
Keulen- und Korallenpilze	1998	2	(1,50 - 6,5)
	1999	4	6,91 (4,50 - 13,4)
Pfifferling	1998	240	150,4 (0,50 - 2660)
	1999	161	107,0 (1,62 - 1990)
Riesenbovist	1998	4	0,40 (0,15 - 0,6)
	1999	1	0,75
Wildblätterpilze	1998	79	<20,96 (<0,03 - 370)
	1999	42	<18,22 (<0,11 - 226)
Wildschlauchpilze	1998	1	0,74
	1999	1	3,89
Wildstachelpilze	1998	2	(13,80 - 830)
	1999	6	118,7 (35,20 - 265)

Tabelle 12 Obst und Rhabarber, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Erdbeeren und sonst.	1998	111	<0,13 (<0,02 - 0,59)	11	0,07 (0,01 - 0,16)
	1999	124	<0,12 (<0,01 - 0,40)	8	0,09 (0,03 - 0,42)
Exotische Früchte	1998	53	<0,14 (<0,02 - 0,35)	2	0,06 (0,05 - 0,08)
	1999	18	<0,10 (<0,02 - 0,20)		
Kernobst	1998	267	<0,14 (<0,02 - 0,53)	17	<0,03 (0,01 - 0,10)
	1999	219	<0,13 (<0,004 - 0,40)	18	<0,02 (<0,01 - 0,03)
Rhabarber	1998				
	1999	30	<0,13 (<0,06 - 0,21)	2	<0,25 (<0,02 - 0,49)
Steinobst	1998	121	<0,14 (<0,01 - <1,00)	10	<0,04 (<0,02 - 0,08)
	1999	126	<0,12 (<0,01 - <0,29)	10	<0,07 (<0,02 - 0,17)
Strauchbeeren	1998	25	<0,13 (<0,02 - <0,25)	4	0,06 (0,05 - 0,07)
	1999	29	<0,13 (<0,01 - <0,29)	3	0,06 (0,05 - 0,07)
Wildbeeren	1998	28	<25,23 (<0,15 - 259)		
	1999	22	<61,87 (<0,10 - 481)		
Zitrusfrüchte	1998	18	<0,12 (<0,04 - 0,19)		
	1999	18	<0,09 (<0,01 - 0,34)		

Tabelle 13 Getränke, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Fruchtsäfte	1998	4	< 0,10 (<0,02 - <0,20)
	1999	2	< 0,07 (<0,02 - <0,11)
Zitrusfruchtsäfte	1998	1	< 0,12
	1999	1	< 0,02

Tabelle 14 Sonstige Lebensmittel, Inland und Einfuhr

Produkt	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)
Blütenhonigmischung	1998	22	<3,40 (<0,03 - 53,00)
	1999	20	<3,28 (<0,02 - 49,60)
Blütenhonig	1998	31	<76,40 (<0,03 - 846,0)
	1999	32	<81,16 (<0,02 - 599,0)
Honigtau-honig u. Mischung	1998	1	1,50
	1999	1	0,60
Waldbonig	1998		
	1999	1	42,00
Kaffee	1998	5	0,11 (<0,06 - <0,13)
	1999	5	<0,38 (<0,07 - 1,10)
Tee, schwarz	1998	28	13,33 (0,23 - 80,10)
	1999	21	9,96 (<0,40 - 81,30)
Teeähnliche Erzeugnisse	1998	5	0,75 (0,09 - 2,70)
	1999	10	<1,25 (<0,08 - 4,92)
Ölsamen	1998	9	<0,19 (<0,12 - 0,36)
	1999	6	<0,14 (<0,06 - <0,23)
Schalenobst	1998	35	<0,48 (<0,06 - 4,67)
	1999	27	<1,01 (<0,09 - 5,92)

Tabelle 15 Arithmetische Jahresmittelwerte der spezifischen Aktivitäten von Sr-90 und Cs-137 in ausgewählten Lebensmitteln, Inland, von 1960 bis 1999
(Jahresmittelwerte)

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

* Inland und Einfuhr

Gesamtnahrung

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

Die mittlere tägliche Cs-137-Aktivitätszufuhr einer Person über die Nahrung kann für 1999 mit 0,28 Bq/(d·p) [d = Tag, p = Person] nach oben abgeschätzt werden und zeigt somit kaum eine Veränderung zum Vorjahr. Da in diese Mittlung ein hoher Prozentsatz von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenzen eingeht, wird der Wert der Aktivitätszufuhr überschätzt, was bei einer Interpretation des Wertes berücksichtigt werden muss.

Für Sr-90, mit einer mittleren Aktivitätszufuhr von 0,12 Bq/(d·p), gilt die gleiche Betrachtungsweise wie für Cs-137, allerdings muss hier noch berücksichtigt werden, dass die Messwerte nahe oder unterhalb der Nachweisgrenzen der angewendeten Analyseverfahren liegen, was zu einer zusätzlichen Unsicherheit führt.

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

Sr-90 : 44 Bq/(a·p)
Cs-137 : 100 Bq/(a·p)

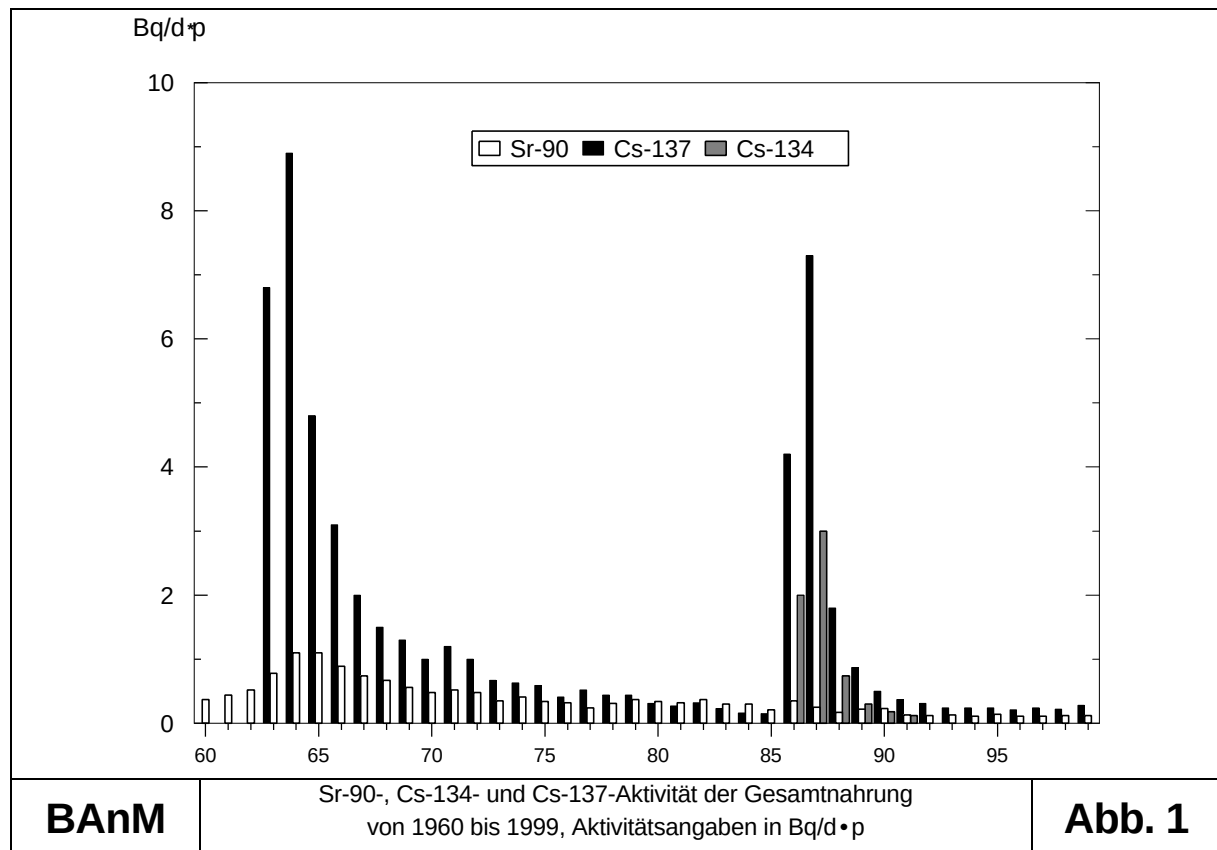


Tabelle 16 Aktivitätszufuhr von Cs-137 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung

Monat	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	1998	80	<0,26 (<0,04 - 2,53)	14	0,11 (0,04 - 0,40)
	1999	87	<0,26 (<0,04 - 1,40)	16	<0,13 (<0,01 - 0,26)
Februar	1998	73	<0,21 (<0,01 - 0,70)	12	<0,11 (0,03 - 0,27)
	1999	84	<0,21 (<0,04 - 0,67)	13	<0,14 (<0,03 - 0,33)
März	1998	86	<0,23 (<0,04 - 1,10)	15	0,10 (0,03 - 0,22)
	1999	101	<0,33 (<0,02 - 8,00)	18	<0,10 (<0,01 - 0,23)
April	1998	77	<0,20 (<0,03 - 0,62)	14	<0,10 (<0,04 - 0,21)
	1999	88	<0,23 (<0,04 - 1,89)	12	<0,11 (<0,01 - 0,27)
Mai	1998	86	<0,20 (<0,02 - 1,02)	24	0,15 (0,05 - 0,94)
	1999	84	<0,19 (<0,01 - 0,73)	19	<0,13 (0,02 - 0,59)
Juni	1998	90	<0,23 (<0,03 - 2,30)	20	<0,13 (<0,02 - 0,64)
	1999	86	<0,23 (<0,05 - 2,70)	18	0,10 (0,02 - 0,24)
Juli	1998	89	<0,22 (<0,01 - 1,86)	17	<0,11 (0,02 - 0,26)
	1999	88	<0,36 (<0,07 - 10,0)	16	<0,11 (0,01 - 0,22)

Fortsetzung Tabelle 16

Monat	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
August	1998	97	<0,17 (<0,02 - 0,58)	22	<0,13 (<0,04 - 0,43)
	1999	99	<0,21 (<0,06 - 1,12)	21	0,10 (0,002 - 0,26)
September	1998	93	<0,23 (<0,02 - 1,88)	14	0,13 (0,01 - 0,28)
	1999	90	<0,62 (<0,01 - 34,1)	13	0,12 (0,04 - 0,25)
Oktober	1998	83	<0,22 (<0,01 - 1,66)	15	<0,13 (<0,04 - 0,43)
	1999	87	<0,24 (<0,03 - 1,08)	17	0,16 (0,02 - 0,48)
November	1998	92	<0,25 (<0,02 - 1,96)	18	<0,14 (0,03 - 0,38)
	1999	94	<0,23 (<0,05 - 1,56)	19	<0,11 (0,01 - 0,31)
Dezember	1998	84	<0,25 (<0,03 - 2,30)	17	<0,14 (<0,004 - 0,53)
	1999	85	<0,24 (<0,05 - 1,98)	16	0,12 (0,06 - 0,22)
Jahr (gesamt)	1998	1030	<0,22 (<0,01 - 2,53)	202	<0,12 (<0,004 - 0,94)
	1999	1037	<0,28 (<0,01 - 34,1)	198	<0,12 (<0,002 - 0,59)

Tabelle 17 Säuglings- und Kleinkindernahrung

Monat	Jahr	Aktivitätskonz. Cs-137 (Bq/kg FM)		Aktivitätskonz. Sr-90 (Bq/kg FM)	
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Januar	1998	27	<0,23 (<0,01 - 1,05)	10	0,09 (0,02 - 0,27)
	1999	27	<0,21 (<0,03 - 1,14)	9	0,08 (0,02 - 0,36)
Februar	1998	28	<0,33 (<0,03 - 2,99)	5	0,07 (0,03 - 0,14)
	1999	31	<0,12 (<0,01 - 0,32)	4	0,04 (0,01 - 0,06)
März	1998	29	<0,23 (<0,02 - 1,77)	6	0,05 (0,03 - 0,06)
	1999	26	<0,18 (<0,01 - 0,99)	2	0,05 (0,04 - 0,05)
April	1998	27	<0,51 (<0,04 - 6,01)	4	0,07 (0,02 - 0,15)
	1999	30	<0,29 (<0,03 - 2,70)	3	<0,04 (<0,02 - 0,06)
Mai	1998	32	<0,21 (<0,03 - 1,40)	1	0,04
	1999	31	<0,19 (<0,01 - 1,40)	1	0,09
Juni	1998	32	<0,22 (<0,04 - 1,41)	1	0,04
	1999	22	<0,25 (<0,01 - 2,45)	3	0,04 (0,01 - 0,07)
Juli	1998	31	<0,20 (<0,0001 - 1,94)	10	<0,04 (<0,01 - 0,21)
	1999	27	<0,13 (<0,04 - 0,61)	12	<0,10 (<0,02 - 0,37)
August	1998	28	<0,56 (<0,07 - 5,02)	3	0,04 (0,04 - 0,05)
	1999	30	<0,52 (<0,04 - 5,32)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
September	1998	33	<0,26 (<0,01 - 2,99)	4	0,06 (0,02 - 0,11)
	1999	18	<0,10 (<0,02 - 0,26)	4	0,10 (0,03 - 0,25)
Oktober	1998	25	<0,31 (<0,01 - 1,53)	6	<0,05 (<0,02 - 0,09)
	1999	25	<0,31 (<0,03 - 2,19)	5	0,04 (0,02 - 0,09)
November	1998	29	<0,27 (<0,01 - 2,47)	2	0,03 (0,02 - 0,04)
	1999	31	<0,32 (<0,01 - 2,68)	3	0,03 (0,01 - 0,04)
Dezember	1998	26	<0,26 (<0,04 - 1,50)	1	0,05
	1999	23	<0,28 (<0,05 - 1,70)	3	0,04 (0,02 - 0,06)
Jahr (gesamt)	1998	347	<0,29 (<0,0001 - 6,01)	53	<0,06 (<0,01 - 0,27)
	1999	322	<0,25 (<0,01 - 5,32)	51	<0,07 (<0,01 - 0,37)

3.4.5 Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

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

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

Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe

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

Im Bereich der Arzneimittelpflanzen weisen die untersuchten Sorten je nach Bodentyp und Region verschiedene Werte von Cs-137 auf. So wurde in Pfefferminzblättern aus dem Bundesland Bayern im Erntejahr 1999 2 Bq/kg TM gemessen. In Lavendel aus Sachsen-Anhalt wurde 1 Bq/kg TM nachgewiesen. Produkte von Wald- und Heidestandorten weisen auf Grund des Bodentyps generell höhere Cäsiumaktivitäten als pflanzliche Produkte aus landwirtschaftlichem Anbau auf.

Der Gehalt des natürlich vorkommenden Radionuklids **Kalium-40** wurde auch in Arzneimittelpflanzen gemessen. Dabei lag die spezifische Aktivität beispielsweise von Lavendel (Lkr. Schönebeck) bei 740 Bq/kg TM oder von Pfefferminze (Lkr. Rosenheim) bei 820 Bq/kg TM.

Tabakerzeugnisse

Die im Rahmen der Überwachung γ -spektrometrisch untersuchten Tabakerzeugnisse (Zigarren) stammten von der Karibikinsel Kuba. Darin wurden außer Cs-137 (6 Bq/kg TM) keine weiteren künstlichen Nuklide nachgewiesen. Der Gehalt des natürlichen Radionuklids K-40 lag bei 1540 Bq/kg TM. In geringen Mengen wurden noch **Thallium-208** (2 Bq/kg TM), **Blei-212** (6 Bq/kg TM) und **Wismut-214** (3 Bq/kg TM) detektiert.

3.5 Abwasser und Klärschlamm

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

Dem Bericht für das Jahr 1999 liegen die Messergebnisse aus 91 Abwasserreinigungsanlagen zu Grunde. Die Probenentnahmen des Routinemessprogramms der amtlichen Messstellen der Länder zur Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt erfolgten zum größten Teil an den gleichen Stellen wie im Vorjahr.

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

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

K-40 und die Uranisotope U-234, U-235 und U-238 sind natürliche Bestandteile des Bodens und damit geogenen Ursprungs. Die Gehalte in Abwasser und Klärschlamm variieren in Abhängigkeit von den regionalen geologischen Gegebenheiten in weiten Grenzen. Die Messwerte im Jahr 1999 lagen im üblichen Bereich, z. B. im Klärschlamm für K-40 bis 680 Bq/kg TM (Vorjahr bis 1300 Bq/kg TM) und für U-234 und U-238 bis 160 bzw. 150 Bq/kg TM (Vorjahr 130 bzw. 100 Bq/kg TM).

Das hauptsächlich in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid I-131 wurde in einem Teil der Abwasser- und Klärschlammproben nachgewiesen (Medianwert für Klärschlamm: 31 Bq/kg TM; Maximalwert: 2200 Bq/kg TM, Vorjahr 36 bzw. 1500 Bq/kg TM), in Einzelfällen auch das sehr kurzlebige **Technetium-99m**. In zwei Kläranlagen wurden im Abwasser bzw. im Schlamm Spuren von Co-60 festgestellt. Plutoniumisotope konnten von den Messstellen nicht nachgewiesen werden.

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

Die Aktivitätskonzentrationen von Cs-137 im Abwasser lagen zu 95% und von Cs-134 ausschließlich unterhalb der bei den Messungen erreichten Nachweisgrenzen. Als Mindestnachweisgrenze dieser Radionuklide im Abwasser werden im Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) 0,1 Bq/l gefordert. Die für Cs-137 ermittelten Messwerte lagen im Jahr 1999 zwischen 0,0013 und 0,076 Bq/l, bei einem Median von <0,04 Bq/l (1998: zwischen 0,0012 und 0,13 Bq/l).

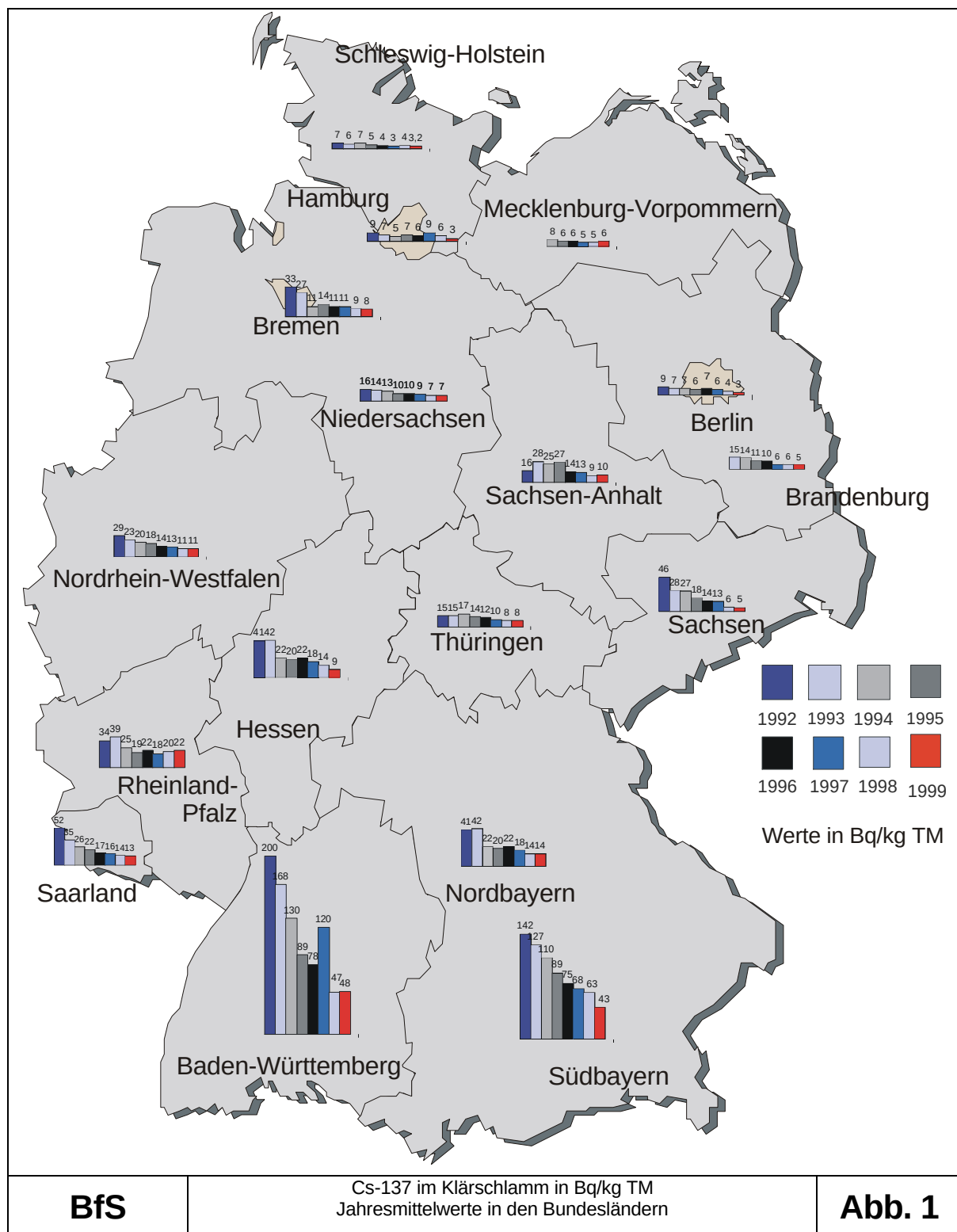
In den spezifischen Aktivitäten der Klärschlämme stellt man auf Grund unterschiedlichen Eintrags radioaktiver Stoffe nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl regional deutliche Unterschiede fest. Als Folge von starken Niederschlägen Anfang Mai 1986 traten die höchsten Kontaminationswerte etwa östlich bzw. südlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel auf. In Tab. 1 werden daher die Daten der süddeutschen Länder durch Angaben ergänzt, bei denen jeweils zwischen den gering und den höher belasteten Landesteilen unterschieden wird, z. B. Nord-Bayern und Süd-Bayern. Die höchsten Kontaminationen in Süddeutschland (Jahresmittelwerte) zeigten 1999 - wie in den früheren Jahren - die Klärschlämme aus der Kläranlage Tannheim (Baden-Württemberg), wobei mit 180 bzw.

1,9 Bq/kg TM nahezu die gleichen Werte für Cs-137 und Cs-134 auftraten wie im Vorjahr. Im Jahr davor war in dieser Kläranlage erstmals gegenüber einer Vorjahresperiode sogar eine Erhöhung festzustellen. In den Jahren 1996 bis 1999 ergaben sich als Jahresmittelwerte für Cs-137 im Klärschlamm dieser Kläranlage folgende mittleren spezifischen Aktivitäten: 240, 500, 170 und 180 Bq/kg TM.

Bei der überwiegenden Zahl der Bundesländer haben sich die Klärschlamm-Kontaminationen im Vergleich zu den Vorjahresperioden weiterhin verringert. Am deutlichsten ist diese Entwicklung im südlichen Bayern zu erkennen. So wurden in den Jahren 1988 bis 1999 jeweils folgende Jahresmittelwerte für die Cs-137-Gehalte ermittelt: 970, 520, 330, 220, 140, 130, 108, 89, 75, 68, 63 und 43 Bq/kg TM. In mehreren Bundesländern (z. B. Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg) sind die spezifischen Aktivitäten im Klärschlamm dagegen leicht angestiegen oder blieben unverändert. Der insgesamt zu kleineren Werten führende Langzeittrend wird offensichtlich in diesen Fällen im Jahr 1999 durch die Streuung der Messwerte, die mit abnehmenden Aktivitätswerten relativ zunimmt, überdeckt. 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 auf Grund des unterschiedlich schnellen radioaktiven Zerfalls dieser beiden Isotope (Halbwertszeiten: 2 bzw. 30 Jahre) bis Mitte des Jahres 1999, d.h. im Laufe von zwölf Jahren auf etwa 0,0085 : 1 verschoben. In wenig belasteten Gebieten findet man mitunter ein noch kleineres Verhältnis, da sich der Anteil des "alten" Cs-137 aus der Zeit der Kernwaffenversuche der 60er Jahre relativ stärker bemerkbar macht.

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



BfS

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

Abb. 1

Tabelle 1 Allgemeine Überwachung von Abwasser und Klärschlamm im Jahr 1999
Minimal-, Maximal- und Mittelwerte

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte (Bq/l)	Maximal- werte (Bq/l)	Mittel-/ Einzelwerte (Bq/l)	Mediane (Bq/l)	
		gesamt	<NWG					
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf								
Schleswig-Holstein	K-40	20	20	0,089	1,5	0,42	<1,2	
	Co-60	20	20				<0,044	
	I-131	17	0				0,39	
	Cs-137	20	20				<0,049	
	Sr-90	4	4				<0,015	
	U-234	4	4				<0,1	
	U-235	4	4				<0,1	
	U-238	4	4				<0,1	
Hamburg	K-40	3	3	0,093	0,24	0,16	<1,9	
	Co-60	3	3				<0,073	
	I-131	3	0				0,15	
	Cs-137	3	3				<0,074	
	Sr-90	1	0				0,00097	
Niedersachsen	K-40	58	11	0,36	2,1	0,72	0,68	
	Co-60	58	57	0,1	0,1	0,79	<0,025	
	I-131	50	0	0,052	9,9		0,36	
	Cs-137	58	56	0,012	0,015		<0,023	
	Sr-90	3	3	0,0085	0,0085		<0,018	
	U-234	2	1				0,0085	
	U-235	2	2				<0,0009	
	U-238	2	1				0,0038	
Bremen	K-40	9	4	0,59	0,88	0,76	0,68	
	Co-60	9	9	0,072	0,41	0,19	<0,018	
	I-131	8	0				0,16	
	Cs-137	9	9				<0,023	
	Sr-90	5	4				<0,01	
	U-234	4	3				<0,0064	
	U-235	4	3				<0,0024	
	U-238	4	3				<0,0023	
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	27	0,5	5,3	0,28	<1,1	
	Co-60	40	40	0,06	0,84		<0,052	
	I-131	26	4				0,17	
	Cs-137	40	39				<0,058	
	Sr-90	3	1				0,002	
	U-234	4	1				0,0054	
	U-235	4	4				<0,0013	
	U-238	4	1				0,0022	
Hessen	K-40	20	20	0,009	0,042	0,021	<2,3	
	Co-60	20	20				<0,092	
	I-131	20	20				<0,26	
	Cs-137	20	20				<0,1	
	Sr-90	4	4				<0,1	
	U-234	4	0				0,016	
	U-235	4	4				<0,005	
	U-238	4	0				0,008	

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte (Bq/l)	Maximal- werte (Bq/l)	Mittel-/ Einzelwerte (Bq/l)	Mediane (Bq/l)
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf							
Rheinland-Pfalz	K-40	20	11	0,45	1,9		0,78
	Co-60	20	20				<0,1
	I-131	20	13	0,14	0,44		<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	24	0,32	0,97		0,86
	Co-60	40	40				<0,054
	I-131	40	36	0,033	0,44		<0,083
	Cs-137	40	39	0,047	0,047		<0,051
	Sr-90	4	4				<0,015
	U-234	4	0	0,00053	0,0058	0,0033	0,0035
	U-235	4	4				<0,00034
	U-238	4	0	0,00046	0,0035	0,0022	0,0024
Bayern	K-40	39	35	1,3	2,2		<1,3
	Co-60	39	39				<0,085
	I-131	5	0	0,13	0,52	0,33	0,33
	Cs-137	39	39				<0,1
	Sr-90	2	0	0,0008	0,0016	0,0012	0,0012
	U-234	4	0	0,0011	0,037	0,015	0,01
	U-235	4	1	0,0005	0,0017	0,001	0,0008
	U-238	4	0	0,001	0,033	0,014	0,011
Saarland	K-40	8	8				<0,8
	Co-60	8	8				<0,038
	I-131	8	7	0,17	0,17		<0,047
	Cs-137	8	8				<0,04
	Sr-90	2	2				<0,003
	U-234	2	0	0,0014	0,0026	0,002	0,002
	U-235	2	2				<0,00022
	U-238	2	0	0,001	0,0016	0,0013	0,0013
Berlin	K-40	16	0	0,5	1,4	0,95	0,97
	Co-60	16	16				<0,0013
	Cs-137	16	1	0,0013	0,0035	0,0022	0,0021
	Sr-90	8	0	0,0032	0,0057	0,0038	0,0036
	U-234	8	0	0,0018	0,0083	0,0042	0,004
	U-235	8	5	0,0003	0,0012		<0,0003
	U-238	8	0	0,0016	0,008	0,0037	0,0034
	Brandenburg	K-40	20	1	0,4	1,3	0,79
Co-60		20	20				<0,011
I-131		20	4	0,04	1,4	0,37	<0,27
Cs-137		20	16	0,01	0,01		<0,011
Sr-90		8	0	0,002	0,005	0,0031	0,003
U-234		7	2	0,0003	0,001	0,00062	<0,0005
U-235		7	6	0,0005	0,0005		<0,0004
U-238		7	2	0,0003	0,0009	0,00058	<0,0005

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte Bq/l	Maximal- werte Bq/l	Mittel-/ Einzelwerte Bq/l	Mediane Bq/l
		gesamt	<NWG				
Abwasser aus Kläranlagen, Ablauf							
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	20	0	0,26	1,2	0,72	0,72
	Co-60	20	20				<0,0083
	I-131	16	0	0,039	0,86	0,27	0,18
	Cs-137	20	20				<0,007
	Sr-90	4	0	0,0031	0,012	0,0078	0,0079
	U-234	4	3	0,0064	0,0064		0,0064
	U-235	4	3	0,00024	0,00024		<0,0024
	U-238	4	2	0,0011	0,0041	0,0026	0,0041
Sachsen	K-40	20	0	0,35	1,3	0,69	0,73
	Co-60	20	20				<0,02
	I-131	16	1	0,033	0,5	0,15	<0,088
	Cs-137	20	20				<0,021
	Sr-90	4	1	0,022	0,04	0,029	<0,025
	U-234	4	0	0,015	0,055	0,037	0,04
	U-235	4	0	0,0016	0,0092	0,0054	0,0053
	U-238	4	0	0,012	0,045	0,033	0,038
Sachsen-Anhalt	K-40	16	0	0,3	1,7	0,84	0,75
	Co-60	16	16				<0,0084
	I-131	12	1	0,0081	0,48	0,16	0,093
	Cs-137	16	16				<0,0083
	Sr-90	2	2				<0,1
	U-234	2	0	0,008	0,038	0,023	0,023
	U-235	2	2				<0,001
	U-238	2	0	0,006	0,032	0,019	0,019
Thüringen	K-40	20	20				<2,0
	Co-60	20	20				<0,08
	I-131	8	0	0,13	1,4	0,4	0,25
	Cs-137	20	20				<0,079
	Sr-90	4	4				<0,0026
	U-234	4	0	0,018	0,087	0,055	0,058
	U-235	4	4				<0,0034
	U-238	4	0	0,012	0,043	0,028	0,028
Bundesrepublik Deutschland	K-40	369	184	0,26	5,3	0,84	<0,92
	Co-60	369	368	0,1	0,1		<0,043
	I-131	269	86	0,0081	9,9	0,42	0,17
	Cs-137	369	346	0,0013	0,076		<0,04
	Sr-90	62	33	0,0008	0,21		<0,0073
	U-234	61	18	0,0003	0,087	0,016	0,0064
	U-235	61	48	0,00024	0,0092		0,0012
	U-238	61	17	0,0003	0,045	0,011	0,0045
Klärschlamm				(Bq/kg TM)	(Bq/kgTM)	(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)
Schleswig-Holstein	K-40	20	0	35	110	67	61
	Co-60	20	20				<0,24
	I-131	20	0	1,9	130	36	29
	Cs-137	20	0	1,2	8,9	3,2	2,5
	Sr-90	4	0	2,3	5,6	4,1	4,3
	U-234	4	0	7,3	13	10	11
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	0	6,1	11	8,9	9,2

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte (Bq/kg TM)	Maximal- werte (Bq/kg TM)	Mittel-/ Einzelwerte (Bq/kg TM)	Mediane (Bq/kg TM)
		gesamt	<NWG				
Klärschlamm							
Hamburg	K-40	4	0	200	270	230	230
	Co-60	4	4				<3,0
	I-131	4	0	62	71	66	67
	Cs-134	4	4				<2,5
	Cs-137	4	0	2,4	4,1	3,2	3,1
	Sr-90	2	0	1,6	1,7	1,7	1,7
	U-234	2	0	14	14	14	14
	U-235	2	0	0,55	0,7	0,63	0,63
	U-238	2	0	12	13	12	12
Niedersachsen	K-40	39	0	49	390	140	110
	Co-60	39	37	0,57	0,99		<0,35
	I-131	38	0	1,6	2200	230	33
	Cs-134	39	39				<0,3
	Cs-137	39	0	1,9	27	6,9	5,1
	Sr-90	2	1	3,0	3,0	3,0	<3,4
	U-234	2	0	12	19	16	16
	U-235	2	2				<0,48
	U-238	2	0	9,9	20	15	15
Bremen	K-40	9	1	97	450	270	260
	Co-60	9	9				<1,4
	I-131	9	0	9,4	89	37	34
	Cs-134	9	9				<1,1
	Cs-137	9	1	2,6	16	7,6	5,2
	Sr-90	3	2	1,9	1,9		<1,4
	U-234	3	0	12	23	17	15
	U-235	5	4	0,48	0,48		0,48
	U-238	5	2	9,1	16	12	16
Nordrhein-Westfalen	K-40	40	0	70	600	250	230
	Co-60	40	40				<0,25
	I-131	40	3	3,1	360	77	40
	Cs-134	17	15	0,14	0,33		<0,64
	Cs-137	40	0	3,0	31	11	11
	Sr-90	3	0	1,2	5,4	3,3	3,2
	U-234	4	0	23	33	27	27
	U-235	4	0	0,72	1,2	0,92	0,91
	U-238	4	0	20	28	23	22
Hessen	K-40	20	0	100	270	170	160
	Co-60	20	20				<1,3
	Ru-106	20	20				<11
	I-131	14	4	7,0	110	42	62
	Cs-134	20	20				<1,1
	Cs-137	20	0	1,7	23	9,1	7,9
	Sr-90	4	0	1,1	2,9	1,7	1,4
	U-234	2	0	27	110	67	67
	U-235	2	0	1,1	3,3	2,2	2,2
	U-238	2	0	21	69	45	45

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte (Bq/kg TM)	Maximal- werte (Bq/kg TM)	Mittel-/ Einzelwerte (Bq/kg TM)	Mediane (Bq/kg TM)
		gesamt	<NWG				
Klärschlamm							
Rheinland-Pfalz	K-40	20	0	88	290	190	200
	Co-60	20	20				<5,0
	I-131	20	9	5,3	120	29	6,0
	Cs-134	20	20				<5,0
	Cs-137	20	6	5,2	84	22	10
	Sr-90	4	2	6,3	9,9	8,1	6,3
	U-234	4	0	45	65	54	53
	U-235	4	4				<5,0
	U-238	4	0	26	42	35	36
Baden-Württemberg	K-40	40	1	54	540	190	170
	Co-60	40	40				<1,6
	I-131	40	14	1,9	650	75	9,6
	Cs-134	7	0	0,81	2,2	1,4	1,3
	Cs-137	40	0	5,5	250	48	20
	Sr-90	4	0	0,97	1,7	1,4	1,6
	U-234	4	0	21	27	24	24
	U-235	4	0	0,69	1,5	1,2	1,3
	U-238	4	0	17	26	20	19
Baden-Württemberg (West)	Co-60	28	28				<1,6
	Cs-134	2	0	0,81	1,3	1,1	1,1
	Cs-137	28	0	5,5	140	25	16
	Sr-90	2	0	1,6	1,7	1,7	1,7
Baden-Württemberg (Ost)	Co-60	12	12				<1,6
	Cs-134	5	0	1,0	2,2	1,6	1,5
	Cs-137	12	0	16	250	100	100
	Sr-90	2	0	0,97	1,5	1,2	1,2
Bayern	K-40	38	0	78	680	300	290
	Co-60	38	38				<2,0
	Ru-106	38	38				<17
	I-131	33	0	5,2	1900	150	39
	Cs-134	38	38				<2,2
	Cs-137	38	0	4,8	110	30	21
	U-234	3	0	27	69	42	30
	U-235	3	0	1,2	3,2	2,0	1,5
	U-238	3	0	28	63	40	29
Bayern (Nord)	Co-60	18	18				<2,0
	Cs-134	18	18				<2,2
	Cs-137	18	0	4,8	33	14	13
Bayern (Süd)	Co-60	20	20				<2,0
	Cs-134	20	20				<2,2
	Cs-137	20	0	6,7	110	43	32

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel-/ Einzelwerte	Mediane
		gesamt	<NWG				
				(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)
Klärschlamm							
Saarland	K-40	8	0	200	360	250	210
	Co-60	8	8				<0,43
	I-131	8	0	12	880	160	54
	Cs-134	8	8				<0,4
	Cs-137	8	0	4,7	24	13	11
	Sr-90	2	0	2,6	4,8	3,7	3,7
	U-234	3	0	73	92	83	86
	U-235	3	0	2,0	3,0	2,6	2,8
	U-238	3	0	58	67	62	61
Berlin	K-40	16	0	60	360	110	85
	Co-60	16	16				<0,39
	I-131	15	0	24	590	150	84
	Cs-134	16	16				<0,42
	Cs-137	16	0	1,7	8,6	3,2	3,0
	Sr-90	4	0	1,8	3,6	2,9	3,1
	U-234	4	0	9,8	17	13	12
	U-235	4	0	0,41	0,86	0,57	0,5
	U-238	4	0	8,3	17	12	11
Brandenburg	K-40	20	0	52	170	99	92
	Co-60	20	20				<0,17
	Ru-106	9	9				<1,4
	I-131	20	1	2,0	200	55	25
	Cs-134	20	19	0,14	0,14		<0,2
	Cs-137	20	0	1,0	12	4,5	3,4
	Sr-90	8	0	2,0	4,0	3,0	3,0
	U-234	6	0	12	22	18	18
	U-235	6	0	0,6	1,0	0,85	0,9
	U-238	6	0	4,5	20	14	15
Mecklenburg- Vorpommern	K-40	20	0	65	180	130	140
	Co-60	20	20				<0,28
	I-131	17	0	2,8	470	140	110
	Cs-134	20	20				<0,26
	Cs-137	20	0	1,1	20	5,8	3,5
	Sr-90	4	1	2,9	8,4	6,4	7,8
	U-234	3	0	24	32	28	27
	U-235	3	0	0,83	1,7	1,2	1,2
	U-238	3	0	22	28	25	23
Sachsen	K-40	20	0	40	240	130	120
	Co-60	20	20				<0,78
	I-131	18	0	4,9	430	140	31
	Cs-137	20	0	1,5	12	4,8	4,6
	Sr-90	4	0	1,3	3,6	2,7	3,0
	U-234	4	0	27	30	29	29
	U-235	4	1	1,5	5,7	3,1	2,0
	U-238	4	0	24	33	29	29

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Nuklid	Anzahl		Minimal- werte	Maximal- werte	Mittel-/ Einzelwerte	Mediane
		gesamt	<NWG				
				(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)	(Bq/kg TM)
Klärschlamm							
Sachsen-Anhalt	K-40	16	0	100	260	160	160
	Co-60	16	16				<0,19
	I-131	16	2	0,61	89	21	11
	Cs-134	16	14	0,24	0,48		<0,19
	Cs-137	16	2	3,7	24	10	7,6
	Sr-90	2	0	3,0	19	11	11
	U-234	2	0	140	160	150	150
	U-235	2	0	48	72	60	60
	U-238	2	0	110	150	130	130
Thüringen	K-40	20	0	130	400	230	210
	Co-60	20	20				<0,27
	I-131	16	0	0,34	200	44	30
	Cs-134	16	16				<0,28
	Cs-137	20	0	2,9	15	7,7	7,2
	Sr-90	4	0	1,0	1,7	1,3	1,3
	U-234	4	0	69	110	89	92
	U-235	20	0	1,5	3,2	2,3	2,4
	U-238	24	0	19	110	55	54
Bundesrepublik Deutschland	K-40	350	2	35	680	180	150
	Co-60	350	348	0,57	0,99		<0,58
	Ru-106	75	75				<14
	I-131	328	33	0,34	2200	100	31
	Cs-134	250	238	0,14	2,2		<0,52
	Cs-137	350	9	1,0	250	15	7,3
	Sr-90	54	6	0,97	19	3,4	2,9
	U-234	54	0	7,3	160	39	27
	U-235	72	15	0,41	72	3,8	1,7
	U-238	76	2	4,5	150	37	28
Bundesrepublik Deutschland (Nord)	Co-60	318	316	0,57	0,99		<0,45
	Cs-134	225	218	0,14	1,3		<0,44
	Cs-137	318	9	1,0	140	9,9	6,5
	Sr-90	52	6	1,0	19	3,5	3,0
Bundesrepublik Deutschland (Süd)	Co-60	32	32				<1,9
	Cs-134	25	20	1,0	2,2		<2,1
	Cs-137	32	0	6,7	250	65	43
	Sr-90	2	0	0,97	1,5	1,2	1,2

3.6 Reststoffe und Abfälle

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

Von den amtlichen Messstellen der Bundesländer wurden der Leitstelle im Jahr 1999 Messwerte zu folgenden Überwachungsmedien mitgeteilt:

- Sickerwasser und oberflächennahes Grundwasser von Hausmülldeponien,
- Asche, Schlacke, feste und flüssige Rückstände aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Verbrennungsanlagen für Klärschlamm und Hausmüll sowie
- in den Handel gelangenden Kompost aus Kompostierungsanlagen.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die zusammengefassten Messwerte für **Cäsium-137, Kobalt-60, Iod-131, Kalium-40 und Tritium**. Nach Medien geordnet sind die Anzahl der Messungen, die Anzahl der Messwerte, die kleiner als die Nachweisgrenze sind, die Minimal- und Maximalwerte sowie die Mediane der Konzentrationen und spezifischen Aktivitäten angegeben. Bei der Auswertung von Cs-137 wurde zwischen Probenentnahmeorten nördlich und südlich der Linie Reutlingen-Regensburg-Zwiesel unterschieden, da dies etwa die Grenze zwischen den durch den Reaktorunfall von Tschernobyl höher belasteten Gebieten in Bayern und im südöstlichen Baden-Württemberg und den weniger belasteten Gebieten in der übrigen Bundesrepublik bildet. Da eine regionale Abhängigkeit für die sonstigen aufgeführten Radionuklide nicht besteht, wurden die Messwerte aus allen Ländern zusammengefasst ausgewertet.

Das Verhältnis der spezifischen Aktivitäten von Cs-134 zu Cs-137, das unmittelbar nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 etwa 0,5 : 1 betrug, hat bis zum Jahr 1999 auf Grund der unterschiedlichen Halbwertszeiten dieser beiden Nuklide auf einen Wert von etwa 0,0085 : 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 10 Bq/l (1998: 16 Bq/l), der Median aller Werte beträgt 0,075 Bq/l (1998: 0,055 Bq/l).

Bei dem natürlich vorkommenden Nuklid K-40 liegt die Konzentration im Bereich von 0,08 Bq/l bis 130 Bq/l, der Median bei 11 Bq/l (1998: 0,08 bis 220 Bq/l, Median: 13 Bq/l). Tritium wurde in 77 % der untersuchten Proben mit Werten zwischen 3,7 und 280 Bq/l (1998: 3,5 bis 280 Bq/l) gefunden.

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

Der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 in **Flugasche/Filterstaub** liegt in den Gebieten südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel bei 280 Bq/kg TM (1998: 470 Bq/kg TM), der Median für das Gebiet der übrigen Bundesrepublik liegt bei 29 Bq/kg TM (1998: 27 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 52 Bq/kg TM bis 3200 Bq/kg TM, der Median bei 1300 Bq/kg TM (1998: 89 bis 3300 Bq/kg TM, Median: 1300 Bq/kg TM). In zahlreichen Proben konnte das in der Nuklearmedizin angewandte Nuklid I-131 mit Werten von 0,61 Bq/kg TM bis 110 Bq/kg TM (1998: 0,89 bis 470 Bq/kg TM) nachgewiesen werden. In einer Filterstaubprobe aus der Sondermüllverbrennungsanlage in Rheinland-Pfalz wurde Co-60 mit einem Wert von 0,44 Bq/kg TM (1998: 0,66 und 0,77 Bq/kg TM) gemessen.

Für **Rohschlacke mit und ohne Filterstaub** beträgt der Maximalwert der spezifischen Aktivität von Cs-137 59 Bq/kg TM (1998: 130 Bq/kg TM). Der Median südlich/östlich der Linie Konstanz-Eichstätt-Regensburg-Zwiesel liegt bei 10 Bq/kg TM (1998: 9,5 Bq/kg TM), nördlich davon bei 2,6 Bq/kg TM (1998: 2,7 Bq/kg TM).

Für K-40 wurden Messwerte von 63 Bq/kg TM bis 1600 Bq/kg TM (1998: 50 bis 3200 Bq/kg TM) angegeben, für I-131 wurden Werte von 8,1 Bq/kg TM und 14 Bq/kg TM (1998: 0,37 bis 29 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 1999 bei 3,4 Bq/kg TM (1998: 2,1 Bq/kg TM). Für die Länder nördlich dieser Linie wurde ein Median von 2,5 Bq/kg TM (1998: 1,1 Bq/kg TM) berechnet.

Die K-40-Meßwerte liegen im Bereich von 4,0 Bq/kg TM bis 1200 Bq/kg TM (1998: 3,7 bis 3300 Bq/kg TM) mit einem Median von 54 Bq/kg TM (1998: 23 Bq/kg TM). Für I-131 wurden Messwerte von 0,12 Bq/kg TM bis 2900 Bq/kg TM (1998: 0,28 bis 2600 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 (1998: keine Werte über der Nachweisgrenze) mit einem Median von <0,12 Bq/l (1998: <0,029 Bq/l), für das Gebiet der restlichen Bundesrepublik wurden Werte von 0,097 Bq/l bis 6,0 Bq/l (1998: 0,011 bis 1,6 Bq/l) mit einem Median von <0,10 Bq/l gemessen (1998: 0,10 Bq/l).

I-131 wurde in 19 Proben mit Werten zwischen 0,20 Bq/l und 750 Bq/l (1998: 0,18 und 2400 Bq/l) angetroffen, der Median liegt bei 3,0 Bq/l (1998: 3,4 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 12 Bq/kg TM bis 59 Bq/kg TM (1998: 34 bis 58 Bq/kg TM) mit einem Median von 35 Bq/kg TM (1998: 49 Bq/kg TM). In den Gebieten nördlich davon liegen die ermittelten Werte zwischen 3,3 Bq/kg TM und 37 Bq/kg TM (1998: 3,2 bis 35 Bq/kg TM), der Median liegt bei 13 Bq/kg TM (1998: 13 Bq/kg TM).

Die spezifische Aktivität des natürlich vorkommenden Nuklids K-40 liegt im Bereich von 98 Bq/kg TM bis 920 Bq/kg TM, der Median bei 470 Bq/kg TM (1998: 210 bis 910 Bq/kg TM, Median: 500 Bq/kg TM).

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

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

Tabelle 1 Überwachung von Reststoffen und Abfällen im Jahr 1999

Land	Nuklid	Anzahl		Minimalwert	Maximalwert	Median
		gesamt	<NWG			
Hausmülldeponien						
Sickerwasser aus Hausmülldeponien (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	96	59	0,003	10	<0,07
südlich *)	Cs-137	7	1	0,17	1,6	0,58
alle Länder	K-40	103	9	0,08	130	11
	I-131	45	44		0,014	<0,1
	H-3	95	22	3,7	280	22
Verbrennungsanlagen						
Flugasche/Elektrofilterstaub, Gewebefilterstaub, Zyklonstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	48	0	0,25	190 ¹	29
südlich *)	Cs-137	2	0	180	280	230
alle Länder	K-40I	50	0	52	3200	1300
	Co-60	50	49		0,44 ¹)	<0,42
	I-131	32	19	0,61	110	<1,9
Rohschlacke mit und ohne Filterstaub (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	49	1	0,27	59	2,6
südlich *)	Cs-137	2	0	9,9	11	10
alle Länder	K-40	51	0	63	1600	300
	I-131	25	23	8,1	14	<0,31
Feste Rückstände der Rauchgasreinigung, Wäscherschläm (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	34	10	0,16	42	2,5
südlich *)	Cs-137	2	0	1,1	5,7	3,4
alle Länder	K-40	36	4	4,0	1200	54
	I-131	29	4	0,12	2900	<4,2
Flüssige Rückstände der Rauchgasreinigung, Abwasser (Bq/l)						
nördlich *)	Cs-137	26	18	0,097	6,0	<0,1
südlich *)	Cs-137	2	2			<0,12
alle Länder	K-40	28	13	1,3	110	3,6
	I-131	19	3	0,2	750	3,0
Kompostierungsanlagen						
Kompost (Bq/kg TM)						
nördlich *)	Cs-137	50	0	3,3	37	11
südlich *)	Cs-137	4	0	12	59	35
alle Länder	K-40	53	0	98	920	470

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

¹) oder Einzelwert

3.7 Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für angewandten Strahlenschutz, Außenstelle Neuherberg

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 wurden ab Mitte 1986 monatlich Ganzkörpermessungen zur Bestimmung der **Cäsium-137**- und **-134**-Aktivität von Referenzgruppen durchgeführt. Die Jahres- und Monatsmittelwerte für die einzelnen Referenzgruppen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst und in Abb. 1 - 4 dargestellt. Unter "Jahresmittelwert" wird hier der Mittelwert über die Monate, in denen Messwerte vorliegen, verstanden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Ganzkörpermessstelle des Institutes für Strahlenhygiene in Neuherberg für die Referenzgruppe München sowie der Messstelle in Karlsruhe. Die übrigen Messstellen verfolgen weiterhin ihre Referenzgruppen, jedoch liegen die Messergebnisse in der überwiegenden Zahl unter der Nachweisgrenze für Cäsiuminkorporation aus dem Tschernobyl-Fallout. Dies gilt insbesondere für das Radionuklid Cs-134, dessen Aktivität auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 2 Jahren auf weniger als 2 Prozent der 1986 vorhandenen Aktivität zurückgegangen ist. Daher wird bei den Ergebnissen der Ganzkörpermessungen dieses Nuklid nicht mehr aufgeführt. Ein Trend für den Gehalt an Radiocäsium im Körper kann nicht mehr angegeben werden, da fast alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

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

Tabelle 1 Jahres- und Monatsmittelwerte Raum München

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

Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
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 a)	254	52	0,85	210	58	1,04
1992	270	55	0,63	264	61	0,76
1993 b)	239	49	1,03	243	55	1,14
1994	267	46	1,18	310	55	1,39
1995	248	46	1,04	277	54	1,28
1996	282	47	0,93	289	56	1,06
1997	304	44	0,72	332	54	0,85
1998	316	45	0,61	265	52	0,67
1999	290	56	<1,4	255	61	<1,2
Januar	25	51	<1,3	21	56	<1,1
Februar	14	53	<1,3	22	59	<1,2
März	33	56	<1,5	23	56	<1,2
April	22	53	<1,4	21	60	<1,3
Mai	21	57	<1,5	17	60	<1,3
Juni	29	56	<1,4	22	62	<1,2
Juli	22	60	<1,5	19	64	<1,2
August	19	58	<1,5	22	64	<1,2
September	25	57	<1,4	20	62	<1,2
Oktober	23	54	<1,4	17	62	<1,3
November	27	58	<1,5	27	63	<1,2
Dezember	30	59	<1,5	24	64	<1,2

a) im Mai keine Messungen von Referenzgruppen

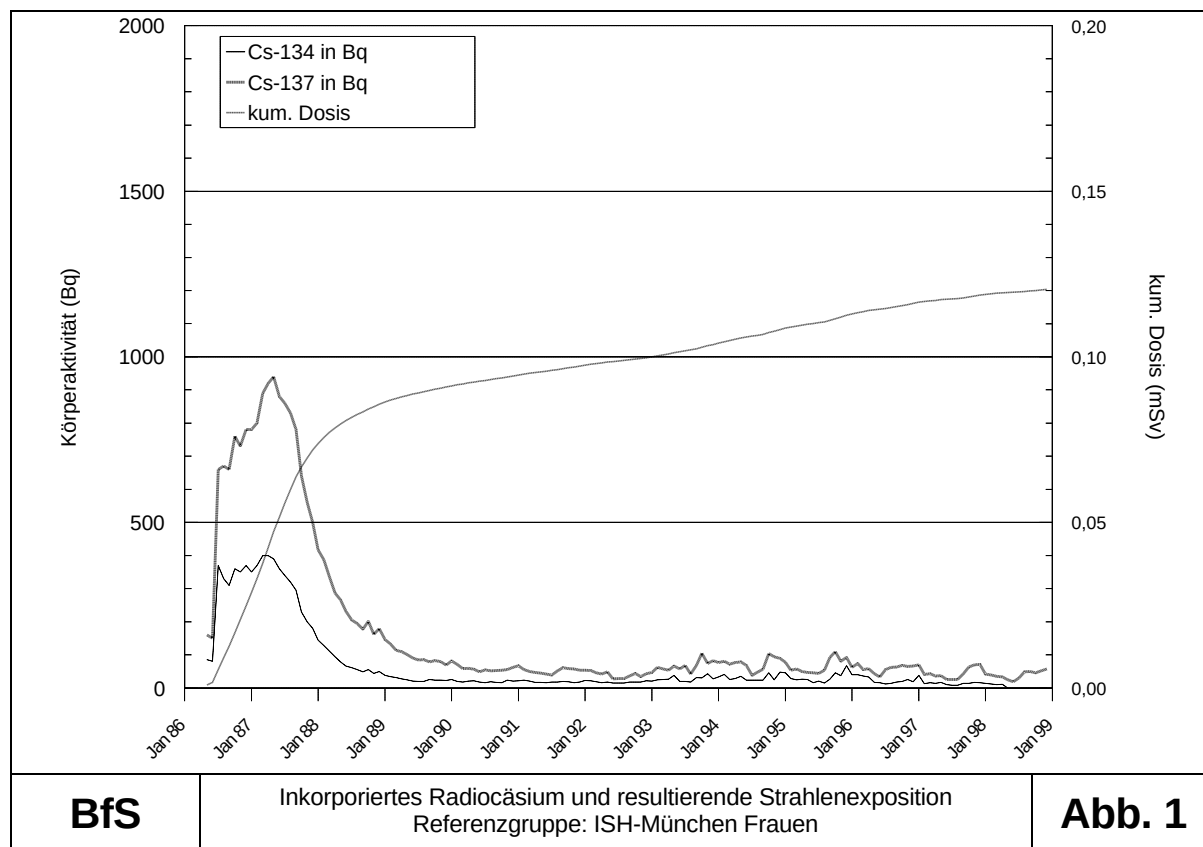
b) im März wegen Umbau der Messanlage keine Messungen

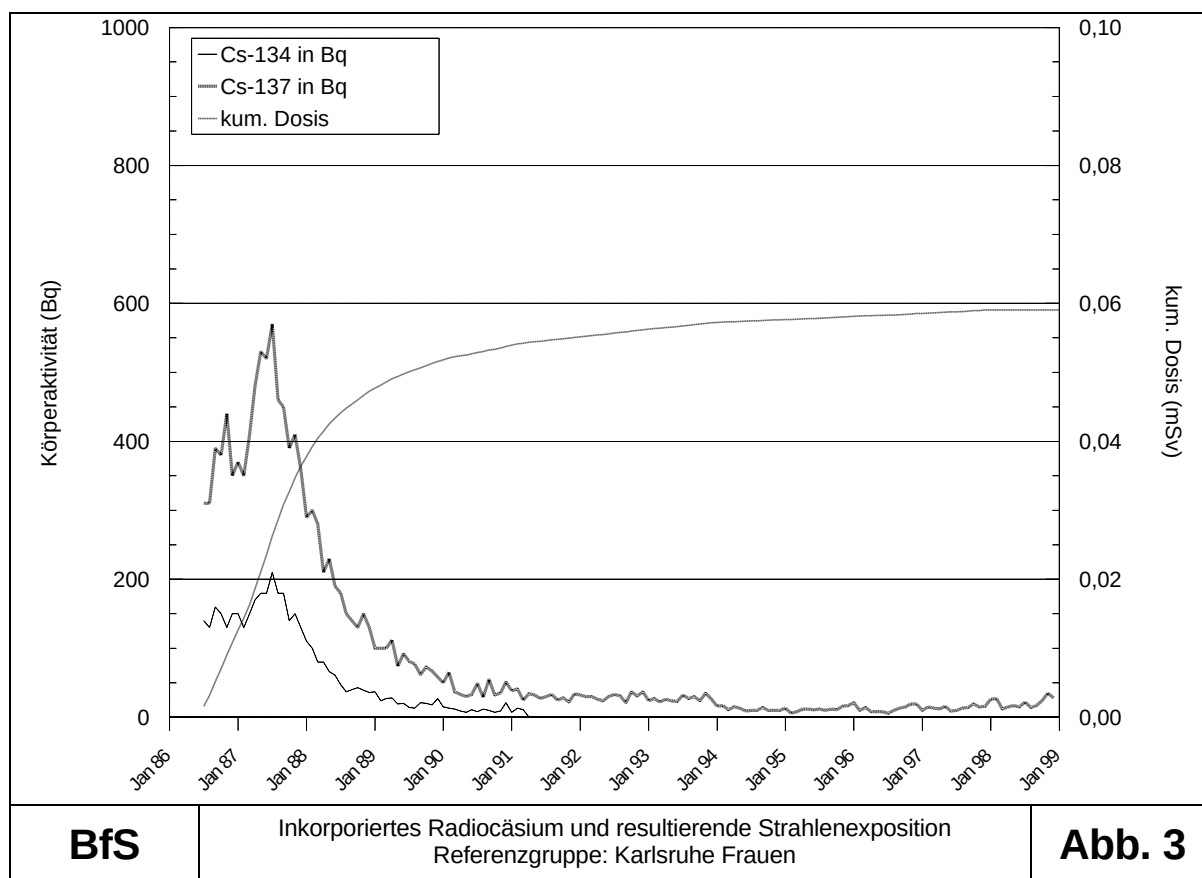
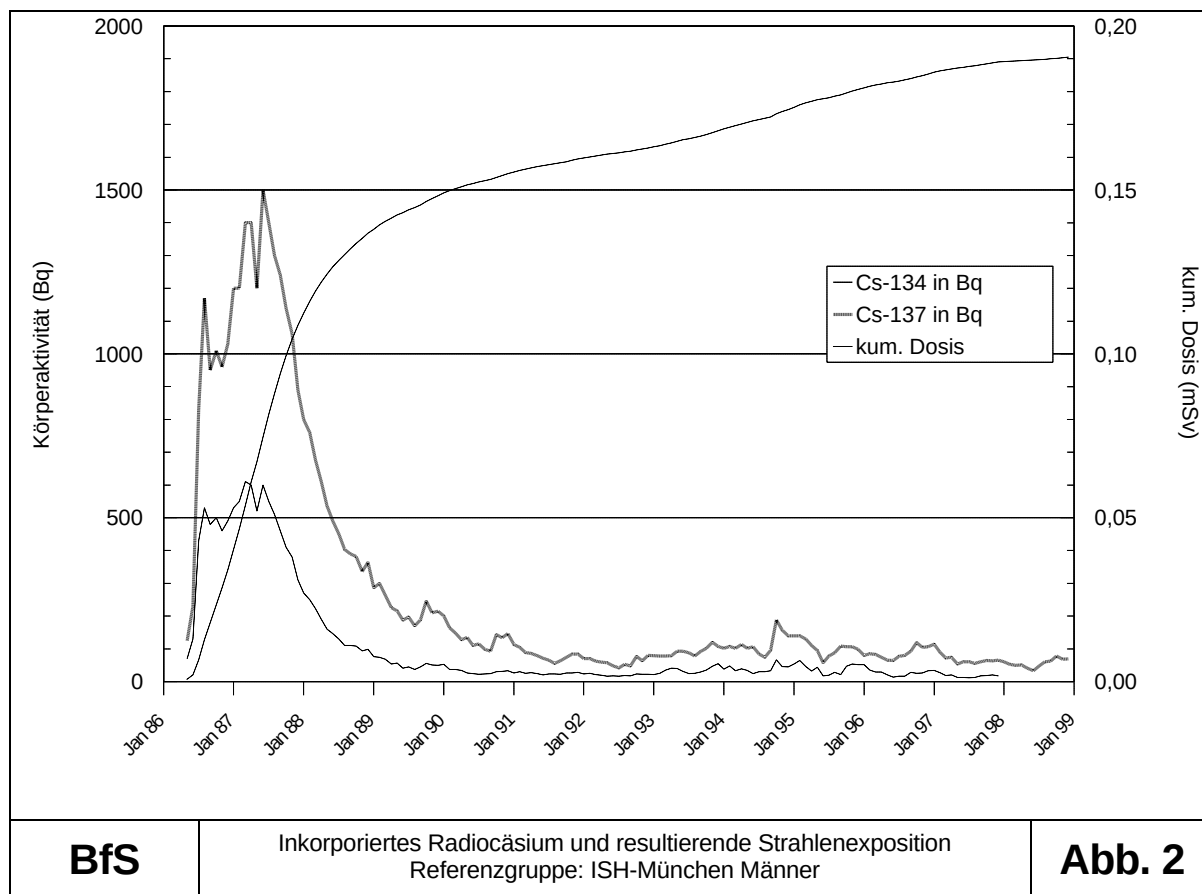
Tabelle 2 **Jahres- und Monatsmittelwerte Raum Karlsruhe**
Messstelle: Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit, Karlsruhe

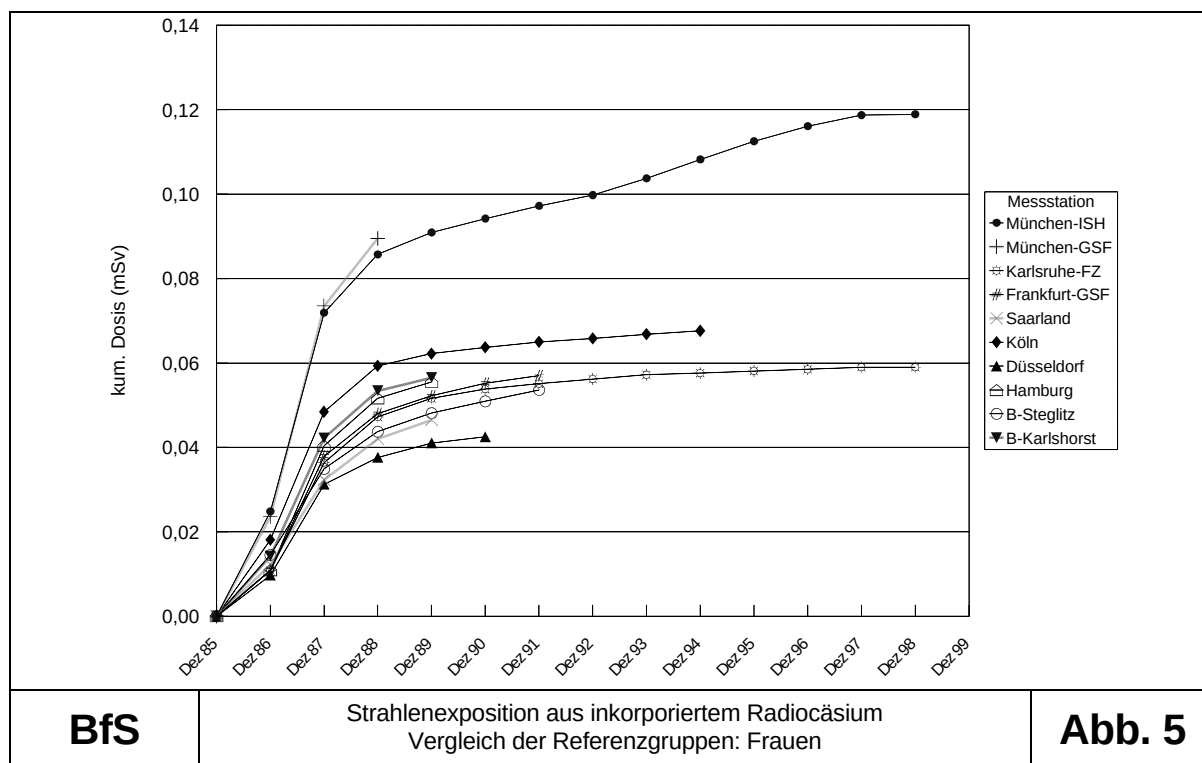
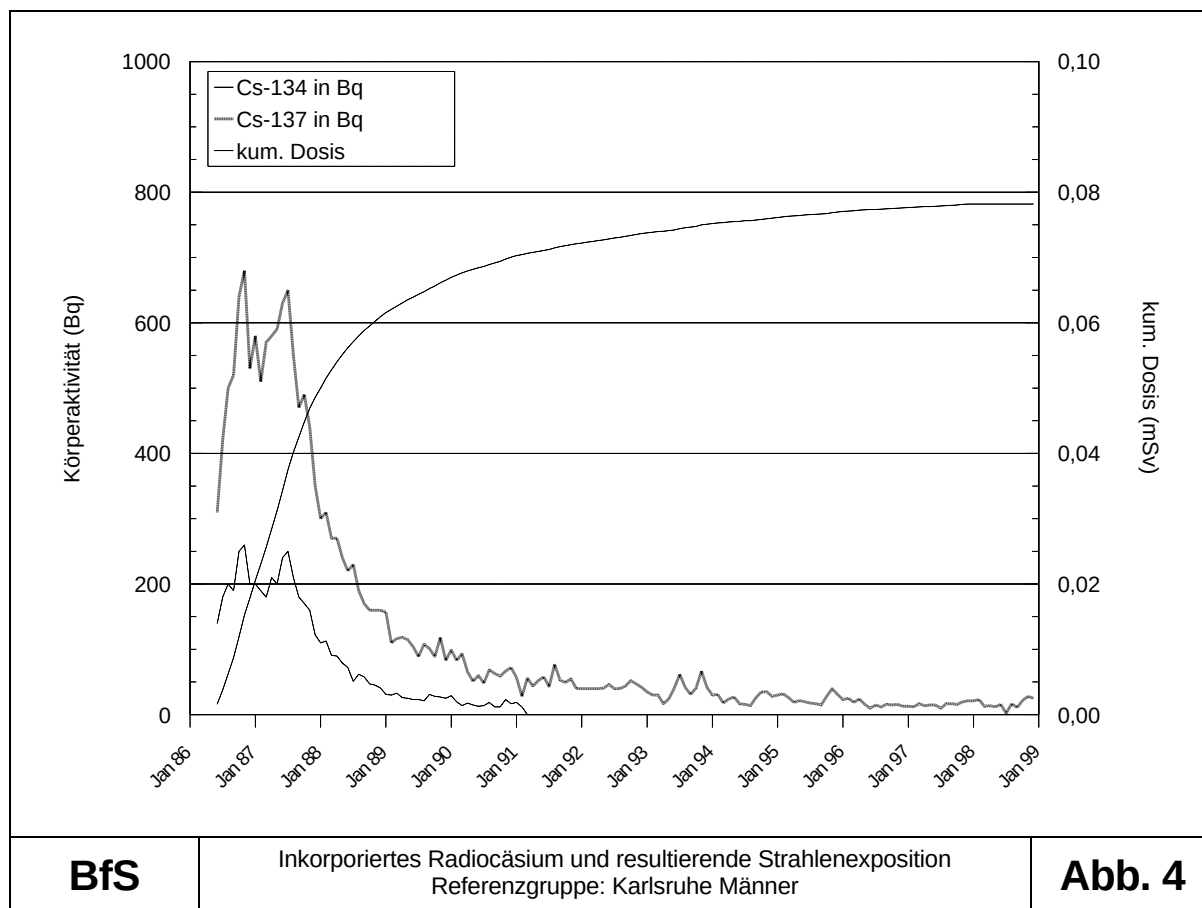
Jahr Monat	Frauen			Männer		
	Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)		Zahl der Personen	spezifische Aktivität (Bq/kg)	
		K-40	Cs-137		K-40	Cs-137
1988	107	-	3,1	70	-	3,3
1989	94	-	1,4	74	-	1,5
1990	97	-	0,73	87	-	0,92
1991	97	53	0,53	88	59	0,74
1992 a)	82	51	0,51	76	58	0,58
1993	106	52	0,43	87	58	0,50
1994	112	49	<0,20	102	52	<0,32
1995	106	49	0,19	98	54	0,32
1996 b)	36	49	<0,21	38	57	<0,22
1997	112	51	0,22	112	61	0,21
1998	114	51	<0,21	118	63	<0,24
1999	110	51,5	<0,23	115	61	<0,27
Januar	9	50	<0,23	9	62	<0,23
Februar	9	50	<0,15	10	60	0,25
März	9	52	0,28	9	62	<0,19
April	9	53	<0,23	10	62	0,27
Mai	9	52	<0,20	9	62	0,21
Juni	9	50	<0,19	10	62	0,19
Juli	10	50	<0,21	10	62	0,28
August	10	53	0,16	10	63	0,23
September	9	49	28,00	10	62	0,30
Oktober	10	53	0,20	10	60	0,36
November	10	53	0,26	9	60	0,32
Dezember	7	51	0,31	9	60	0,35

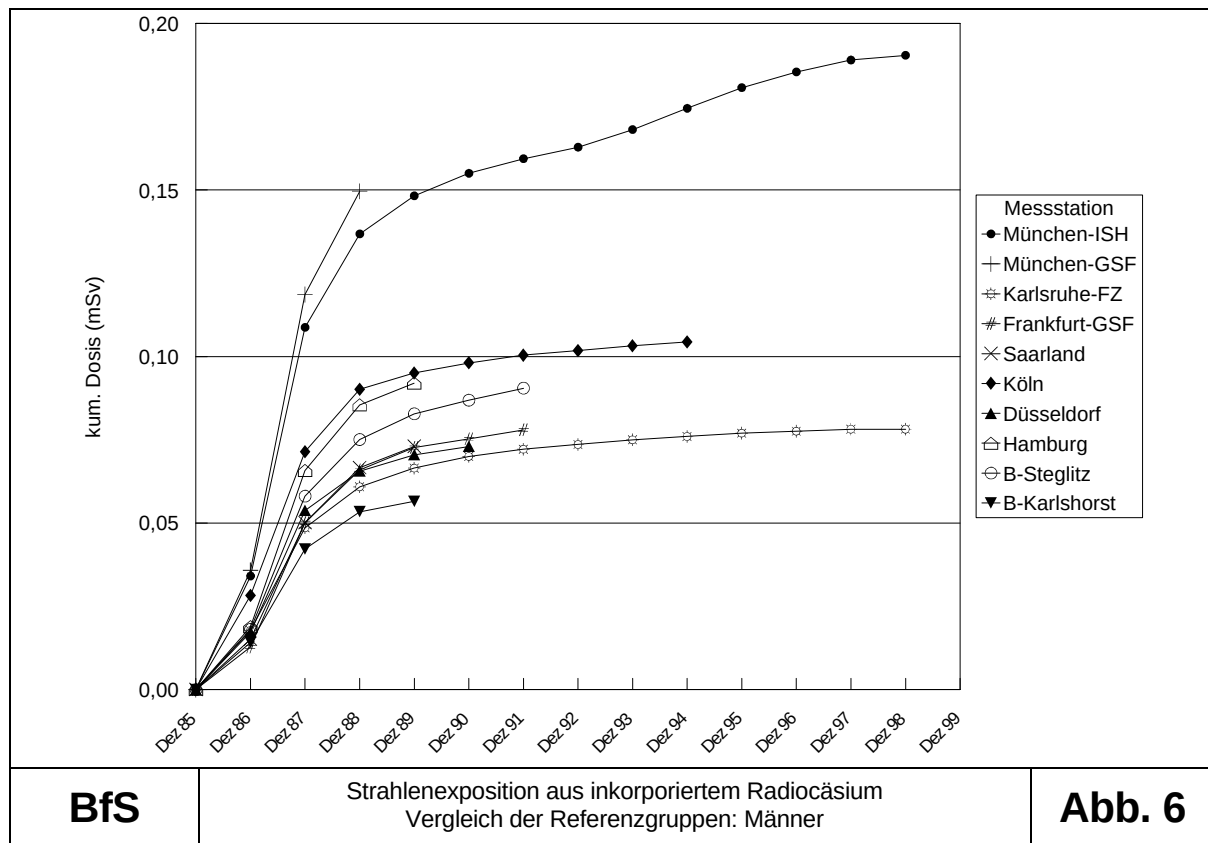
a) März und April 1992 keine Messungen wegen Anlagensanierung

b) Mai 1996 keine Messungen









3.8 Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von Tschernobyl

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Nachdem die nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Deutschland abgelagerten Radionuklide mit kürzerer Halbwertszeit bereits weitgehend zerfallen sind, trägt nur noch **Cäsium-137** mit 30 Jahren Halbwertszeit nennenswert zur **äußeren Strahlenbelastung** bei. 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 1999 auf ca. 10 μSv für Erwachsene abgeschätzt werden (zum Vergleich: 1986 ca. 70 μSv). Vernachlässigt wird dabei das Eindringen von Radiocäsium in tiefere Bodenschichten und die dadurch abnehmende Bodenstrahlung. In Gebieten, die eine höhere Ablagerung aufweisen, besonders südlich der Donau, kann diese Dosis um eine Größenordnung höher sein. Die durch externe Strahlung natürlich radioaktiver Nuklide verursachte effektive Dosis (siehe Teil I, 1.6) beträgt im Vergleich dazu im Mittel 400 μSv pro Jahr (ohne kosmische Strahlung).

Im Jahr 1999 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 1999 wurde zu 0,28 Bq pro Tag und Person bestimmt (siehe Teil I, 3.4.4). Dies entspricht einer effektiven **Dosis durch Ingestion** von ca. 1,3 μSv pro Jahr. Zum Vergleich liegt die Strahlenexposition durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung bei ca. 300 μSv pro Jahr.

Bei einzelnen Nahrungsmitteln wie Wild, einigen Arten von Waldpilzen, Waldbeeren, Fischen aus Binnenseen oder Blütenhonig wurden auch 1999 in einigen Proben maximale Cs-137-Aktivitäten von einigen hundert Bq/kg gefunden, in Waldpilzen und Wild bis zu einigen tausend Bq/kg, jeweils bezogen auf die Frischmasse. Die jeweiligen Mittelwerte der spezifischen Aktivitäten dieser Nahrungsmittel liegen deutlich niedriger. Individuelle Verzehrsgewohnheiten dieser Nahrungsmittel und starke örtliche Schwankungen der Cs-137-Aktivitäten können zu Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr durch Ingestion führen. Ein Verzehr von z.B. 500 g eines Nahrungsmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1 000 Bq/kg führt zu einer effektiven Dosis von 7 μSv .

Der **Strontium-90**-Gehalt in Nahrungsmitteln blieb 1999 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 1999 eine durch Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl verursachte mittlere effektive Dosis von weniger als 15 μSv . Diese Strahlenexposition wird zu mehr als 90 % durch die Bodenstrahlung von abgelagertem Cs-137 verursacht und wird entsprechend der Halbwertszeit dieses Radionuklids von ca. 30 Jahren in den folgenden Jahren nur langsam zurückgehen. Im Vergleich zur mittleren effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 2 400 μSv pro Jahr ist der Dosisbeitrag durch Tschernobyl in Deutschland sehr gering.

3.9 Kernwaffenversuche

Im Jahr 1999 wurden (wie im Jahr 1997) keine Kernwaffenversuche durchgeführt. Tabelle 1 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 1999 liegt unter 0,01 Millisievert pro Jahr.

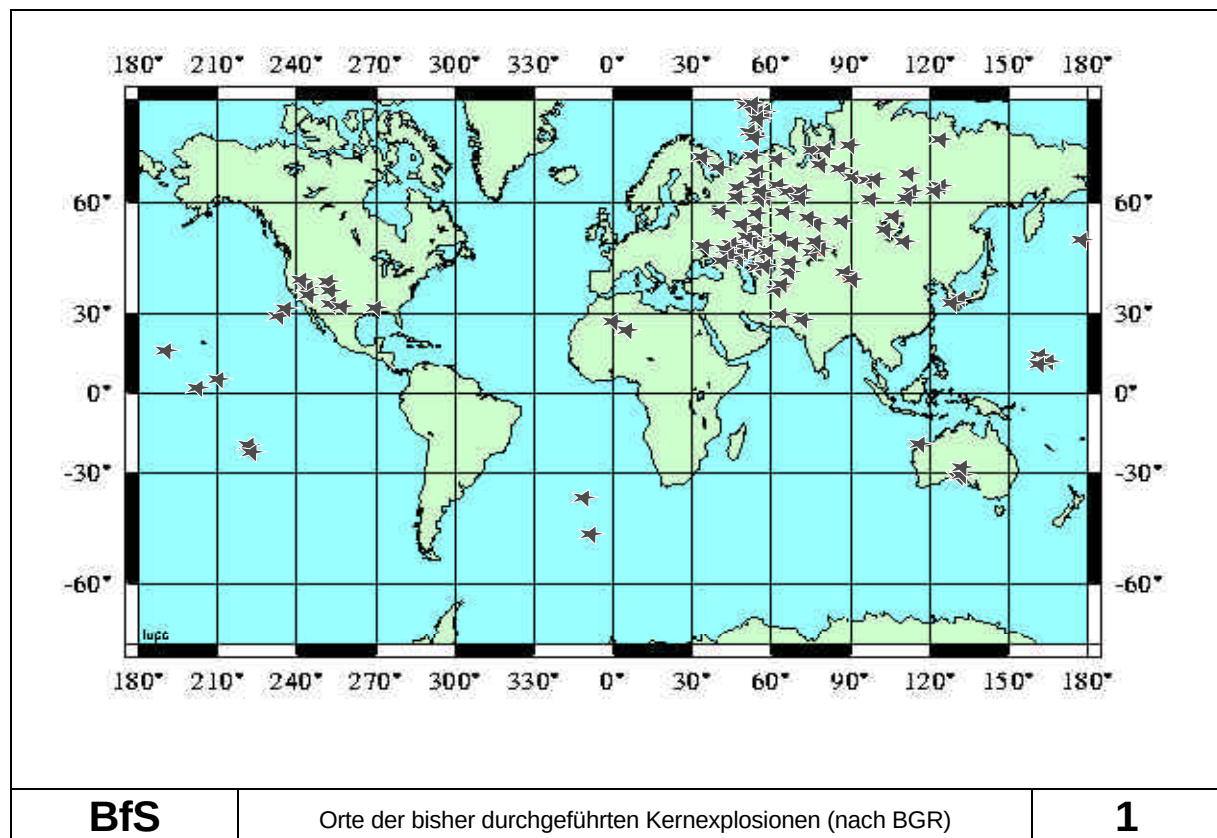


Tabelle 1 Anzahl der Kernwaffenversuche a)

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1945	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1946	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1949	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1951	16	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
1953	11	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-
1954	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1955	14	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 1

Jahr	USA		UdSSR		Großbritan.		Frankreich		China		Indien	Pakistan
	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	b)	c)	c)	c)
1956	17	-	9	-	6	-	-	-	-	-	-	-
1957	23	5	16	-	7	-	-	-	-	-	-	-
1958	52	14	34	-	5	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
1961	-	10	58	1	-	-	1	1	-	-	-	-
1962	40	57	78	1	-	2	-	1	-	-	-	-
1963	-	45	-	0	-	-	-	3	-	-	-	-
1964	-	48	-	9	-	2	-	3	1	-	-	-
1965	-	39	-	15	-	1	-	4	1	-	-	-
1966	-	49	-	19	-	-	5	1	3	-	-	-
1967	-	42	-	23	-	-	3	-	2	-	-	-
1968	-	72	-	23	-	-	5	-	1	-	-	-
1969	-	61	-	24	-	-	-	-	1	1	-	-
1970	-	60	-	21	-	-	8	-	1	-	-	-
1971	-	28	-	29	-	-	5	-	1	-	-	-
1972	-	32	-	31	-	-	3	-	2	-	-	-
1973	-	27	-	22	-	-	5	-	1	-	-	-
1974	-	25	-	27	-	1	7	-	1	-	1	-
1975	-	23	-	35	-	-	-	2	-	1	-	-
1976	-	20	-	27	-	1	-	5	3	1	-	-
1977	-	23	-	36	-	-	-	9	1	-	-	-
1978	-	20	-	55	-	2	-	11	2	-	-	-
1979	-	15	-	52	-	1	-	10	-	-	-	-
1980	-	14	-	43	-	3	-	12	1	-	-	-
1981	-	16	-	37	-	1	-	12	-	-	-	-
1982	-	18	-	34	-	1	-	10	-	1	-	-
1983	-	19	-	37	-	1	-	9	-	2	-	-
1984	-	18	-	52	-	2	-	8	-	2	-	-
1985	-	17	-	10	-	1	-	8	-	-	-	-
1986	-	14	-	0	-	1	-	8	-	-	-	-
1987	-	16	-	39	-	1	-	8	-	1	-	-
1988	-	18	-	29	-	-	-	8	-	1	-	-
1989	-	15	-	11	-	1	-	9	-	-	-	-
1990	-	10	-	8	-	1	-	6	-	2	-	-
1991	-	9	-	-	-	1	-	6	-	-	-	-
1992	-	8	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	197	908	219	750	21	24	45	160	22	22	6	6

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

Teil II

RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN UND URANBERGBAUANLAGEN (*RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR AND URANIUM MINING FACILITIES*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, Institut für angewandten Strahlenschutz, Berlin, und Bereich Eigenüberwachung Endlager Morsleben, Braunschweig

1. RADIOAKTIVE STOFFE AUS KERntechnischen ANLAGEN (*RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM NUCLEAR AND URANIUM MINING FACILITIES*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, Institut für angewandten Strahlenschutz, Berlin, und Bereich Eigenüberwachung Endlager Morsleben, Braunschweig

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

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

- 19 Atomkraftwerke (Tabelle 1) mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 22.365 MW, einer Gesamtstromerzeugung von 170 TWh und einem Anteil von rund 33 % an der Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung im Jahr 2000. Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich war 2000 infolge Gerichtsbeschluss abgeschaltet. Die Kernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, Rheinsberg, Gundremmingen A, AVR Jülich, Lingen, KNK Karlsruhe, Würgassen, Greifswald und Hamm-Uentrop haben den Betrieb in den vergangenen Jahren beendet.
- 5 Forschungsreaktoren (Tabelle 2) mit einer thermischen Leistung von insgesamt 42 MW.
- 4 Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe: NUKEM GmbH, SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau: Betriebsteil MOX-Verarbeitung und Betriebsteil Uran-Verarbeitung, ADVANCED NUCLEAR FUELS GmbH (ANF) Brennelement-Fertigungsanlage Lingen und URENCO D Urananreicherungsanlage Gronau. Die Betriebe NUKEM GmbH und SIEMENS AG haben die Brennelementeproduktion eingestellt.
- 6 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente: Zwischenlager Greifswald, Transportbehälterlager Ahaus, AVR-Behälterlager Jülich, Transportbehälterlager Gorleben, Zwischenlager im Atomkraftwerk Obrigheim und Zwischenlager Nord bei Greifswald.
- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) hat im Jahr 2000 keine radioaktiven Abfälle zur Endlagerung angenommen (Tabelle 3).

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

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

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

Die im Rahmen der Emissionsüberwachung bei Kernkraftwerken erforderlichen Messungen, die Dokumentation der Messergebnisse und die Berichterstattung an die jeweils zuständige Aufsichtsbehörde sind gemäß den Sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) 1503.1 (Überwa-

chung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb) und 1504 (Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe) durchzuführen. Die Überwachung der Emissionen der Forschungsreaktoren erfolgt gemäß der KTA-Regel 1507 (Überwachung der Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren).

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

Die Überwachung der Emissionen wird ergänzt durch die Überwachung der Immissionen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Auch bei der Umgebungsüberwachung ist ein Messprogramm vom Betreiber der Anlage und ein ergänzendes und kontrollierendes Programm von unabhängigen Messstellen durchzuführen. Diese Überwachungsprogramme sind für die jeweilige kerntechnische Anlage unter Berücksichtigung örtlicher und anlagenspezifischer Gegebenheiten zu erstellen. Für die Beurteilung der Immissionsverhältnisse in der Umgebung von Kernkraftwerken sind die für die Ausbreitung radioaktiver Stoffe bedeutsamen meteorologischen Einflussgrößen gemäß der KTA-Regel 1508 (Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre) zu messen und zu registrieren. Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung dienen der Beweissicherung, der Beurteilung der Einhaltung der Dosisgrenzwerte im 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 Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren und des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben für das Jahr 2000 sind in den Abschnitten 1.2 und 1.3 getrennt nach Abluft und Abwasser angegeben. In den Ableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2000 ermittelten Ableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden.

Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Strahlenexposition der Bevölkerung sind in Abschnitt 1.5 zusammengefasst. Weiterhin wird der Beitrag ausländischer kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. Im benachbarten Ausland waren 2000 in Grenznähe bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze die in Tabelle 4 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wird trotz seiner großen Entfernung zur Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten "Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community". Die jährlichen Emissionen der schweizer Anlagen werden in den Jahresberichten "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

Tabelle 1 @Atomkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland

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

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

Tabelle 2 Forschungsreaktoren (ausgenommen Nullleistungsreaktoren) in der Bundesrepublik Deutschland

Standort	Betreiber	Bezeichnung des Reaktors	therm. Leistung a) (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	1978/1999

a) im Dauerbetrieb

Tabelle 3 Endlager für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland

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

Unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens seit Beginn der Einlagerung ergibt sich für die Gesamtaktivität ein Wert von 1,6 E14 Bq.

Tabelle 4 Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

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 Aktivitätsableitungen sind dagegen genügend genau erfassbar (Tabellen 1 bis 8).

Die bilanzierten Jahreswerte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft der Kernkraftwerke im Jahr 1999 sind in Tabelle 1 für die Nuklidgruppen radioaktive Edelgase und Aerosole (Halbwertszeit > 8 Tage), sowie für die Radionuklide **Jod-131**, **Kohlenstoff-14** ($^{14}\text{CO}_2$ -Anteil) und **Tritium** aufgeführt. Die Jahresableitungen von MZFR, KNK und AVR sind in den Ableitungswerten der Forschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 5). Die einzelnen in einer Nuklidgruppe zusammengefassten Radionuklide zeigen entsprechend ihrer chemisch-physikalischen Natur in den Umweltmedien und im menschlichen Körper unterschiedliches Verhalten. Daher ist für die Berechnung der Strahlendosis die Kenntnis der Zusammensetzung des abgeleiteten Nuklidgemisches erforderlich. Die auf Grund von Einzelnuclidmessungen ermittelte Zusammensetzung der 1999 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 1999 mit $1,9 \cdot 10^{13}$ Becquerel niedriger als 1998 mit $2,7 \cdot 10^{13}$ Becquerel. Die Gesamtableitung an I-131 lag 1999 mit $2,5 \cdot 10^6$ Becquerel über dem Vorjahreswert von $1,8 \cdot 10^6$ 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 1999 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren sind in Tabelle 6 angegeben.

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

Bei den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben werden die mit der Abluft emittierten α -strahlenden Aerosole ermittelt (Tabelle 8). Die abgeleitete α -Aktivität lag 1999 mit insgesamt $8,0 \cdot 10^5$ Becquerel höher als 1998 mit $6,3 \cdot 10^5$ Becquerel.

Die für das Jahr 1999 ermittelten Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus kerntechnischen Anlagen entsprechen in der Summe etwa den Werten der vorhergehenden Jahre, wenn auch Einzelwerte je nach den betrieblichen Bedingungen erheblich voneinander abweichen können; sie unterschreiten im Allgemeinen deutlich die entsprechenden Genehmigungswerte, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 1 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Becquerel für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Aerosole und ca. 10^{10} Bq für I-131 zeigt.

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

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1999 in Becquerel

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

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

b) Betrieb beendet 1985

c) Betrieb beendet 1990

d) Betrieb beendet 1977

e) Betrieb beendet 1994

f) Betrieb beendet 1988

g) 1999 nicht in Betrieb

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

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1999

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

Radio-nuklid	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterweser	Philipps- burg 1	Grafen- rheinfeld	Krümmel	Gundrem- mingen B, C
Aktivität in Bq								
Ar-41	5,7E11	2,2E10	3,2 E06	1,8E11	2,1E08	5,1E10		5,9E09
Kr-85m	1,0E09		4,1E06	1,6E09	4,8E08			
Kr-85			3,3E10	2,2E11	8,8E09			
Kr-87	1,0E09	2,3E10	2,4E07		1,8E09			
Kr-88	2,0E09	1,6E10	3,7E06	2,1E09				
Kr-89			2,4E08					
Xe-131m	4,0E09	3,0E10	7,2E07	9,1E10				
Xe-133m				1,1E10		8,8E08		
Xe-133	6,0E10	3,0E11		3,1E12	4,7E10	3,0E11	2,2E10	8,0E08
Xe-135m	3,0E09	3,7E11	9,5E07		1,4E11		1,8E10	6,2E08
Xe-135	5,1E10	2,8E12	5,7E07	2,7E11	1,6E11	3,5E08	7,4E10	2,4E09
Xe-137		1,2E11	1,2E07		9,8E09			
Xe-138			5,1E06		6,9E09			

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

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 3 Ableitung radioaktiver Aerosole mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1999 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
Aktivität in Bq									
Cr-51									
Mn-54									
Fe-59									
Co-57									
Co-58					7,8E04				
Co-60	2,7E04	2,9E05	6,3E04	8,2E03	7,6E05	7,0E06	4,0E05	2,2E07	5,7E05
Zn-65									
Sr-89									
Sr-90	8,6E01					1,5E05		2,5E05	
Zr-95					6,7E03				
Nb-95					5,6E03				
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m					2,3E05				
Sb-124									
Sb-125									
Te-123m									8,6E06
Cs-134									
Cs-137	9,7E03	2,0E05		3,6E04	1,5E05	1,1E07	1,4E05	1,7E06	
Ba-140									
La-140									
Ce-141									
Ce-144									
Eu-152		5,0E04							
Eu-154		2,6E04							
Pu-238 + Am-241			6,1E03						
Pu-239 + Pu-240			2,5E04						
Pu-241			6,5E04						
Cm-242									
Cm-244									

Fortsetzung Tabelle 3

Radio-nuklid	Biblis B	Neckar 1	Brunsbüttel	Isar 1	Unterwesser	Philippsburg 1	Grafenrheinfeld	Krüm-mel	Gundrem-mingen B, C
Aktivität in Bq									
Cr-51		6,0E04	1,0E06			5,8E05	7,5E04	2,0E06	
Mn-54			8,4E06			8,5E05	1,2E04	2,8E05	
Fe-59			3,5E05			2,4E04			
Co-57									
Co-58	1,5E03		9,2E05			1,5E05	1,1E05		
Co-60	5,2E05	7,4E04	2,9E07	2,2E06	1,5E06	4,5E06	1,5E06	5,7E06	
Zn-65			1,1E07	2,0E05		1,3E06		1,4E05	
Sr-89			8,8E05	2,0E06		1,6E06		2,4E06	
Sr-90						4,7E04		5,2E04	
Zr-95						1,9E04	2,4E04		
Nb-95	1,5E04	1,1E04				4,8E04	1,1E05		
Ru-103									
Ru-106									
Ag-110m		6,9E04							
Sb-124	7,0E05	3,3E04	6,4E04		2,8E04		7,8E03		
Sb-125	6,7E04								
Te-123m	1,6E05								
Cs-134	9,8E02		4,7E04						
Cs-137	6,1E03		5,0E06			4,0E05			
Ba-140					2,0E04	3,2E04		8,5E05	
La-140			1,2E05			5,0E04		4,5E05	
Ce-141						3,2E04			
Ce-144									
Eu-152									
Eu-154									
Pu-238 + Am-241									
Pu-239 + Pu-240									
Pu-241									
Cm-242									
Cm-244									
Sonstige				1,2E05					

Fortsetzung Tabelle 3

Radio-nuklid	Grohnde	Hamm-Uentrop	Philipps-burg 2	Mülheim-Kärlich	Brokdorf	Isar 2	Emsland	Neckar 2
Aktivität in Bq								
Cr-51	5,1E05		6,4E03					
Mn-54								
Fe-59								
Co-57								
Co-58								
Co-60			1,2E05					
Zn-65								
Sr-89								
Sr-90								
Zr-95								
Nb-95								
Ru-103								
Ru-106								
Ag-110m			1,3E05					
Sb-124								
Sb-125								
Te-123m								
Cs-134			6,6E03					
Cs-137			6,5E04					
Ba-140								
La-140								
Ce-141								
Ce-144								
Eu-152								
Eu-154								
Pu-238 + Am-241								
Pu-239 + Pu-240								
Pu-241								
Cm-242								
Cm-244								

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 4 Ableitung radioaktiver Edelgase und von Jod-131 mit der Abluft der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer, ohne Forschungszentren) in den Jahren 1988 bis 1999

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

Tabelle 5 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 1999

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

a) Halbwertszeit > 8 d

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

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

Tabelle 6 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungsreaktoren im Jahr 1999

Forschungsreaktor	Edelgase	Aerosole	Jod-131	Kohlenstoff-14	Tritium
Aktivität in Bq					
Braunschweig	n.n.	2,0E04	n.n.	3,3E08	4,6E09
Garching	2,8E11	6,0E01	2,2E04	1,6E08	2,2E10
Hannover	-	-	-	-	-
Heidelberg	3,8E09	3,9E03	-	6,8E05	1,4E07
Mainz	6,8E10	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 1999

Nuklid	Aktivität in Bq
Tritium	2,8E10
Kohlenstoff-14	2,0E09
langlebige Aerosole	2,0E06
Radon-Folgeprodukte	6,4E09

Tabelle 8 Ableitung radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) mit der Abluft aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1999

Betrieb	α -Aktivität in Bq
NUKEM GmbH (Hanau) a)	4,7E05
SIEMENS AG Brennelementewerk Hanau	
- Betriebsteil MOX-Verarbeitung a)	<2,3E04
- Betriebsteil Uran-Verarbeitung a)	<2,4E05
- Betriebsteil Sonderfertigung Karlstein b)	-
ANF GmbH (Lingen)	<1,6E04
URENCO D (Gronau)	4,9E04

a) Brennelementeproduktion eingestellt

b) Aus dem Atomgesetz entlassen im März 1999

1.3 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen

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

In den Tabellen 1 bis 3 sind die von den Kernkraftwerken, Forschungszentren und Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1999 mit dem Abwasser abgegebenen radioaktiven Stoffe zusammengestellt. Aus dem Kontrollbereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurden 1999 insgesamt 7,6 m³ Abwasser abgeleitet (Tabelle 4).

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

Für die Druckwasserreaktoren lag die insgesamt abgegebene Menge an Spalt- und Aktivierungsprodukten bei 1,6 GBq, für die Siedewasserreaktoren bei 2 GBq. Die Tritiumangaben lagen für die Druckwasserreaktoren bei 180 TBq und für die Siedewasserreaktoren bei 8,1 TBq.

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

Tabelle 1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1999
in Becquerel (Summenwerte, Tritium und α -Strahler)

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

¹⁾ Anlage stillgelegt

²⁾ Block A stillgelegt

³⁾ Anlage seit 1990 außer Betrieb

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 2 Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 1999 in Becquerel

Forschungszentrum	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium)	Tritium	a-Strahler
Karlsruhe (einschließlich Wiederaufbereitungsanlage)	4,5E+08	1,2E+13	9,0E+06
Jülich	1,6E+08	2,1E+11	
GKSS Geesthacht	3,4E+08	9,3E+09	4,9E+04
HMI Berlin	2,4E+05	2,8E+07	
FRM Garching	5,0E+08	3,1E+09	
FRZ/VKTA Rossendorf ^{a)}	9,4E+06	6,6E+09	4,8E+05

^{a)} vormals ZfK Rossendorf

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 3 Ableitungen radioaktiver Stoffe (a-Aktivität) mit dem Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 1999 in Becquerel

Betrieb	a-Strahler
NUKEM GmbH	1,0E+08
SIEMENS AG	
Brennelementwerk Hanau	
Betriebsteil MOX-Verarbeitung ^{a)}	
Betriebsteil Uran-Verarbeitung ^{a)}	1,0E+08
ANF GmbH (Lingen)	
URENCO (Gronau)	7,2E+03

^{a)} Brennelementproduktion eingestellt

Wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 1999 in Becquerel

Radionuklid	Jahresaktivitätsableitung in Bq
Tritium	2,7E+05
Nuklidgemisch (außer Tritium)	1,3E+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 Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen **Jod-131** haben sich mit den jeweils erreichten Nachweisgrenzen gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Lediglich an einer Messstelle des Forschungszentrums Jülich konnte wie im vorangegangenen Jahr I-131 nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 1); als Ursprung der Aktivität werden wiederum 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 1999 an allen Messstellen unterhalb der jeweils erreichten Nachweisgrenze (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. Die gemessenen Werte liegen im Jahresmittel bei allen kerntechnischen Anlagen an oder unter den Nachweisgrenzen und in den meisten Fällen sogar deutlich darunter.

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)

Probenahmestelle	N	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Spez. I-131-Aktivität (mBq/m ³)									
HMI Berlin	2	-	-	-	< 0,23	< 0,22	< 0,20	< 0,29	< 0,31
KKW Brunsbüttel	2	< 0,13	< 0,093	-	< 0,22	< 0,26	< 0,22	-	-
KKW Brokdorf	2	-	< 0,23	< 0,19	< 0,46	< 0,54	< 0,55	-	-
KKW Krümmel	3	< 0,10	< 3,7	< 0,10	< 0,10	< 0,40	< 0,40	-	-
GKSS Geesthacht	1	< 0,31	< 0,29	< 0,28	< 0,28	< 0,24	< 0,50	-	-
KKW Stade	1	-	-	-	< 0,60	< 0,53	< 0,42	[< 0,38] ⁹	< 0,37
KKW Unterweser	2	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	[< 2,0] ⁹	< 2,00	[< 2,00] ⁹	< 2,00
KKW Grohnde	3	< 3,7	< 3,7	< 0,82	< 0,48	< 0,43	< 0,45	< 0,44	< 0,47
KKW Emsland	2	< 0,12	< 0,13	< 0,15	[< 0,38] ³	< 0,43	< 0,33	< 0,31	< 0,37
KKW Würgassen	3	< 0,20	< 0,19	< 1,18	< 1,43	*	*	*	*
KFA Jülich	3	< 3,7	< 3,7	< 3,7	< 2,0	0,63**	0,33 **	0,63**	0,25**
THTR Hamm-Uentrop	2	< 0,68	< 0,78	< 0,89	[< 0,38]*	*	*	*	*
KKW Biblis	2	-	< 0,65	< 1,2	< 1,2	< 0,54	< 0,57	< 0,50	< 0,57
KKW Philippsburg	4	< 0,75	< 0,51	< 0,61	< 0,74	< 0,68	< 0,65	< 0,62	< 0,60
KKW Obrigheim	3	< 0,40	< 0,35	< 0,56	< 0,68	< 0,80	< 0,78	< 0,80	< 0,79
KKW Neckarwestheim	2	< 0,067	< 0,77	< 0,54	< 0,74	< 0,77	< 0,72	< 0,68	< 0,64
KfK Karlsruhe	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KKI Niederaichbach	3	< 0,16	< 0,18	< 0,19	< 0,14	< 0,35	< 0,36	< 0,31	-
KKG Grafenrheinfeld	3	< 0,23	< 0,23	< 0,25	< 0,21	< 0,48	< 0,49	< 0,42	-
KRB Gundremmingen II	3	< 0,24	< 0,37	< 0,27	< 0,33	< 0,44	< 0,32	< 0,32	-
KKW Greifswald	2	-	-	-	< 0,38	< 0,14	< 0,10	< 0,08	< 0,07
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	< 0,22	< 0,14	< 0,06	< 0,06	< 0,06
KKR Rheinsberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KKW Mühlheim-Kärlich	2	-	-	-	-	-	< 0,40	< 0,36	< 0,18

N : Zahl der Messstationen

- : keine Messwerte

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

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

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

Zeitraum	N	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Probenahmestelle		Spez. Co-60-Aktivität (mBq/m³)					
HMI Berlin	2	-	< 0,02	< 0,016	< 0,02	< 0,013	< 0,016
KKW Brunsbüttel	2	-	< 0,09	< 0,02	< 0,10	-	-
KKW Brokdorf	2	< 0,19	< 0,20	< 0,24	< 0,23	-	-
KKW Krümmel	3	< 0,02	< 0,02	< 0,06	< 0,08	-	-
GKSS Geesthacht	1	< 0,11	< 0,09	< 0,06	< 0,16	-	-
KKW Stade	1	-	< 0,31	< 0,27	< 0,25	[< 0,22] ⁹	< 0,21
KKW Unterweser	2	< 0,05	< 0,4	[< 0,4] ⁹	< 0,40	[< 0,4] ⁹	< 0,40
KKW Grohnde	3	< 0,21	< 0,20	< 0,12	< 0,13	< 0,12	< 0,12
KKW Emsland	2	< 0,07	[< 0,13] ³	< 0,17	< 0,16	< 0,16	< 0,18
KKW Würgassen	2	< 0,28	< 0,30	< 0,32	< 0,15	< 0,10	< 0,10
KfA Jülich	3	< 0,37	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
THTR Hamm-Uentrop	2	< 0,02	< 0,02	< 0,014	< 0,006	< 0,04	< 0,17
KKW Biblis	3	-	< 0,008	< 0,25	< 0,20	< 0,18	< 0,19
KKW Philippsburg	4	< 0,04	< 0,04	< 0,046	< 0,04	< 0,04	< 0,04
KKW Obrigheim	3	< 0,09	< 0,08	< 0,076	< 0,08	< 0,08	< 0,08
KKW Neckarwestheim	2	< 0,14	< 0,14	< 0,15	< 0,15	< 0,14	< 0,14
KfK Karlsruhe	3	< 0,005	< 0,007	< 0,010	< 0,006	< 0,006	< 0,008
KKI Niederaichbach	3	< 0,013	< 0,07	< 0,19	< 0,19	< 0,19	-
KKG Grafenrheinfeld	3	< 0,008	< 0,05	< 0,09	< 0,10	< 0,09	-
KRB Gundremmingen II	3	< 0,008	< 0,24	< 0,25	< 0,18	< 0,20	-
KKW Greifswald	2	-	< 0,44*	< 0,06	< 0,07*	< 0,07*	< 0,13
VKTA Rossendorf	3	-	< 0,02	< 0,06	< 0,02	< 0,02	< 0,02
KKR Rheinsberg	2	-	< 0,02	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,14
KKW Mülheim-Kärlich	2	-	-	-	< 0,30	< 0,29	< 0,18

- : keine Messwerte

* : Maximale Nachweisgrenze aus den 4 Quartalsberichten

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

N: Zahl der Messstationen

Tabelle 3 Umgebungsstrahlung bei Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren
(Messwerte der Betreiber)

Zeitraum	N	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Probenahmestelle		g-Dosisleistung (nSv/h)							
HMI Berlin	2	82	83	-	83	79	72	73	70
KKW Brunsbüttel	2	96	93	93	83	[90] ⁹	72	75	78
KKW Brokdorf	2	57	55	62	65	62	62	60	61
KKW Krümmel	3	63	64	60	66	[68] ⁹	63	71	68
GKSS Geesthacht	1	79	78	78	80	80	84	[80] ⁹	84
KKW Stade	1	-	-	-	165	196	60*	[50] ⁹	[85] ^{11*}
KKW Unterweser	2	52	50	50	54	[54] ⁹	90	[90] ⁹	83
KKW Grohnde	3	92	89	88	91	88	88	85	85
KKW Emsland	2	75	75	74	[75] ³	73	66	66	66
KKW Würgassen	3	105	95	102	105	104	-	-	-
KFA Jülich	12	54	64	55	63	59	55	64	64
THTR Hamm-Uentrop	2	74	-	74	83	92	92	90	90
KKW Biblis	3	-	-	80 - 125	73 - 128	93	85	88	88
KKW Philippsburg	4	52	100	99	99	112	109	105	105
KKW Obrigheim	3	< 200	< 200	73	73	78	75	73	72
KKW Neckarwestheim	2	-	-	53	54	58	61	58	56
KfK Karlsruhe	8	-	-	86	86	96	85	84	84
KKI Niederaichbach ^a	3	99	83	78	79	80	68	67	-
KKG Grafenrheinfeld ^a	3	72	70	86	117	118	97	109	-
KRB Gundremmingen II ^a	3	90	87	85	88	89	79	77	-
KKW Greifswald	20	-	-	-	71	54 - 81	70	72	71
VKTA Rossendorf	3	-	-	-	116	113	110	110	112
KKR Rheinsberg	4	-	-	-	-	110	105	101	100

- : keine Messwerte

* : Ersatzwert Sonde NLÖ unweit defekter Sonde

** : Netto-Gammadosisleistung künstlich

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

a : teilweise Überwachung durch unabhängige Sachverständige

N: Zahl der Messstationen

1.4.2 Boden, Bewuchs und Milch

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

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 von zurückliegenden Depositionen infolge der Kernwaffenversuche der sechziger Jahre und des Tschernobylunfalls im Jahre 1986 geprägt.

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

Tabelle 1 Radioaktivität des Bodens in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)		
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe			Cs-137		Pu-238	Pu-239/240	
	1997	11	17,4	8	<0,11	0,29	
	1998	11	12,7 (6,1-84,0)	7	<0,77	0,66	
	1999	11	18,3 (1,7-53,0)	7	<0,12 (0,02-0,36)	<0,18 (0,12-0,61)	
					Sr-90		
	1997			3	0,8		
	1998			3	0,8		
	1999			3	1,6(0,4-2,3)		
	Kernkraftwerk Obrigheim	1997	8	10,8			
		1998	8	10,8			
		1999	8	12,0 (6,2-19,0)			
	Kernkraftwerk Neckarwestheim	1997	8	12,7			
	1998	8	12,8				
	1999	8	14,8 (2,8-48,0)				
Kernkraftwerk Philippsburg	1997	8	17,0	a)	a)		
	1998	8	15,4	a)	a)		
	1999	8	14,3 (5,1-28,0)	a)	a)		
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt Schweiz	1997	8	38,4				
	1998	8	33,0				
	1999	8	36,5 (22,0-60,0)				
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1997	4	9,6				
	1998	4	11,9				
	1999	4	22,1 (8,4-47,0)				
TRIGA Heidelberg	1997	2	b) (22,0-30,0)				
	1998	2	b) (18,0-23,0)				
	1999	2	b) (17,0-23,0)				
<u>Bayern</u>							
Kernkraftwerk Kahl	1997	3	24,0				
	1998	2	32,5 (22,0-43,0)				
	1999	a)	a)				
Kernkraftwerk Gundremmingen	1997	12	58,4	a)	a)		
	1998	12	62,0 (26,0-110,0)	a)	a)		
	1999	a)	a)				
Kernkraftwerk Isar	1997	12	58,0	a)	a)		
	1998	12	63,9 (12,0-110,0)	a)	a)		
	1999	a)	a)				

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Grafrheinfeld	1997	11	Cs-137	a)	Sr-90
	1998	10	6,8	a)	a)
	1999	a)	9,3 (4,3-21,0)	a)	a)
	1997	2	a)		
	1998	2	b) (60,0-120,0)		
	1999	a)	b) (74,0-110,0)		
	1997	4	a)		
	1998	4	29,8	4	Pu-238 b) (<0,17-<0,17)
	1999	a)	20,0 (15,0-28,0)	4	Pu-239/240 b) (<0,1-0,11) N=2
			a)	a)	a)
	1997			4	U-235 <0,6
	1998			2	U-238 6,9
	1999			a)	Am-241 <0,12
					b) 7,6-16,0
					b) <0,08-0,16
KWU Erlangen	1997	2	22,5	2	Pu-238 b) <0,1-<0,3
	1998	2	20,5 (14,0-27,0)	2	Pu-239/240 b) <0,1-<0,2
	1999	a)	a)	a)	b) <0,06 N=1
	1997				a)
	1998				U-235 b) 0,2-1,1
	1999			2	U-238 b) 5,5-22,0
				2	Am-241 b) 0,05-<0,1
				a)	b) <0,1-<0,5
					a)
					a)
					Sr-90
KWU Karlsruhe	1997	4	Gesamt-a-Aktivität		Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche
	1998	4	140		Pu-239/240 Bq/kg Asche
	1999	a)	130 (70-180)		520
			a)		370 (200-600)
					0,47 (N=3)
					0,33 (N=3)
					0,40 (0,20-0,50)
					U-235
					0,9
					0,8
					0,9 (0,5-2,3)
					Sr-90
					a)
					a)
					a)
SBWK Karlsruhe	1997	8	Cs-137	a)	a)
	1998	8	21,9	a)	a)
	1999	8	19,7	a)	a)
			18,6 (5,8-34,0)		
	1997	8	11,5		
	1998	8	7,7 (1,3-15,0)		
	1999	8	8,6 (4,0-16,1)		
	1997	10	7,5		
	1998	10	7,4		
	1999	10	7,5 (4,9-13,0)		
Berlin Forschungsreaktor BER II	1997	6	Gesamt-a-Aktivität Bq/kg A-sche	6	
	1998	6	615	4	
	1999	5	430 (180-1010)	3	
			7,15 (450-1300)		
Brandenburg Kernkraftwerk Rheinsberg	1997	29	Cs-137	18	
	1998	28	12,9	18	
	1999	26	15,7	18	
			9,7 (0,7-31,0)		
	1997	42	<5,9 (<0,13-22,0)		
	1998	24	13,9	a)	
	1999	16	<16,8	a)	
		14	15,5 (6,1-26,0)	a)	
	1997	22	21,5	a)	
	1998	8	14,5	a)	
	1999	12	13,9 (4,4-33,7)	a)	
Hessen Kernkraftwerk Biblis	1997	29	Cs-137	18	
	1998	28	12,9	18	
	1999	26	15,7	18	
			9,7 (0,7-31,0)		
	1997	42	<5,9 (<0,13-22,0)		
	1998	24	13,9	a)	
	1999	16	<16,8	a)	
		14	15,5 (6,1-26,0)	a)	
	1997	22	21,5	a)	
	1998	8	14,5	a)	
	1999	12	13,9 (4,4-33,7)	a)	
Mecklenburg-Vorp. Kernkraftwerk Greifswald	1997	29	Cs-137	18	
	1998	28	12,9	18	
	1999	26	15,7	18	
			9,7 (0,7-31,0)		
	1997	42	<5,9 (<0,13-22,0)		
	1998	24	13,9	a)	
	1999	16	<16,8	a)	
		14	15,5 (6,1-26,0)	a)	
	1997	22	21,5	a)	
	1998	8	14,5	a)	
	1999	12	13,9 (4,4-33,7)	a)	
Niedersachsen Kernkraftwerk Stade	1997	29	Cs-137	18	
	1998	28	12,9	18	
	1999	26	15,7	18	
			9,7 (0,7-31,0)		
	1997	42	<5,9 (<0,13-22,0)		
	1998	24	13,9	a)	
	1999	16	<16,8	a)	
		14	15,5 (6,1-26,0)	a)	
	1997	22	21,5	a)	
	1998	8	14,5	a)	
	1999	12	13,9 (4,4-33,7)	a)	
Kernkraftwerk Unterweser	1997	29	Cs-137	18	
	1998	28	12,9	18	
	1999	26	15,7	18	
			9,7 (0,7-31,0)		
	1997	42	<5,9 (<0,13-22,0)		
	1998	24	13,9	a)	
	1999	16	<16,8	a)	
		14	15,5 (6,1-26,0)	a)	
	1997	22	21,5	a)	
	1998	8	14,5	a)	
	1999	12	13,9 (4,4-33,7)	a)	

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse						
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)			
Kernkraftwerk Grohnde	1997	10	Cs-137	a)	Sr-90			
			24,3		a)			
			15,1		a)			
	1998	10	23,1 (5,2-39,0)	a)	a)			
			21,1		a)			
			21,6 (10,0-37,0)		a)			
	1999	10	18,2 (9,1-25,0)	a)	a)			
			33,4		<1,6 (<1,3-<2,0)			
			40,5		a)			
	1999	22	29,6 (3,1-66,0)	4	0,8 (0,03-1,5)			
			Gesamt-a-Aktivität					
			1,4 (1,0-1,8)					
	FMRB Braunschweig	1997	4	13,5	4	1,4 (1,0-1,8)		
				18,7 (4,1-25,0)		a)		
				a)		a)		
	Schacht Konrad II	1997	24	14,5 (1,1-62,0)	a)	a)		
				a)		a)		
				a)		a)		
	Advanced Nuclear Fuels Lingen	1997	3	Uran µg/kg Asche	3	Bq/kg Asche		
				386		U-234	U-235	U-238
421(254-600)				4,5		0,22	4,3	
1998		3	421(254-600)	3	5,5 (2,1-8,3)	0,29	5,6 (2,1-8,8)	
					(0,15-0,43)			
			a)		a)	a)		
Nordrhein-Westfalen		1997	10	Cs-137	6	Sr-90 (Bq/kg Trockenmasse)		
				10,7		1,8		
				8,0		2,2		
Kernkraftwerk Würgassen		1997	20	10,4 (2,7-20,0)	6	2,6 (0,6-5,0)		
	20,6							
	18,4 (8,0-40,0)							
Kernkraftwerk Uentrop	1997	8	19,0 (7,0-39,0)	a)	a)			
			24,9		a)			
			38,2		a)			
Zwischenlager Ahaus	1997	6	24,5 (10,5-69,4)	a)	a)			
			14,2		1,7			
			15,1 (7,5-24,0)		2,2 (0,4-9,4)			
UAG Gronau	1997	10	16,4 (10,0-22,0)	5	0,8 (0,3-1,6)			
			Uran Bq/kg Trockenmasse					
			<0,1					
Rheinland-Pfalz	1997	8	<0,2 (0,2-0,2)U-238	a)				
			<0,1 (<0,1-<0,1)U-238					
			Cs-137					
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1997	8	16,6	a)	a)			
			13,9		a)			
			13,0 (4,2-37,3)		a)			
Kernkraftwerk Cattenom Frankreich	1997	a)	a)	a)	a)			
			a)		a)			
			a)		a)			
Sachsen Rossendorf	1997	17	11,2	4	Sr-90			
			9,3		Gesamt-b-Aktivität			
			11,4 (3,4-27,0)		b) 580-650(N=2)			
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben	1997	8	8,8	4	0,8			
			11,2		0,9 (0,5-1,4)			
			9,1 (3,7-17,0)		<0,6 (<0,5-0,7)			

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Schleswig-Holstein</u>			Cs-137		Sr-90
GKSS	1997	10	7,9	2	0,5
Geesthacht	1998	10	10,2	2	0,4
	1999	10	9,3 (4,4-15,0)	2	0,5 (0,5-0,5)
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1997	8	31,9	2	1,0
	1998	8	33,2	2	1,9
	1999	8	37,3 (26,5-61,9)	2	2,6 (1,7-3,5)
Kernkraftwerk Krümmel	1997	12	10,5	6	1,0
	1998	12	10,1	6	0,9
	1999	12	8,8 (4,0-12,5)	6	0,9 (0,4-1,7)
Kernkraftwerk Brokdorf	1997	16	21,6	16	2,5
	1998	16	24,3	16	2,4
	1999	16	22,6 (3,3-41,0)	16	2,0 (0,4-4,8)

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

Tabelle 2 Radioaktivität des Bewuchses in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u>			Cs-137		Pu-238 Pu-239/240
FZ Karlsruhe	1997	6	<1,1	4	<0,05 <0,05
	1998	6	0,4	4	<0,05 <0,04
	1999	6	2,0 (0,3-6,7)	4	<0,06 (0,03-0,12) <0,05 (<0,02-0,12)
Kernkraftwerk Obrigheim	1997	8	<1,2		Sr-90
	1998	8	<0,7		
	1999	8	0,4 (0,2-0,6)		
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1997	8	<0,6		
	1998	8	<0,7		
	1999	8	<0,8 (0,1-2,1)		
Kernkraftwerk Philippsburg	1997	8	<0,7	a)	a)
	1998	8	1,4	a)	a)
	1999	8	1,0 (0,4-4,3)	a)	a)
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt Schweiz	1997	8	2,9		
	1998	8	1,6		
	1999	8	1,8 (0,5-4,2)		
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1997	4	0,4		
	1998	4	0,9		
	1999	4	2,5 (0,5-4,8)		
TRIGA Heidelberg	1997	2	1,1		
	1998	2	1,1		
	1999	2	0,4 (0,4-0,4)		
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk Kahl	1997	3	<0,4		
	1998	3	0,3 (0,2-0,4)		
	1999	a)	a)		
Kernkraftwerk Gundremmingen	1997	12	<1,2		
	1998	12	<1,9 (<0,3-6,7)		
	1999	a)	a)		
Kernkraftwerk Isar	1997	12	<1,9		
	1998	12	<5,6 (<0,3-27,0)		
			erhöhter Wert durch Boden- kontamination		
	1999	a)	a)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1997	10	Cs-137 <0,4		Sr-90
	1998	10	<0,4 (<0,2-0,9)		
	1999	a)	a)		
Forschungsreaktor München	1997	2	<0,9		
	1998	2	1,7 (1,3-2,1)		
	1999	a)	a)		
KWU Erlangen	1997	4	<2,0	2	Pu-238 <0,22
	1998	4	<2,1 (<0,6-6,1)	2	b) <0,055-<0,072
	1999	a)	a)	a)	Pu-239/240 <0,04 (N=4) <0,05 (N=4) (<0,02-<0,08) a)
KWU Karlstein	1997	2	<0,4	2	b) <0,04-<0,1
	1998	2	<0,5 (<0,3-0,7)	2	b) <0,05-<0,1
	1999	a)	a)	a)	a) <0,02-<0,1 <0,02 (N=1)
SBWK Karlstein	1997	2	Gesamt-a-Aktivität Bq/kg TM 150,0		Sr-90
	1998	2	200,0(140-260)		
	1999	a)	a)		
<u>Berlin</u> Forschungsreaktor BERII	1997	5	Cs-137 2,5		
	1998	8	<2,3		
	1999	8	<3,9 (0,4-10,4)		
<u>Brandenburg</u> Kernkraftwerk Rheinsberg	1997	8	3,4		
	1998	8	2,1		
	1999	8	4,6 (0,4-16,0)		
<u>Hessen</u> Kernkraftwerk Biblis	1997	10	<0,4	a)	a)
	1998	10	<0,5	a)	a)
	1999	10	<0,5 (<0,2-0,9)	a)	a)
Nuklearbetriebe Hanau	1997	4	Gesamt-a-Aktivität Bq/kg Asche 150	4	Rest-β-Aktivität Bq/kg Asche 2350
	1998	7	260	4	1460 (600-2300)
	1999	3	180 (140-265)	1	Pu-239/240 Bq/kg Asche <0,1 (N=1) b) <0,1-<0,7 (N=2) <0,05
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1997	21	Cs-137 <2,9		Sr-90
	1998	20	<1,3		
	1999	21	<1,6 (<0,2-6,7)		
Zwischenlager Nord	1999	36	<1,4 (<0,1-7,7)		
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Stade	1997	24	<1,1	a)	a)
	1998	12	<0,8		
	1999	14	<1,4 (0,2-4,7)		
Kernkraftwerk Unterweser	1997	16	<1,4	a)	a)
	1998	3	1,9	a)	a)
	1998	12	<1,7 (0,2-5,0)	a)	a)
Kernkraftwerk Grohnde	1997	10	<0,5	a)	a)
	1998	10	<0,4	a)	a)
	1999	10	<0,4 (0,2-0,6)	a)	a)
Kernkraftwerk Emsland	1997	10	<1,8		
	1998	6	1,7		
	1999	10	2,3 (0,3-7,6)		

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Zwischenlager Gorleben	1997	17	51,4	13	Sr-90 6,0 3,5 2,9 (2,2-3,7)
	1998	16	51,4	4	
	1999	16	85,8 (2,7-480,0)	4	
	1997	6	4,3		Sr-90 Gesamt-a- Aktivität
	1998	4	2,2 (0,5-3,7)		
	1999	a)	a)		
	1997	12	<2,0 (0,4-15,0)	4	1,1 (0,6-1,9)
	1998	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)
					Sr-90
Nordrhein-Westfalen KFA Jülich	1997	10	<0,5		
	1998	10	<0,4		
	1999	10	<0,4 (<0,1-0,7)		
	1997	12	<0,5		
	1998	12	<0,8		
	1999	12	<0,4 (<0,2-1,4)		
	1997	8	<2,6		
	1998	10	<1,9		
	1999	8	<1,0 (<0,1-1,7)		
	1997	13	<6,0	13	<3,5
Kernkraftwerk Würgassen	1998	13	<1,9	13	2,2 (0,7-5,0)
	1999	10	6,0 (0,3-31,4)	9	2,1 (1,3-3,5)
					Uran µg/kg TM Fluor mg/kg TM
	1997	7	<0,3	12	<0,23 (<0,23-0,23)
	1998	18	<0,24	18	1,1
	1999	6	<1,0 (<1,0-1,0)	12	<0,7 (<0,5-1,7)
					<0,27 (<0,23-0,54) c)
					<1,3 (<0,5-2,8)
					Sr-90
Rheinland-Pfalz Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1997	8	<0,5		
	1998	6	<0,4		
	1999	7	<1,2 (<0,3-4,6)		
	1997	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)
					Gesamt-b-Aktivität
	1997	2	<1,8	2	b) (980-1200)
	1998	8	<0,8	4	1120
	1999	8	<0,5 (<0,2-1,0)	4	1065 (660-1400)
Sachsen-Anhalt Endlager Morsleben					Sr-90
	1997	16	<3,4		
	1998	16	5,5		
	1999	16	<6,3 (<0,7-29,0)		
	1997	8	1,3		
	1998	8	1,9		
	1999	8	2,0 (0,8-3,5)		
	1997	8	<0,5	a)	a)
	1998	8	1,3	a)	a)
	1999	8	<0,4 (0,1-1,2)	a)	a)
Sachsen Rossendorf	1997	8	1,7	6	4,1
	1998	8	1,0	6	3,2
	1999	8	0,9 (0,2-2,0)	6	3,0 (1,6-4,8)
	1997	14	<0,9	a)	a)
	1998	14	<1,4	a)	a)
Schleswig-Holstein GKSS Geesthacht					
	1997	8	1,3		
	1998	8	1,9		
	1999	8	2,0 (0,8-3,5)		
	1997	8	<0,5	a)	a)
	1998	8	1,3	a)	a)
	1999	8	<0,4 (0,1-1,2)	a)	a)
	1997	8	1,7	6	4,1
	1998	8	1,0	6	3,2
	1999	8	0,9 (0,2-2,0)	6	3,0 (1,6-4,8)
	1997	14	<0,9	a)	a)
Kernkraftwerk Brokdorf	1998	14	<1,4	a)	a)

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Trockenmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
	1999	14	<1,2 (<0,2-4,4)	a)	a)

a) Messwerte lagen nicht vor; b) Mittelwertberechnung nicht sinnvoll; c) ab 1999 Bq/kg TM

Tabelle 3 Radioaktive Kontamination der Milch aus unmittelbarer Nähe kerntechnischer Anlagen

Bundesland Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
			Sr-90		Cs-137		I-131
<u>Baden-Württemberg</u>							
FZ Karlsruhe	1998	4	0,05	4	<0,06	a)	a)
	1999	2	0,02 (0,02-0,03)	2	<0,05 (0,04-<0,06)	a)	a)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	4	0,03	4	<0,09	10	<0,010-<0,013
	1999	4	0,03 (0,01-0,04)	4	<0,08 (0,03-<0,13)	10	<0,009-<0,012
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	4	0,04	4	<0,10	12	<0,010-<0,014
	1999	4	0,03 (0,03-0,03)	4	<0,11 (<0,10-0,13)	10	<0,010-<0,013
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	4	0,02	7	<0,08	12	<0,007-<0,011
	1999	4	0,02 (0,01-0,04)	4	<0,04 (<0,01-0,10)	12	<0,007-<0,013
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt, Schweiz	1998	5	0,06	8	<0,05	7	<0,006-<0,012
	1999	5	0,07 (0,03-0,11)	6	<0,07 (<0,01- <0,10)	11	<0,007-<0,013
Kernkraftwerk Fessenheim, Frankreich	1998	4	0,03	4	<0,07	8	<0,011-<0,026
	1999	4	0,02 (0,01-0,03)	4	<0,12 (<0,11-0,13)	10	<0,007-<0,015
<u>Bayern</u>							
Kernkraftwerk	1998	6	0,04 (0,03-0,06)	6	<0,14 (<0,11- <0,18)	15	<0,007-<0,03
Gundremmingen	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk	1998	4	0,06 (0,05-0,07)	4	<0,15 (<0,11- <0,21)	12	<0,005-<0,054
Isar	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk	1998	6	0,02 (0,02-0,03)	6	<0,10 (<0,10- <0,10)	18	<0,01-<0,01
Grafenrheinfeld	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
<u>Brandenburg</u>							
Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	4	0,03	4	<0,09	a)	a)
	1999	4	0,03 (0,02-0,03)	4	<0,11 (<0,07-0,15)	a)	a)
<u>Hessen</u>							
Kernkraftwerk Biblis	1998	14	<0,02	20	<0,05	52	<0,005-<0,013
	1999	10	<0,02 (<0,02-<0,02)	10	<0,13 (<0,01- <0,26)	29	<0,006-<0,010
<u>Mecklenburg-Vorpommern</u>							
Kernkraftwerk Greifswald	1998	6	0,03	6	<0,17	6	<0,011-<0,093
	1999	6	0,04 (0,01-0,05)	6	<0,12 (<0,07-0,21)	6	<0,010-<0,052
<u>Niedersachsen</u>							
Kernkraftwerk Stade	1998	2	0,02	4	<0,10	4	<0,014-<0,028
	1999	4	<0,02 (<0,02-0,03)	4	<0,10 (<0,07-0,16)	12	<0,005-<0,011
Kernkraftwerk Unterweser	1998	2	0,03	4	<0,15	4	<0,010-<0,027
	1999	4	0,03 (0,02-0,04)	4	<0,07 (<0,05- <0,07)	12	<0,005-<0,013
Kernkraftwerk Grohnde	1998	2	0,02	4	<0,08	10	<0,009-<0,031
	1999	4	0,03 (0,02-0,04)	4	<0,07 (<0,06- <0,07)	12	<0,005-<0,010

Fortsetzung Tabelle 3

<u>Bundesland</u> Kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/l					
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)	N	Bereich
Kernkraftwerk Emsland	1998	2	0,02	4	0,10	4	<0,018-<0,028
	1999	4	0,02 (0,01-0,02)	4	0,09 (0,04-0,15)	12	<0,005-<0,010
	1998	a)	a)	a)	a)	-	-
	1999	a)	a)	a)	a)	-	-
							I-129 µBq/l
	1998	12	0,03	23	0,50	2	8,7-14,7
	1999	12	0,03 (0,02-0,05)	23	0,52 (0,13-2,20)	2	14,0-28,0
							I-131 Bq/l
	1998	4	0,03	4	<0,07	43	<0,003-<0,01
	1999	2	<0,01 (<0,01-<0,01)	2	<0,10 (<0,10-<0,10)	30	<0,010-<0,01
Sr90							
Kernkraftwerk Würgassen	1998	a)	a)	a)	Cs-137		I-131 Bq/l
	1999	a)	a)	a)	a)		
	1998	a)	a)	a)	a)		
	1999	a)	a)	a)	a)		
			Uran Bq/l		Fluor mg/l		
	1998	12	<0,23	12	<0,08		
	1999	8	<0,23 (<0,23-<0,23)	8	<0,08 (<0,08-<0,08)		
			Sr-90		Cs-137		
	1998	4	0,04	4	<0,02	12	<0,007-<0,009
	1999	4	0,04 (0,03-0,06)	4	0,03 (0,03-0,04)	2	<0,007-<0,008
Kernkraftwerk Hamm-Uentrop	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1998	12	<0,23	12	<0,08		
	1999	8	<0,23 (<0,23-<0,23)	8	<0,08 (<0,08-<0,08)		
	1998	4	0,04	4	<0,02	12	<0,007-<0,009
	1999	4	0,04 (0,03-0,06)	4	0,03 (0,03-0,04)	2	<0,007-<0,008
	1998	a)	a)	a)	a)	a)	a)
	1999	a)	a)	a)	a)	a)	a)
Sachsen-Anhalt							
Endlager Morsleben	1998	a)	a)	6	<0,20	-	-
	1999	a)	a)	4	<0,18 (<0,12-0,26)	-	-
Sachsen							
Rossendorf	1998	2	0,06	5	<0,49	2	<0,044-<0,53
	1999	1	0,05	4	<1,11 (0,04-<2,20)	2	<0,043-<0,046
Schleswig-Holstein							
GKSS Geesthacht	1998	4	0,06	4	0,11	12	<0,002-<0,006
	1999	4	0,07 (0,06-0,08)	4	0,13 (0,05-0,29)	12	<0,002-<0,007
Kernkraftwerk Brunsbüttel	1998	4	0,06	4	0,10	32	<0,007-<0,01
	1999	4	0,05 (0,03-0,06)	4	0,15 (0,06-0,27)	32	<0,008-<0,01
Kernkraftwerk Krümmel	1998	8	0,04	8	0,13	24	<0,008-<0,01
	1999	8	0,04 (0,01-0,08)	8	0,07 (0,04-0,15)	24	<0,008-<0,01
Kernkraftwerk Brokdorf	1998	8	0,05	8	<0,09	24	<0,008-<0,01
	1999	8	0,04 (0,02-0,05)	8	<0,06 (0,02-0,17)	24	<0,008-<0,01

a) Messwerte lagen nicht vor

1.4.3 Oberflächenwasser und Sediment der Binnengewässer

Bearbeitet von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Der vorliegende Beitrag enthält Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen an Wasser- und Sedimentproben aus dem aquatischen Nahbereich kerntechnischer Anlagen gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). Die Auswertung der insgesamt 3793 (1998: 3255) Einzelwerte von 300 (1998: 260) Entnahmestellen erfolgte gemäß den Hinweisen in Kapitel I 3.3.1.

Die Auswirkungen kerntechnischer Anlagen waren in **Oberflächenwasser** aus dem Nahbereich der jeweiligen Standorte nicht oder allenfalls in Einzelfällen nachweisbar. Die Nuklidgehalte relevanter Spalt- und Aktivierungsprodukte unterschritten in der Regel die Nachweisgrenze der REI von 0,05 Bq/l und waren wegen der Vorbelastung - insbesondere **Strontium-90** (Sr-90) und **Cäsium-137** (Cs-137) bis 0,01 Bq/l aus anderen Quellen (Kernwaffenversuche und Reaktorunfall in Tschernobyl) - praktisch vernachlässigbar. Erhöhte **Tritium**-(H-3)-Gehalte wurden in Proben, die unmittelbar am Auslaufbauwerk genommen wurden, mit einem Jahresmittelwert bis 1978 Bq/l gemessen (KKW Emsland/Ems). Infolge der Durchmischung entlang der Fließstrecke gingen die Gehalte wieder deutlich zurück: 12 Bq/l (Ems km 106,3; Geeste). Einzelne Bestimmungen von **Plutonium-238** (Pu-238) und **-239/240** an Wasserproben ließen keine Auswirkungen der jeweiligen Anlagen im Vorfluter erkennen (Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang, KKW Brunsbüttel/Elbe).

In **Sedimentproben** aus dem Nahbereich kerntechnischer Anlagen lagen die Gehalte der anlagenspezifischen Radionuklide überwiegend unterhalb der Nachweisgrenze der REI von 5 Bq/kg TM. Mittlere Gehalte an **Kobalt-60** (Co-60) bis 66 Bq/kg TM wurden vereinzelt in Sedimenten direkt am Auslaufbauwerk gemessen (KKW Würgassen/Weser), die jedoch bei in geringer Entfernung vom Standort entnommenen Proben wieder zurückgingen. Auf Grund der vergleichsweise hohen Vorbelastung an Cs-137 waren entsprechende Auswirkungen von kerntechnischen Anlagen praktisch nicht aufzeigbar. Im Vergleich zum Vorjahr erhöhte Uran-Gehalte wurden im Doppelbiergraben (Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang) gemessen. Die Jahresmittelwerte von **Uran-234** (U-234), -235 und -238 lagen hier bei 2100, 81 und 1030 Bq/kg GR (GR = Glührückstand). Vereinzelt durchgeführte Messungen von Pu-238 und -239/240 ergaben durchweg Gehalte unterhalb von 0,3 Bq/kg TM (KKW Brunsbüttel, Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang).

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

Strahlenexposition

Die durch Ableitungen radioaktiver Abwässer aus kerntechnischen Anlagen verursachte Aufstockung der Gehalte an Spalt- und Aktivierungsprodukten in **Oberflächenwasser** lag unterhalb von 0,001 Bq/l und ist somit in radiologischer Hinsicht vernachlässigbar. Geringfügige H-3-Gehalte traten als Folge von Ableitungen aus dem französischen Kernkraftwerk Cattenom mit Werten bis zu 20,4 Bq/l auf (Mosel km 222,2; Wincheringen). Unter der Annahme, dass Oberflächenwasser dieses Flussabschnittes unbehandelt als Trinkwasser genutzt würde, kann die auf dem **"Trinkwasserpfad"** für Erwachsene resultierende zusätzliche effektive Äquivalentdosis zu ca. 0,3 µSv/a abgeschätzt werden. Hierdurch würde der Dosisgrenzwert nach § 45 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 300 µSv/a zu 0,1 % ausgeschöpft werden.

Mittlere Gehalte an Co-58 von 0,3 Bq/kg TM und Co-60 von 0,7 Bq/kg TM aus dem KKW Cattenom konnten an **Sedimentproben** aus dem deutschen Moselabschnitt km 230,1 bis km 239,9 (Palzem) gemessen werden. Für den Fall, dass hier aus verkehrswasserwirtschaftlichen Gründen Sohlenmaterial gebaggert und an Land gelagert werden muss, kann die auf den besonders sensitiven Expositionspfad **"Aufenthalt auf Spülfeldern"** hypothetisch zu erwartende zusätzliche externe Äquivalentdosis für Standardbedingungen unter 0,3 µSv/a abgeschätzt werden; sie liegt damit ebenfalls weit unter dem Dosisgrenzwert nach § 45 StrlSchV.

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

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
RHEIN / KKW Beznau und Leibstadt (Schweiz)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Aare-Einmündung	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<8,0	<8,0	nn	<8,4
	Co-60	vor Aare-Einmündung	4	4	<0,014	<0,019	nn	nn
		vor KKW Leibstadt	4	4	<0,026	<0,045	nn	nn
		nach KKW Leibstadt	4	4	<0,033	<0,046	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Aare-Einmündung	1	-	<0,82	<0,82	nn	-
		nach KKW Leibstadt	1	-	1,70	1,70	1,70	1,45
	Cs-137	vor Aare-Einmündung	1	-	9,40	9,40	9,40	14,5
		vor KKW Leibstadt	2	-	9,00	9,90	9,45	17,0
		nach KKW Leibstadt	2	-	8,30	9,80	9,05	6,80
RHEIN / KKW Fessenheim (Frankreich)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Weil	12	12	<8,0	<8,0	nn	<8,3
		Breisach	7	7	<8,0	<8,0	nn	<8,3
	Co-60	Weil	11	11	<0,015	<0,034	nn	nn
		Breisach	8	8	<0,020	<0,055	nn	-
	Cs-137	Weil	1	-	0,020	0,020	0,020	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Breisach, km 232,0	keine Werte					1,40
	Cs-137	Grissheim, km 296,5	2	-	3,40	5,30	4,35	16,0
		Breisach, km 232,0	2	-	4,20	4,70	4,45	8,15
RHEIN / Forschungszentrum Karlsruhe								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	12	-	11,0	3100	601	201
	Co-60	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,018	<0,032	nn	nn
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,016	<0,031	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	Rheinniederungskanal, vor Auslaufbauwerk	4	-	8,20	16,0	12,3	14,5
		Rheinniederungskanal, nach Auslaufbauwerk	4	-	2,50	14,0	8,10	11,9
RHEIN / KKW Philippsburg								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	12	<8,0	<8,0	nn	<8,2
		am Auslaufbauwerk	12	8	10,0	27,0	15,7	<13,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,017	<0,026	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,016	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	1	-	2,80	2,80	2,80	3,30
		am Auslaufbauwerk	3	-	1,60	2,70	2,23	11,9
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	12,0	21,0	17,8	20,3
		am Auslaufbauwerk	4	-	15,0	22,0	17,5	14,7
RHEIN / KKW Biblis								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	am Auslaufbauwerk	4	1	6,0	320	113	36,2
	Co-60	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,03	<0,04	nn	nn
	Sr-90	am Auslaufbauwerk	1	1	<0,07	<0,07	nn	nn
	Cs-137	am Auslaufbauwerk	4	4	<0,03	<0,05	nn	nn
Sediment (Bq/l)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	2	<1,30	<1,40	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<2,10	<1,00	nn	0,88
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	3,90	12,0	7,95	6,10
		nach Auslaufbauwerk	2	-	9,30	21,0	15,2	7,20

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
RHEIN / KKW Mülheim-Kärlich (außer Betrieb)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<10,0	<10,0	nn	<12,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 605,9	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	2	2	<5,00	<5,00	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2	2	<5,00	<5,00	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 604,5	2	-	21,2	26,5	23,9	22,0
		nach Auslaufbauwerk, km 621,4	2	-	16,2	17,7	17,0	23,1
NECKAR / Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<8,0	<8,0	nn	<9,0
		am Auslaufbauwerk I und I	4	-	30,0	54,0	46,8	46,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,015	<0,031	nn	nn
		am Auslaufbauwerk I und II	4	4	<0,023	<0,032	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	-	6,70	10,0	8,10	6,50
		nach Auslaufbauwerk	2	-	3,70	6,00	4,85	3,45
NECKAR / Kernkraftwerk Obrigheim								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	3	<8,0	9,0	<8,3	<10,0
		am Auslaufbauwerk	4	1	18,0	29,0	22,7	20,5
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,019	<0,027	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,016	<0,028	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	-	0,72	0,80	0,76	71,0
		nach Auslaufbauwerk	2	-	9,10	9,80	9,45	17,0
MAIN / KKW Grafenrheinfeld								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	-	1,5	2,5	2,1	2,0
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	-	3,0	7,1	5,1	5,6
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	4	<0,0004	<0,0010	nn	nn
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	4	<0,0005	<0,0074	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	2	0,0006	0,0014	0,0010	0,0011
		nach Auslaufbauwerk, km 323,6	4	3	<0,0009	0,0013	<0,0015	0,0005
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	4	<0,32	<0,68	nn	nn
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	4	<0,38	<0,54	nn	0,95
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 324,6	4	-	18,1	38,6	30,3	37,0
		Staustufe Garstadt, km 323,6	4	-	30,6	42,9	37,6	41,0
KINZIG/DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Oberflächenwas. (Bq/l)	Ga	Ablauf Kläranlage Hanau	12	10	<0,11	0,23	<0,13	<0,12
		Doppelbiergraben	-	-	keine Werte			0,29
			-	-	keine Werte			<0,44
	Rß	Ablauf Kläranlage Hanau	-	-	keine Werte			<0,32
		Doppelbiergraben	-	-	keine Werte			
			-	-	keine Werte			
	Sr-90	Kinzig, Hanau	4	4	<0,010	<0,010	nn	nn
			4	4	<0,011	<0,014	nn	nn
			4	-	0,0093	0,013	0,011	0,015
	U-234		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
			4	-	0,0050	0,0070	0,0055	0,0082
			4	-	0,0050	0,0070	0,0055	0,0082
Pu-238		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
Sediment (Bq/kg GR) (GR = Glüh- rückstand)	Ga	Kinzig,vor Einleitung	2	-	610	870	740	785
		Doppelbiergraben						
	Rß	Kinzig, nach Einleitung	2	-	590	1400	995	765
		Doppelbiergraben						
	Rß	Kinzig,vor Einleitung	-	-	keine Werte			440
		Doppelbiergraben	-	-	keine Werte			760

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
		Doppelbiergraben						
Fortsetzung KINZIG/DOPPELBIERGRABEN / Nuklearbetriebe Hanau-Wolfgang								
Sediment (Bq/kg GR) (GR = Glüh- rückstand)	Cs-137	Kinzig, Hanau	4	-	5,01	6,13	4,57	6,46
	U-234	Doppelbiergraben	2	-	1150	3050	2100	307
	U-235		2	-	45	117	81,0	14,0
	U-238		2	-	570	1490	1030	161
	Pu-238		2	1	<0,039	0,096	<0,068	nn
	Pu-239/240		2	-	0,17	0,41	0,29	0,17
MOSEL / KKW Cattenom								
Oberflächenwas. (Bq/l)	keine Werte / s. a. Teil I Abschnitt 3.3.1							
Sediment (Bq/kg TM)	keine Werte / s. a. Teil I Abschnitt 3.3.1							
DONAU / KKW Gundremmingen								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	-	1,9	3,1	2,4	2,0
		Staufufe Faimingen, km 2546,0	4	-	1,8	4,0	2,8	2,8
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0003	<0,0010	nn	nn
		Staufufe Faimingen, km 2546,0	4	4	<0,0004	<0,0009	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	1	0,0007	0,0009	0,0008	<0,0004
		Staufufe Faimingen, km 2546,0	4	2	0,0006	0,0012	0,0009	0,0005
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,20	<0,74	nn	nn
		Staufufe Faimingen, km 2548,5	3	1	0,58	3,85	2,21	4,53
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	64,1	241	144	178
		Staufufe Faimingen, km 2548,5	3	-	25,1	72,4	40,9	85,7
ISAR / KKW Isar 1 und 2								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk 1	4	-	1,4	2,5	1,8	2,2
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	-	1,5	2,4	2,1	7,2
	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1	4	4	<0,0004	<0,0009	nn	nn
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	4	<0,0004	<0,0008	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1	4	2	0,0007	0,0008	0,0008	0,0006
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	2	0,0008	0,0013	0,0010	0,0008
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk 1	4	4	<0,18	<0,39	nn	nn
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	4	<0,17	<0,29	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk 1	4	-	60,7	94,8	77,5	107
		Staufufe Niederaichbach, km 60,0	4	-	29,1	69,8	57,6	91,5
ISAR / Forschungsreaktor München								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	1,8	2,3	1,9	2,0
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	1,7	2,1	1,9	2,0
	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	4	<0,0003	<0,0003	nn	nn
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	4	<0,0002	<0,0005	nn	nn
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	1	0,0006	0,0010	0,0007	0,0004
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	0,0008	0,0014	0,0010	0,0010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	4	<0,088	<0,12	nn	nn
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	4	<0,086	<0,18	nn	nn
	Cs-137	Ismaninger Brücke, km 133,7	4	-	2,71	29,7	13,5	18,3
		Grünecker Brücke, km 124,6	4	-	10,4	40,4	25,1	48,0

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte		
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998	
EMS / KKW Emsland									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte	3000	1978	1,5	
		am Auslaufbauwerk	4	-	100				1260
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	1,3				
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte	<0,0005	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,0003				
Sr-90	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte	0,013	0,0079	0,0079		
	nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	0,0052				0,0092	
Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	-	-	keine Werte	0,0006	0,0005	0,0014		
	nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	1	0,0004				0,0005	
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	4	<0,16	<0,21	nn		nn
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	4	<0,47	<0,72	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 84,7	4	-	6,70	13,0	9,53	12,2	
		nach Auslaufbauwerk, km 106,3	4	-	46,0	59,0	53,8	53,8	
WESER / KKW Würgassen									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
		am Auslaufbauwerk	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
am Auslaufbauwerk		4	4	<0,050	<0,050	nn	nn		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Herstelle, km 47	2	2	<0,36	<0,45	nn	nn	
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	-	66,0	66,0	66,0	122	
		Wehrden, km 60,2	2	2	<3,00	<3,00	nn	nn	
	Cs-137	Herstelle, km 47	2	-	12,0	12,0	12,0	23,0	
		am Auslaufbauwerk, km 49,6	2	-	38,0	44,0	41,0	54,5	
		Wehrden, km 60,2	2	-	24,0	25,0	24,5	22,5	
WESER / KKG Grohnde									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	-	0,66	1,5	1,2	1,4	
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	-	0,66	1,9	1,4	1,4	
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	4	<0,0002	<0,0004	nn	nn	
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	4	<0,0002	<0,0003	nn	nn	
	Sr-90	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	-	0,0018	0,0028	0,0022	0,0020	
		nach Auslaufbauwerk, km 126,5	4	-	0,0018	0,0028	0,0022	0,0024	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 116,4	4	1	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	
nach Auslaufbauwerk, km 126,5		4	-	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002		
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Grohnde, km 122	4	4	<0,28	<0,47	nn	nn	
		Hameln, km 135	4	4	<0,30	<0,54	nn	nn	
	Cs-137	Grohnde, km 122	4	-	15,0	33,0	22,0	20,0	
		Hameln, km 135	4	-	18,0	21,0	19,5	24,8	
UNTERWESER / KKW Unterweser									
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	-	0,43	1,50	1,08	1,70	
		nach Auslaufbauwerk, km 60,0	4	-	0,80	1,40	1,15	1,13	
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 44,1	4	-	6,90	13,0	10,3	14,2	
nach Auslaufbauwerk, km 60,0		4	-	8,00	21,0	14,0	12,0		
RUR / Forschungsanlage Jülich									
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Selhausen	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
		Jülich-Süd	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn	
	Co-60	Selhausen	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	
		Jülich-Süd	4	4	<0,050	<0,050	nn	nn	

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
Fortsetzung RUR / Forschungsanlage Jülich								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Selhausen	2	2	<3,00	<5,00	nn	nn
		Jülich-Süd	2	2	<3,00	<3,00	nn	nn
	Cs-137	Selhausen	2	-	21,0	24,0	22,5	24,5
		Jülich-Süd	2	-	19,0	33,0	26,0	28,0
GOORBACH / Urananreicherungsanlage Gronau								
Oberflächenwas. (Bq/l)	Ga	Einlauf Retentionsanlage unterhalb der Straßenkreuzung	4	1	<0,060	0,12	<0,090	<0,070
			12	12	<0,060	<0,060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Retentionsanlage	2	2	<4,00	<5,00	nn	nn
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<2,00	<3,00	nn	nn
	Cs-137	Retentionsanlage	2	-	140	220	180	155
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	-	37,0	43,0	40,0	61,5
	U-238	Retentionsanlage	2	2	<69,0	<81,0	nn	nn
		Dinkel, nach Kläranlage Gronau	2	2	<25,0	<40,0	nn	nn
AHAUSER AA/MOORBACH / Brennelement-Zwischenlager Ahaus								
Oberflächenwas. (Bq/l)	Ga Rß H-3 Co-60 Cs-137	Ahauser Aa	4	4	<0,20	<0,20	nn	nn
			4	4	<0,11	<0,11	nn	nn
			4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
			4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
			4	4	<0,050	<0,050	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Moorbach	4	4	<3,00	<5,00	nn	nn
		Ahauser Aa	4	4	<1,00	<5,00	nn	nn
	Cs-137	Moorbach	4	-	51,0	89,0	66,8	67,0
		Ahauser Aa	4	-	96,0	170	118	120
ELBE / Forschungszentrum Geesthacht								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0050	<0,014	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0060	<0,040	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	4	4	<0,0040	<0,0090	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	4	4	<0,0040	<0,0080	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	2	2	<0,17	<0,72	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	2	<0,27	<0,85	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 578,6	2	-	0,59	1,50	1,05	0,88
		nach Auslaufbauwerk, km 579,6	2	1	0,68	<0,98	<0,83	0,77
ELBE / KKW Krümmel								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	4	4	<6,5	<6,5	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	4	4	<6,5	<6,5	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	4	4	<0,0056	<0,013	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	4	4	<0,0060	<0,013	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 568,9	4	4	<0,0061	<0,027	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 588,3	4	4	<0,0080	<0,016	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 580,0	4	4	<0,50	<0,78	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 582,0	4	4	<0,57	<0,72	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 580,2	4	-	1,00	1,90	1,35	0,98
		nach Auslaufbauwerk, km 582,0	4	-	0,38	0,84	0,64	0,58

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
ELBE / KKW Brokdorf								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	8	8	<0,59	<1,60	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	6	<0,48	<1,30	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 678-682,5	8	1	0,80	14,0	6,23	2,79
		nach Auslaufbauwerk, km 683,3-688,8	6	1	0,77	13,0	5,47	<3,24
ELBE / KKW Stade								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<10,0	<10,0	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	3	<10,0	49,0	<19,8	<16,3
	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<0,0045	<0,0097	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0044	<0,0057	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 635	4	4	<0,0038	<0,0086	nn	nn
		am Auslaufbauwerk	4	4	<0,0036	<0,0045	nn	0,0046
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	2	0,52	0,75	0,64	nn
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	2	0,34	0,51	0,43	<0,47
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk, km 654	4	-	6,20	12,0	8,63	7,95
		nach Auslaufbauwerk, km 660	4	-	7,90	12,0	9,90	10,8
ELBE / KKW Brunsbüttel								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Elbe, km 690	4	4	<4,6	<5,0	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<4,6	<5,0	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<4,6	<5,0	nn	nn
	Co-60	Elbe, km 690	4	4	<0,0063	<0,0073	nn	nn
		Elbe, km 693	2	2	<0,0093	<0,012	nn	nn
		Elbe, km 698	2	2	<0,0096	<0,011	nn	nn
	Sr-90	Elbe, km 690	4	-	0,0044	0,0070	0,0058	0,0064
		Elbe, km 693	2	-	0,0047	0,0071	0,0059	0,0066
		Elbe, km 698	2	-	0,0042	0,0072	0,0057	0,0064
	Cs-137	Elbe, km 690	4	4	<0,0068	<0,0071	nn	<0,0079
		Elbe, km 693	2	2	<0,011	<0,011	nn	<0,0067
		Elbe, km 698	2	2	<0,012	<0,012	nn	0,0080
	Pu-239/240	Elbe, km 690	1	1	<0,0001	<0,0001	nn	nn
	Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	4	4	<0,67	<1,10	nn
Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb			4	4	<0,70	<0,98	nn	<1,14
Cs-137		Auslaufbauwerk, 5m oberhalb	4	-	1,70	2,30	1,95	2,42
		Auslaufbauwerk 5 m unterhalb	4	-	1,00	7,30	2,93	6,90
Pu-238		Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	-	0,026	0,026	0,026	0,012
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	-	0,044	0,044	0,044	0,049
Pu-239/240		Auslaufbauwerk, 5 m oberhalb	1	-	0,14	0,14	0,14	0,061
		Auslaufbauwerk, 5 m unterhalb	1	-	0,24	0,24	0,24	0,23
HAVEL / KKW Rheinsberg (außer Betrieb)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<4,6	<5,3	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<4,6	<5,3	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0028	<0,0050	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0023	<0,0051	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	3	-	0,0053	0,0070	0,0063	0,0098
		nach Auslaufbauwerk	3	-	0,0064	0,010	0,0079	0,010
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	2	1	<0,20	0,20	<0,20	<0,25
		nach Auslaufbauwerk	2	2	<0,12	<0,15	nn	0,27
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	2	--	23,0	25,0	24,0	16,6
		nach Auslaufbauwerk	2		5,00	5,20	5,10	9,90
GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	12	6	3,0	6,0	4,0	<4,1
		nach Auslaufbauwerk	12	2	3,1	6,2	4,6	<4,0
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	12	12	<0,0020	<0,0066	nn	nn

Fortsetzung Tabelle 1

Gewässer/ Anlage Umweltmedium	Aktivität	Entnahmestelle	Anzahl		Einzelwerte 1999		Jahresmittelwerte	
			N	<NWG	Min. Wert	Max. Wert	1999	1998
	Cs-137	nach Auslaufbauwerk	12	12	<0,0027	<0,0078	nn	nn
		vor Auslaufbauwerk	12	-	0,011	0,036	0,025	0,030
		nach Auslaufbauwerk	12	-	0,014	0,040	0,028	0,033
Fortsetzung GREIFSWALDER BODDEN / KKW Greifswald (außer Betrieb)								
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,16	<0,20	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,15	<0,26	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	-	7,20	14,0	11,1	6,93
		nach Auslaufbauwerk	4	-	7,50	7,80	7,63	12,3
ALLER / Endlager Morsleben								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	vor Auslaufbauwerk	4	4	<4,0	<4,0	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<4,0	<4,0	nn	nn
	Co-60	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
	Cs-137	vor Auslaufbauwerk	4	4	<0,0050	<0,0060	nn	nn
		nach Auslaufbauwerk	4	4	<0,0060	<0,0060	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Schwanefeld	1	1	<0,16	<0,16	nn	nn
	Cs-137	Schwanefeld	1	-	4,40	4,40	4,40	9,70
ELBE/KALTER BACH/DITTERSBACH / Forschungsstandort Rossendorf								
Oberflächenwas. (Bq/l)	H-3	Dittersbach	2	2	<11,0	<12,0	nn	nn
		Kalter Bach	4	-	40,0	71,0	57,0	153
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<11,0	<12,0	nn	nn
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<11,0	<12,0	nn	nn
	Co-60	Kalter Bach	4	-	0,017	0,047	0,027	0,019
		Dittersbach	2	2	<0,0023	<0,0024	nn	<0,0018
	Cs-137	Kalter Bach	4	2	0,0073	0,046	0,0084	0,0059
		Elbe, oberhalb Wesenitz	2	2	<0,0023	<0,0023	nn	<0,0026
		Elbe, unterhalb Wesenitz	2	2	<0,0021	<0,0022	nn	nn
Sediment (Bq/kg TM)	Co-60	Kalter Bach	2	-	0,85	3,90	2,38	4,60
	Cs-137	Dittersbach	2	-	2,50	3,70	3,10	7,10
		Kalter Bach	2	-	6,80	31,0	18,9	22,0
		Elbe, unterhalb der Wesenitz	2	-	1,70	15,0	8,35	10,6

1.4.4 Fische und Wasserpflanzen

Bearbeitet von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg

Die im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen 1999 durch die Messstellen der Länder gewonnenen Radioaktivitätsdaten in Fischen und Wasserpflanzen sind in Tabelle 1 - sortiert nach Fließgewässer und überwachter Anlage - zusammengefasst worden. In Fischen aus Fließgewässern wurde **Cäsium-134** nicht mehr nachgewiesen. Bei den Fischen ist 1999 gegenüber dem Vorjahr bei einem anlagenweisen Vergleich bei **Cäsium-137** im Mittel ein etwa 6%-iger Rückgang zu verzeichnen. Die höheren Cs-137-Gehalte im Fisch in der Umgebung des stillgelegten Kernkraftwerks Rheinsberg sind darauf zurückzuführen, dass die Proben des Messprogramms zur Umgebungsüberwachung in diesem Fall nicht aus einem Fließgewässer, sondern aus Seen (Stechlinsee und Ellbogensee) entnommen wurden, so dass die gefundenen Cäsium-Aktivitäten, auch Cs-134 im Falle des Stechlinsees, auf den Tschernobyl-Fallout zurückgehen. Bedingt durch den Ostsee-Einfluss im Greifswalder Bodden weisen die dort im Überwachungsprogramm des außer Betrieb befindlichen Kernkraftwerks Greifswald genommenen Proben aus dem gleichen Grund ebenfalls höhere Cäsium-Gehalte auf.

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

**Tabelle 1 Spezifische Aktivität von Fischen und Wasserpflanzen 1999
(im Rahmen der Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen)**

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

Fluss/ Gewässer	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Fisch (Bq/kg Feuchtmasse)							
Donau	KRB II Gundremmingen	Cs-137	5	0	0,35	3,7	0,76
Elbe	GKSS Geesthacht	Cs-137	6	0	0,29	1,4	0,37
	KKK Krümmel	Sr-90	8	0	0,0098	0,037	0,016
		Cs-137	8	0	0,31	0,40	0,35
		Pu-239	4	4	<0,00026	<0,00038	<0,00038
	PKA Gorleben	Cs-137	4	0	0,24	0,35	0,33
	KKS Stade	Cs-137	4	0	0,24	0,29	0,26
	KBR Brokdorf	Sr-90	6	5	<0,0061	0,033	<0,033
		Cs-137	6	0	0,31	0,97	0,55
	KKB Brunsbüttel	Sr-90	10	7	<0,0059	0,024	0,0053
		Cs-137	15	0	0,18	1,1	0,41
		Pu-239	1	1	<0,00020	<0,00020	<0,00020
Ems	KKE Emsland	Cs-137	7	0	0,22	2,1	0,78
Greifswalder Bodden	Greifswald	Cs-137	9	0	0,30	20	1,6
Harttheich	Rossendorf	Sr-90	1	0	0,013	0,013	0,013
		Cs-137	2	0	0,23	0,28	0,26

Fortsetzung Tabelle 1

Fluss/ Gewässer	Anlage	Radionuklid	N	nn	Min. Wert	Max. Wert	Medianwert
Isar	KKI 1/2 Isar	Cs-137	4	2	0,37	0,84	0,35
Main	KKG Grafenrheinfeld	Cs-137	4	2	<0,21	0,41	0,17
	VAK Kahl	Cs-137	2	1	<0,30	0,34	<0,34
Neckar	GKN Neckarwestheim	Cs-137	2	0	0,072	0,48	0,28
	KWO Obrigheim	Cs-137	2	0	0,064	0,34	0,20
Rhein	Beznau / Leibstadt (Schweiz)	Cs-137	2	0	0,11	2,7	1,4
	Biblis	Sr-90	2	0	0,028	0,039	0,034
		Cs-137	4	0	0,16	0,23	0,20
	Fessenheim (Frankreich)	Cs-137	6	0	0,082	0,22	0,16
	KKP Philippsburg	Cs-137	4	0	0,14	0,36	0,18
	Mülheim-Kärlich	Cs-137	4	0	0,16	0,25	0,21
Rheinniede- rungskanal	KfK Karlsruhe	Cs-137	2	0	0,12	0,41	0,27
Rur	KFA Jülich	Cs-137	3	0	0,29	0,31	0,29
Stechlinsee	KKR Rheinsberg	Cs-134	5	0	0,085	0,47	0,30
		Cs-137	5	0	0,87	87	48
Ellbogensee	KKR Rheinsberg	Cs-137	2	0	7,2	15	11
Weser	KWG Grohnde	Cs-137	6	0	0,04	0,61	0,067
	KKU Unterweser	Cs-137	6	0	0,19	0,47	0,21
Wasserpflanzen (Bq/kg Trockenmasse)							
Ahauser Aa	Ahaus	Co-60	1	1	<0,5	<0,5	<0,5
Isar	FRM	I-131	2	0	99	159	129
	Garching	Cs-137	4	0	6,8	24	15
	KKI 1/2 Isar	Cs-137	1	0	22	22	22

1.4.5 Grundwasser und Trinkwasser

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

Im Rahmen der Überwachung von Grund- und Trinkwasser nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind im Jahr 1999 von den amtlichen Messstellen der Länder Messwerte mitgeteilt worden, die in Tabelle 1 übersichtlich zusammengefasst sind. Aufgeführt sind die Anzahl der untersuchten Proben, die Anzahl der Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze, sowie der Minimal-, Maximal- und Mittelwert der Aktivitätskonzentration.

Grundwasser

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

Für **Cäsium-137** liegen mehr als 99 % der Messwerte unterhalb der angegebenen Nachweisgrenzen von 0,67 mBq/l bis 72 mBq/l. Messwerte über der Nachweisgrenze liegen im Konzentrationsbereich zwischen 0,53 mBq/l und 67 mBq/l (1998: 9,8 bis 17 mBq/l). Der Median aller mitgeteilten Werte liegt wie im Vorjahr bei < 28 mBq/l.

Die Werte für die **Strontium-90**-Aktivitätskonzentrationen (49 % der Messwerte über der Nachweisgrenze) liegen zwischen 0,23 mBq/l und 12 mBq/l (1998: 1,2 bis 16 mBq/l). Der Median liegt bei 5,1 mBq/l (1998: < 2,8 mBq/l).

Die berichtete **Gesamt- α** -Aktivitätskonzentration liegt zwischen 0,024 Bq/l und 6,1 Bq/l (1998: 0,032 bis 6,3 Bq/l), mit einem Median sämtlicher Werte von < 0,20 Bq/l (1998: 0,28 Bq/l), wobei sämtliche Messwerte oberhalb 0,28 Bq/l im Rahmen der Umgebungsüberwachung der Hanauer Nuklearbetriebe in Hessen ermittelt wurden. Erhöhte Werte wurden in Überwachungsbrunnen auf dem Werksgelände in unmittelbarer Nähe des Fertigungsgebäudes des SIEMENS-Brennelementwerkes Hanau (früher RBU I) erstmals nach Leckagen im Kühlwasserkreislauf im Jahr 1986 festgestellt. Ebenfalls treten sie lokal auf dem Betriebsgelände der Fa. NUKEM auf. Die Gesamt- α -Aktivitätswerte sind dort hauptsächlich auf Uranisotope zurückzuführen.

Die **Rest- β** -Aktivitätskonzentration wurde in 59 Proben gemessen. Der einzige Wert oberhalb der gefundenen Nachweisgrenzen liegt bei 0,2 Bq/l (1998: 0,19 bis 2,5 Bq/l). Der Median aller Werte beträgt < 0,17 Bq/l (1998: 0,21 Bq/l).

In 52 % der untersuchten Wasserproben wurde **Tritium** im Konzentrationsbereich von 0,26 Bq/l bis 690 Bq/l nachgewiesen (1998: 0,24 Bq/l bis 620 Bq/l), der Median aller Werte liegt bei < 7,0 Bq/l (1998: 7,1 Bq/l). Die Werte liegen damit teilweise deutlich über den derzeitigen Werten im Niederschlag, die zwischen 1 und 2 Bq/l liegen.

Die maximalen Tritiumkonzentrationen von bis zu 690 Bq/l (1998: bis 620 Bq/l) wurden - wie in den vergangenen Jahren - an 4 Probenentnahmestellen für oberflächennahes Grundwasser auf dem Gelände des Freilagers für radioaktive Abfälle des Forschungszentrums Rossendorf gefunden. Bei diesen Stichproben wurden auch **Kobalt-60**-Kontaminationen von bis zu 0,3 Bq/l (1998: 0,37 Bq/l) ermittelt. Die erhöhten H-3- und Co-60-Werte im Grundwasser sind auf eine Kontamination des Untergrundes auf dem Betriebsgelände infolge von Leckagen an (inzwischen nicht mehr genutzten) Beton-Abklingbecken für kontaminierte Wässer zurückzuführen. Alle Proben außerhalb des Forschungsstandortes weisen H-3-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 5,0 Bq/l auf.

In einer Grundwasserprobe auf dem Gelände des THTR-300 wurde eine Co-60-Aktivitätskonzentration von 0,8 Bq/l gefunden. In zusätzlichen Proben an derselben Probenahmestelle konnte kein Co-60 über der geforderten Nachweisgrenze von 0,05 Bq/l nachgewiesen werden. Die Ursache, die zu dem gefundenen Messwert führte, ist nicht bekannt.

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

Trinkwasser

Im Jahr 1999 wurden im Rahmen der Umgebungsüberwachung von kerntechnischen Anlagen 19 Trinkwasser- und 17 Rohwasser-Entnahmestellen beprobt.

Für **Cäsium-137** wurde in einer Probe ein Messwert von 5,4 mBq/l (1998: kein Wert) oberhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen von 0,27 mBq/l bis 50 mBq/l ermittelt. Der Median aller Cs-137-Werte liegt bei < 30 mBq/l (1998: < 16 mBq/l).

Die Aktivitätskonzentrationen für **Strontium-90** liegen zwischen 0,22 mBq/l und 10 mBq/l (1998: 0,25 bis 5,1 mBq/l), mit einem Median aller Werte von 2,7 mBq/l (1998: 2,4 mBq/l).

Die Werte für die **Gesamt-a**-Aktivitätskonzentrationen sind größtenteils natürlichen Ursprungs. Die gemessenen Werte über der Nachweisgrenze liegen zwischen 25 mBq/l und 130 mBq/l (1998: 24 mBq/l bis 210 mBq/l). Der Median sämtlicher Werte liegt bei 76 mBq/l (1998: 59 mBq/l).

In 24 (von 97 gemessenen) Proben wurde **Tritium** in Konzentrationen zwischen 1 Bq/l und 140 Bq/l (1998: 1,1 bis 230 Bq/l) nachgewiesen, der Median aller Werte liegt bei < 8,0 Bq/l (1998: < 8,0 Bq/l).

Die über den derzeitigen Werten im Niederschlag zwischen 1 und 2 Bq/l liegenden Werte sind auf den Eintrag von Oberflächenwasser (z. B. als Uferfiltrat) zu erklären, das durch H-3-Emissionen aus dem Abwasser kerntechnischer Anlagen belastet ist.

Alle Werte über 54 Bq/l stammen aus Einzelwasserversorgungen in der Nähe eines Altrheinarms, der in der Fließrichtung von Grund- und Oberflächenwasser des Forschungszentrums Karlsruhe liegt. Das Trinkwasser aus öffentlichen Wasserversorgungen in den Ortschaften beim Forschungszentrum weisen lediglich Tritiumkonzentrationen bis zu 3,1 Bq/l auf. Selbst unter der Annahme, dass der gesamte Trinkwasserbedarf mit Wasser aus den Einzelwasserversorgungen gedeckt würde, ergäbe sich nur eine unwesentliche Erhöhung gegenüber der natürlichen Strahlenexposition für die betroffenen Personen.

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 1999
(Grundwasser und Trinkwasser)

Land	Nuklid	Anzahl gesamt	Anzahl <NWG	Minimal- wert	Maximal- wert *	Median
Grundwasser in Bq/l						
alle Bundesländer	K-40	133	39	0,019	1,5	0,1
	Co-60	482	457	0,0077	0,8	<0,03
	Cs-137	310	307	0,00053	0,067	<0,028
	H-3	521	248	0,26	690	<7,0
	Sr-90	55	28	0,00023	0,012	0,0032
	R-β	59	58		0,2	<0,17
	G-α	218	38	0,024	6,1	<0,2
Trinkwasser in Bq/l						
alle Bundesländer	K-40	29	15	0,021	0,11	<0,11
	Co-60	76	76			<0,021
	Cs-137	44	43		0,0054	<0,03
	H-3	97	73	1,0	140	<8,0
	Sr-90	27	17	0,00022	0,01	0,0027
	G-α	12	1	0,025	0,13	0,076

* oder Einzelwert

1.4.6 Pflanzliche Nahrungsmittel

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

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

Die Ergebnisse der Überwachung nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen sind für Gemüse und Getreide in den Tabellen 1 und 2, für Obst in Tabelle 3 und für Kartoffeln in Tabelle 4 zusammengefasst. Die vorliegenden Messwerte lassen im Vergleich mit anderen Orten in der Bundesrepublik keine Erhöhung der Radioaktivität erkennen.

Tabelle 1 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen: Gemüse

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u>					
FZ Karlsruhe	1998	21	<0,08	7	<0,18
	1999	23	<0,10 (<0,02 - 0,33)	8	0,21 (0,03 - 0,47)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	20	<0,16	9	0,14
	1999	17	<0,14 (<0,09 - <0,22)	9	0,30 (0,04 - 0,77)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	20	<0,16 (<0,08 - <0,30)	6	0,11
	1999	18	<0,14 (0,09 - <0,21)	11	0,13 (0,03 - 0,34)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	9	<0,12	4	0,17
	1999	8	<0,10 (<0,02 - <0,18)	3	0,21 (0,16 - 0,29)
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt Schweiz	1998	16	<0,15 (<0,08 - 0,28)	8	0,30
	1999	17	<0,13 (<0,01 - <0,22)	9	0,32 (0,03 - 0,93)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	7	<0,32	4	0,40
	1999	15	<0,17 (0,07 - <0,25)	8	0,32 (0,03 - 0,89)
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	5	<0,25	5	0,23
	1999	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Isar	1998	1	0,18	1	0,15
	1999	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	4	<0,10	4	0,09
	1999	a)	a)	a)	a)
<u>Berlin</u>					
Forschungsreaktor BERII	1998	8	<0,15		
	1999	7	<0,15 (<0,02 - <0,52)	3	0,10 (0,07 - 0,14)
<u>Brandenburg</u>					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	13	<0,16	12	0,22
	1999	11	<0,15 (<0,09 - <0,19)	11	0,42 (0,06 - 1,20)
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk Biblis	1998	12	<0,05	12	0,11
	1999	12	<0,03 (<0,02 - <0,07)	12	0,09 (0,03 - 0,19)

Fortsetzung Tabelle 1

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
Nuklearbetriebe Hanau	1998		Cs-137	1	Pu-238 Bq/kg Asche
	1999			1	Pu-239/240 Bq/kg Asche
<u>Mecklenburg-Vorp.</u> Kernkraftwerk Greifswald	1998	8	<0,18	8	0,40
	1999	8	<0,07 (<0,04 - 0,13)	8	0,24 (0,02 - 0,72)
<u>Niedersachsen</u> Kernkraftwerk Emsland	1999	7	<0,11 (0,05 - 0,25)	5	0,28 (0,10 - 0,54)
	1999	7	<0,08 (<0,04 - <0,12)	6	0,16 (0,08 - 0,28)
Kernkraftwerk Stade	1999	6	<0,13 (0,05 - 0,35)	4	<0,17 (<0,02 - 0,36)
	1999	6	<0,12 (<0,04 - 0,28)	4	0,21 (0,08 - 0,37)
<u>Nordrhein-Westfalen</u> KFA Jülich	1998	7	<0,13	7	0,19
	1999	6	<0,10 (<0,09 - <0,12)	7	0,15 (0,05 - 0,29)
UAG Gronau	1998	5	Fluor (mg/kg TM)	5	Uran (Bq/kg TM)
	1999	3	3,8 3,5 (2,6 - 4,5)	4	U-238 (Bq/kg TM)
<u>Sachsen</u> Rossendorf	1998	6	Cs-137		Sr-90
	1999	5	<0,09 <0,73 (<0,10 - 1,40)	1	0,15 0,14
<u>Sachsen-Anhalt</u> Endlager Morsleben	1998	3	<0,11 (<0,08 - <0,15)	3	0,21
	1999	3	<0,12 (<0,11 - <0,13)	2	0,26 (0,08 - 0,44)

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 2 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kern-technischer Anlagen: Getreide

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u> FZ Karlsruhe	1998	7	Cs-137	3	Sr-90
	1999	8	<0,08 <0,08 (<0,05 - <0,14)	4	0,28 0,32 (0,16 - 0,71)
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	6	<0,17	3	0,18
	1999	6	<0,17 (<0,13 - 0,32)	3	0,16 (0,11 - 0,24)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	6	<0,20	2	0,22
	1999	6	<0,15 (<0,13 - <0,16)	3	0,13 (0,09 - 0,18)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	3	<0,13	2	0,12
	1999	2	<0,10 (<0,03 - <0,17)	1	0,11
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt Schweiz	1998	6	<0,19	4	0,33
	1999	7	<0,13 (0,05 - 0,18)	4	0,25 (0,10 - 0,42)
Kernkraftwerk Fessenheim	1998	8	<0,15		
	1999	6	<0,14 (<0,11 - <0,17)	5	0,26 (0,09 - 0,48)

Fortsetzung Tabelle 2

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
Frankreich					
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1998 1999	8 a)	<0,22 a)	8 a)	0,26 (0,12 - 0,44) a)
Kernkraftwerk Isar	1998 1999	5 a)	<0,30 a)	5 a)	0,22 a)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998 1999	2 a)	<0,10 a)	2 a)	0,13 a)
			Gesamt-a-Aktivität		
SBWK Karlstein	1998 1999	2 a)	0,27 (0,21 - 0,33) a)	a)	a)
<u>Berlin</u>			Cs-137		
Forschungsreaktor BERII	1998 1999	1 a)	<0,04 a)		
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk Biblis	1998 1999	10 9	<0,11 <0,10 (<0,03 - 0,46)	10 9	1,26 0,23 (0,16 - 0,33)
					Pu-238 Bq/kgAsche
Nuklearbetriebe Hanau	1998 1999			1 1	<0,71 <0,03
					Pu-239/240 Bq/kg Asche
					< 0,70 < 0,01
					Sr-90
<u>Mecklenburg-Vorp.</u>					
Kernkraftwerk Greifswald	1998 1999	4 5	<0,14 <0,12 (<0,10 - 0,21)	4 5	0,31 (0,13 - 0,58) 0,17 (0,10 - 0,26)
<u>Niedersachsen</u>					
Kernkraftwerk Emsland	1999	2	0,16 (0,10 - 0,23)	2	0,23 (0,19 - 0,27)
Kernkraftwerk Grohnde	1998 1999	4 1	<0,13 (<0,09 - <0,16) <0,10	4 1	0,19 0,58
Kernkraftwerk Stade	1999	2	<0,15 (<0,08 - <0,21)	2	0,03 (0,03 - 0,04)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	1	<0,11	1	0,46
<u>Nordrhein-Westfalen</u>					
KFA Jülich	1998 1999	1 a)	<0,45 a)	1 a)	0,03 a)
			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kgTM)
UAG Gronau	1998 1999	24 18	<0,59 <0,60 (<0,50 - 1,0)	24 18	<0,23 <0,23 (<0,23 - <0,23)
					U-238 (Bq/kg TM)
					<0,5(<0,5 - <0,5) N=2
<u>Rheinland-Pfalz</u>			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich	1999	1	<0,09	1	0,27
<u>Sachsen-Anhalt</u>					
Endlager Morsleben	1998 1999	4 4	<0,13 <0,13 (<0,12 - <0,14)	2 1	0,14 0,16

a) Messwerte lagen nicht vor

Tabelle 3 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kern-technischer Anlagen: Obst

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
			Cs-137		Sr-90
<u>Baden-Württemberg</u>					
FZ Karlsruhe	1998	6	<0,07	1	0,43
	1999	4	<0,05 (0,01 - 0,14)	1	0,38
Kernkraftwerk Obrigheim	1998	6	<0,17	3	0,15
	1999	7	<0,13 (<0,08 - <0,21)	3	0,10 (0,07 - 0,14)
Kernkraftwerk Neckarwestheim	1998	5	<0,18	5	<0,05
	1999	6	<0,13 (0,04 - <0,18)	3	0,25 (0,03 - 0,58)
Kernkraftwerk Philippsburg	1998	5	<0,08	1	0,20
	1999	5	<0,07 (<0,02 - <0,15)	2	0,21 (0,19 - 0,22)
Kernkraftwerke Beznau / Leibstadt Schweiz	1998	9	<0,12	5	0,05
	1999	10	<0,13 (0,05 - <0,21)	2	0,06 (0,06 - 0,07)
Kernkraftwerk Fessenheim Frankreich	1998	5	<0,19		
	1999	3	<0,12 (<0,09 - <0,19)	2	0,15 (0,10 - 0,21)
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk Gundremmingen	1998	1	<0,29	1	0,07
	1999	a)	a)	a)	a)
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld	1998	2	<0,10	2	0,07
	1999	a)	a)	a)	a)
<u>Berlin</u>					
Forschungsreaktor BERII	1998	11	<0,12 (<0,04 - 0,30)	3	0,05
	1999	5	<0,10 (<0,07 - 0,17)	2	0,07 (0,05 - 0,09)
<u>Brandenburg</u>					
Kernkraftwerk Rheinsberg	1998	2	<0,12		
	1999	1	<0,12	1	0,20
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk Biblis	1998	7	<0,03 (<0,02 - 0,06)	7	0,05
	1999	3	<0,03 (<0,03 - <0,04)	3	0,02 (0,01 - 0,04)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u>					
Kernkraftwerk Greifswald	1998	16	<0,13	11	0,05
	1999	14	<0,11 (<0,03 - 0,61)	14	0,07 (0,01 - 0,23)
<u>Niedersachsen</u>					
Kernkraftwerk Emsland	1999	1	<0,07	1	0,14
Kernkraftwerk Grohnde	1999	2	<0,05 (<0,05 - <0,06)	1	0,02
Kernkraftwerk Stade	1999	6	<0,06 (<0,04 - <0,08)	2	0,04 (0,03 - 0,04)
Kernkraftwerk Unterweser	1999	3	<0,06 (<0,06 - <0,07)	3	0,12 (0,04 - 0,17)
<u>Nordrhein-Westfalen</u>			Fluor (mg/kg TM)		Uran (Bq/kg TM)
					U-238 (Bq/kg TM)
UAG Gronau	1998	2	<0,95	2	<0,23
	1999	2	0,70 (0,6 - 0,8)	2	<0,23 (<0,23 - <0,23)
					<0,5 (<0,5 - <0,5) N=7

Fortsetzung Tabelle 3

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Rheinland-Pfalz</u>			Cs-137		Sr-90
Kernkraftwerk	1998	7	<0,04	7	0,02
Mülheim-Kärlich	1999	5	<0,03 (<0,01 - 0,05)	5	0,03 (0,01 - 0,05)
<u>Sachsen</u>					
Rossendorf	1998	2	<0,06	1	0,06
	1999	1	<0,06	1	0,05
<u>Sachsen-Anhalt</u>					
Endlager Morsleben	1998	3	<0,11	2	0,02
	1999	3	<0,11 (<0,10 - <0,11)	1	0,08

a) Messwerte liegen nicht vor

Tabelle 4 Radioaktivität der pflanzlichen Nahrungsmittel in der näheren Umgebung kern-technischer Anlagen: Kartoffeln

Bundesland kerntechnische Anlage	Jahr	Aktivität in Bq/kg Frischmasse			
		N	Mittelwert (Bereich)	N	Mittelwert (Bereich)
<u>Baden-Württemberg</u>			Cs-137		Sr-90
FZ Karlsruhe	1998	4	<0,08	1	0,03
	1999	5	<0,15 (<0,03 - 0,56)	1	0,05
Kernkraftwerk	1998	3	<0,16	3	0,05
Obrigheim	1999	3	<0,15 (<0,14 - <0,16)	3	0,05 (0,03 - 0,07)
Kernkraftwerk	1998	3	<0,13	3	0,05
Neckarwestheim	1999	3	<0,12 (<0,11 - <0,14)	3	0,03 (0,02 - 0,05)
Kernkraftwerk	1998	1	<0,07	1	0,04
Philippsburg	1999	2	<0,12 (<0,11 - <0,13)	2	0,03 (0,01 - 0,04)
Kernkraftwerke	1998	5	<0,14	3	0,11
Beznau / Leibstadt	1999	4	<0,14 (<0,09 - <0,17)	4	0,06 (0,03 - 0,09)
Schweiz					
Kernkraftwerk	1998	3	<0,14		
Fessenheim	1999	2	<0,11 (0,04 - <0,18)	1	<0,01
Frankreich					
<u>Bayern</u>					
Kernkraftwerk	1998	2	<0,30	2	0,21
Gundremmingen	1999	a)	a)	a)	a)
<u>Berlin</u>					
Forschungsreaktor	1998	1	<0,07		
BERII	1999	1	<0,08		
<u>Brandenburg</u>					
Kernkraftwerk	1998	1	<0,13	1	0,02
Rheinsberg	1999	a)	a)	a)	a)
<u>Hessen</u>					
Kernkraftwerk	1998	1	<0,04	1	0,04
Biblis	1999	5	<0,08 (<0,02 - 0,2)	5	0,05 (0,04 - 0,05)
<u>Mecklenburg-Vorp.</u>					
Kernkraftwerk	1998	2	<0,06	2	<0,03
Greifswald	1999	2	<0,06 (<0,06 - <0,07)	2	0,02 (0,01 - 0,02)
<u>Nordrhein-Westfalen</u>					
KFA Jülich	1998	1	<0,02	1	0,20
	1999	a)	a)	a)	a)
<u>Rheinland-Pfalz</u>					
Kernkraftwerk	1998	2	<0,02	2	0,06
Mülheim-Kärlich	1999	3	<0,03 (<0,02 - <0,03)	3	0,08 (0,07 - 0,08)

a) Messwerte liegen nicht vor

1.5 Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen

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

Die für das Jahr 1999 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 Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage XI) Ernährungsgewohnheiten und Aufenthaltszeiten festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Tabelle 1 Strahlenexposition im Jahr 1999 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Mikrosievert

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

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

a) berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

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

Tabelle 1 enthält die Ergebnisse aus den Berechnungen der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 1999 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 0,5 μSv (entsprechend ca. 0,2 % des Grenzwertes) am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Für das Mündungsgebiet des Neckar wurde eine effektive Dosis von etwa 1 μSv für Erwachsene und Kleinkinder ermittelt; für den Unterlauf der Weser wurde für beide Personengruppen 0,3 bzw. 0,4 μSv berechnet; an Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,1 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.

Tabelle 2 Strahlenexposition im Jahr 1999 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 (μSv) für Erwachsene	Oberer Wert der effektiven Dosis (μSv) für Kleinkinder
Kahl	< 0,1	< 0,1
Gundremmingen A, B und C	0,3	0,1
Obrigheim	0,2	0,2
Stade	< 0,1	< 0,1
Würgassen	< 0,1	0,1
Biblis A und B	0,2	0,2
Neckar 1 und 2	0,4	0,4
Brunsbüttel	< 0,1	< 0,1
Isar 1 und 2	0,2	0,2
Unterweser	< 0,1	< 0,1
Philippsburg 1 und 2	< 0,1	< 0,1
Grafenrheinfeld	0,2	0,2
Krümmel	< 0,1	< 0,1
Grohnde	0,2	0,2
Mülheim-Kärlich	< 0,1	< 0,1
Brokdorf	< 0,1	< 0,1
Emsland	0,5	0,5
Rheinsberg ¹⁾	< 0,1	< 0,1
Greifswald ¹⁾	0,1	< 0,1

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

Die in Tabelle 3 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus **Forschungszentren** stammen aus den Jahresberichten und aus

zusätzlichen Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin. Die Tabelle weist für die effektive Dosis im Jahr 1999 als höchsten Wert 1,0 μSv (rund 0,3 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 1,7 μSv (rund 0,6 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Karlsruhe auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 5,5 μSv (rund 0,6 % des Grenzwertes) beim Forschungszentrum Jülich. Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich aus den jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte für die effektive Dosis im Jahr 1999 von 37, 6 bzw. 0,6 μSv .

Tabelle 3 Strahlenexposition im Jahr 1999 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 (μSv)		der Schilddrüsendosis (μSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. Wiederaufarbeitungsanlage)	1,0	1,7	1,7
Forschungszentrum Jülich (einschließl. Versuchsreaktor AVR)	0,8	1,3	5,5
Forschungszentrum Rossendorf (FZR)	0,4	0,7	0,7
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht	0,2	0,3	0,4
Hahn-Meitner-Institut Berlin (einschl. Zentralstelle für radioaktive Abfälle)	0,1	0,1	0,1

*) Entnommen den Jahresberichten 1999 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 0,5 μSv (rund 0,2 % des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,4 μSv (rund 0,1 % des Grenzwertes), der höchste Wert der Lungendosis für Kleinkinder 1 μSv (rund 0,1 % des Grenzwertes).

Tabelle 4 Strahlenexposition im Jahr 1999 in der Umgebung der Kernbrennstoff verarbeitenden 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 (μSv)		der Lungendosis (μSv)
	für Erwachsene	für Kleinkinder	für Kleinkinder
NUKEM GmbH (Hanau)	0,5	0,4	1
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 a)	-	-	-
ANF GmbH (Lingen)	<0,1	<0,1	<0,1
URENCO D (Gronau)	<0,1	<0,1	<0,1

a) Aus dem Atomgesetz entlassen im März 1999

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

Tabelle 5 Strahlenexposition im Jahr 1999 in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender 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 (µSv)
NUKEM GmbH Hanau (einschließlich HOBEG)	< 0,1
SIEMENS AG	
Brennelementewerk Hanau	
Betriebsstil MOX-Verarbeitung	< 0,1
Betriebsstil Uran-Verarbeitung	< 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 1999 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 0,6 µSv für Erwachsene und 1,1 µSv für Kleinkinder (ca. 0,1 % des Grenzwertes). Aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurden 1999 obere Werte der effektiven Dosis unterhalb von 0,1 µSv für Erwachsene und Kleinkinder berechnet.

Tabelle 6 Strahlenexposition im Jahr 1999 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 (µSv)		Oberer Wert (µSv)
	der effektiven Dosis	der Lungendosis	der effektiven Dosis
Erwachsene	0,4	0,6	<0,1
Kleinkinder	0,6	1,1	<0,1

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Abschnitt II 1.1, Tabelle 4) führte 1999 bei Berechnung nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung für die betroffene Bevölkerung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 10 µSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich ebenfalls obere Werte bis zu 10 µSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde **Jod-131** im Jahr 1999 in Milch nicht nachgewiesen.

1.5.2 Bewertung

Die für 1999 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 Organ-dosen 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 1999 deutlich unter 10 µSv pro Jahr.

2 RADIOAKTIVE STOFFE AUS URAN-BERGBAUANLAGEN

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

2.1 Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben

In den drei Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH Königstein, Aue und Ronneburg wurden die Arbeiten im Jahr 1999 fortgesetzt. Dabei wurden auch 1999 mit behördlicher Genehmigung radioaktive Stoffe mit der Abluft oder den Abwettern bzw. mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet.

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

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den Sanierungsbetrieben enthalten vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe. In den Abwettern und in der Abluft sind Radon und langlebige **a-Strahler** 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 der Tabelle 1 sind die aus den Betrieben im Jahr 1999 insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei den Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit den Abwettern und der Abluft ergaben sich 1999 keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Diese Ableitungen sind bei allen Sanierungsbetrieben im Vergleich mit dem Vorjahr relativ konstant geblieben oder haben sich verringert.

Tabelle 1 **Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Abluft in die Atmosphäre 1999 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)**

Sanierungs- betrieb	Anzahl der Abwetterschächte und Wetter- bohrlöcher	Abwetter- bzw. Abluftmengen in 10 ⁹ m ³ /a	Ableitung radioaktiver Stoffe	
			Rn-222 in TBq/a	Langlebige a- Strahler in MBq/a
Schlema/Alberoda	2	1,994 (-)	240 (600,1)	3,02 (10,32)
Pöhl	2	0,595 (-)	0,34 (1,5)	0,6 (2,0)
Dresden-Gittersee	1	0,123 (-)	0,13 (1,6)	0,11 (1,6)
Königstein	8	17,23 (-)	250 (315)	24 (88,5)
Ronneburg	4	0,846 (1,21)	0,85 (8)	2,2 (4)
Seelingstädt	1	0,0594 (0,06)	0,013 (0,015)	0,34 (1,0)

In der Tabelle 2 wurden die im Jahr 1999 insgesamt in die Flusssysteme abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern wurden die Jahresgenehmigungswerte eingehalten.

Tabelle 2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer 1999 (behördlich festgelegte Werte in Klammern)

Sanierungsbetrieb	Abwassermenge in 10 ⁶ m³/a		Ableitung radioaktiver Stoffe			
			Uran in t/a	Ra-226 in GBq/a		
Einleitung in Zwickauer Mulde,	4,368	(-)	1,252	(3,539)	0,1565	(1,026)
davon: Schlema/Alberoda	2,432	(-)	1,088	(3,364)	0,103	(0,763)
Crossen	1,78	(-)	0,1551	(-)	0,0456	(-)
Pöhl	0,156	(-)	0,0088	(0,175)	0,0079	(0,263)
Einleitung in Elbe,	4,57	(7,0)	1,913	(3,2)	2,297	(11)
davon: Dresden-Gittersee	-	(-)	-	(-)	-	(-)
Königstein	4,57	(7,0)	1,913	(3,2)	2,297	(11)
Einleitung in Pleiße						
Ronneburg	2,456	(3,524)	0,477	(1,123)	0,204	(0,6)
Einleitung in Weiße Elster,	3,331	(5,09)	0,1775	(1,55)	0,0414	(1,023)
davon: Ronneburg	0,02	(0,02)	0,0009	(0,04)	0,0003	(0,016)
Seelingstädt	3,331	(5,07)	0,1765	(1,51)	0,0411	(1,007)

2.2 Überwachung der Konzentrationen radioaktiver Stoffe in den Umweltmedien der Umgebung von Sanierungsbetrieben

Im Jahr 1999 wurden weitere Fortschritte bei der sicheren Verwahrung der Grubengebäude erreicht, so dass jetzt 90 % der untertägigen Sanierungsarbeiten abgeschlossen sind. Im Grubengebäude des Ostthüringer Bergbaugebietes bei Ronneburg, dessen Flutung bereits 1998 eingeleitet wurde, sind bereits über 10 Mio. m³ Grubenhohlraum geflutet. Im westsächsischen Bergbaugebiet bei Aue, wo die Flutung bereits 1991 eingeleitet wurde, sind Ende 1999 ca. 85 % (30 Mio. m³) des Grubenhohlraumes geflutet. Im ostsächsischen Bergbaugebiet bei Königstein wurde 1999 zur Vorbereitung der Flutung der Grube das Flutungsexperiment fortgesetzt. Damit waren ca. 500.000 m³ Hohlraum unter Wasser gesetzt.

In der übertägigen Sanierungstätigkeit konzentrierten sich die Arbeiten der Wismut GmbH im Jahre 1999 auf die Haldensanierung (z. B. Weiterführung der Arbeiten an der Halde Beerwalde und der Halde 366 in Aue-Alberoda), die Fortführung der Verfüllung des Tagebaurestloches Lichtenberg bei Ronneburg, auf Abbrüche von Gebäuden, die Demontage von Anlagen, die Sanierung der Absetzanlagen der Erzaufbereitung und auf die Sanierung kontaminierter Betriebsflächen.

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

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

Tabelle 3 **Mittlere jährliche Uran- und Radiumkonzentrationen in den Vorflutern sächsischer und thüringischer Bergbaugebiete 1999** (Messwerte der Wismut GmbH¹)

Betrieb	Probenahmestelle	Uran mg/l	Radium-226 mBq/l
Sächsische Bergbaubetriebe			
Königstein	Quellgebiet Eselsbach	0,025	14
	Eselsbach nach Einmündung Teufelsgrundbach	0,087	54
	Elbe Rathen	0,004	67
Gittersee	Kaitzbach vor Halde	0,018	46
	Kaitzbach nach Einleitung	0,032	15
Aue	Mulde in Aue	0,003	11
	Mulde bei Hartenstein	0,005	13
Pöhla	Luchsbach vor Schachtanlage	0,001	12
	Luchsbach nach WBA-Auslauf	0,022	31
Crossen	Mulde Wehr Mühlgraben	0,004	19
	Mulde Brücke Schlunzig	0,005	11
	Helmsdorfer Bach	0,17	45
	Zinnborn	0,74	138
Thüringer Bergbaugebiete			
Seelingstädt	Weißer Elster aus dem Oberlauf	0,002	20
	Weißer Elster nach Einmündung Pöltschbach	0,006	11
	Lerchenbach	0,115	12
	Fuchsbach unterhalb IAA	0,052	11
	Weißer Elster nach Einmündung Fuchsbach	0,007	12
Ronneburg	Gessenbach	0,075	10
	Sprotte	0,08	15
	Wipse	0,03	10
	Weißer Elster	0,01	10

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. Kleinere Gewässer, die den Hauptvorflutern vorangehen, werden durch die Ableitung und Freisetzung radioaktiver Stoffe in stärkerem Maße beeinflusst und weisen deshalb (vor allem im Thüringer Raum) auf Grund der geringen Abflussmengen höhere Radionuklidkonzentrationen auf. Daraus resultiert jedoch keine Gefährdung, da diese Gewässer nicht zur Trinkwassergewinnung 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 gewährleisteten nicht nur eine Kontrolle der Auswirkungen von Ableitungen und Sanierungsarbeiten, sie dienen auch zur Erfassung der aus Freisetzungen resultierenden Umweltkontamination. Bei den Sanierungsarbeiten werden aber auf der Grundlage behördlicher Anordnungen noch zusätzliche Messungen und Untersuchungen durchgeführt, so z. B. zur Überwachung der Staubverfrachtung an Be- und Entladeplätzen bei Umlagerungen von Halden oder zur Überwachung der Grundwassersituation während der Flutung.

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

¹ Im Jahre 1999 orientierte sich die Überwachung der Emissionen und Immissionen der Wismut GmbH erstmalig an den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Gegenüber dem Vorjahr treten daher in einzelnen Fällen Veränderungen bei der Auswahl von Messstellen auf.

ponierten Materialien freigesetzte Radon. Unter Zugrundelegung einer normierten Freisetzungsrates (1 Bq Rn-222/m² · sec pro Bq Ra-226/g Material) ergibt sich eine theoretisch mögliche Radonfreisetzung von ca. $2 \cdot 10^{15}$ Bq pro Jahr. Es ist dabei zu beachten, dass diese Radonfreisetzung für die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten abgeschätzt wurde; sie hat sich infolge der bereits abgeschlossenen Maßnahmen verringert.

Die Langzeitmessungen zur Überwachung der Radonkonzentration (Rn-222) in der bodennahen Atmosphäre wurden in den Bergbaugebieten auch im Jahr 1999 fortgeführt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der von der Wismut GmbH durchgeführten Überwachung an bergbaulich beeinflussten Messstellen zusammengefasst. Die hier aufgeführten teilweise hohen Maximalwerte der Rn-222-Konzentration sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich einige Messpunkte auf oder in unmittelbarer Nähe von Anlagen (z. B. Abwetterschächten) und Betriebsflächen befinden.

Tabelle 4 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre bergbaulich beeinflusster Messstellen in Bq/m³
(Winter 1998/99 und Sommer 1999; Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Anzahl der Mess- stellen	Anzahl der Messstellen mit Werten		
		£ 30 Bq/m³	31 - 80 Bq/m³	> 80 Bq/m³
Winter 1998/99				
Schlema/Alberoda	23	8	12	3
Pöhl	3	2	1	0
Seelingstädt	25	23	2	0
Crossen	34	7	26	1
Königstein	11	9	1	1
Gittersee	21	20	1	0
Ronneburg	29	25	4	0
Sommer 1999				
Schlema/Alberoda	60	2	38	20
Pöhl	17	10	6	1
Seelingstädt	25	2	21	2
Crossen	35	7	24	4
Königstein	15	5	9	1
Gittersee	21	1	19	1
Ronneburg	43	7	35	1

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 bergbaulich nicht beeinflusster Messstellen in
(Mittelwerte 1991 – 1999 und Schwankungsbreite der Mittelwerte der einzelnen Jahre; Messergebnisse der Wismut GmbH)

Gebiet	Winter			Sommer		
	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 1999	Minimum	Maximum	Mittelwert 1991 – 1999
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
Schlema/Alberoda	23	40	30	27	39	33
Pöhl	14	35	21	19	28	24
Seelingstädt	18	39	26	19	37	26
Crossen	19	35	26	17	34	24
Königstein	14	31	21	17	36	27
Gittersee	18	33	26	24	43	32
Ronneburg	14	40	27	20	37	28

In der Tabelle 6 sind die vom BfS durchgeführten Untersuchungsergebnisse zur Langzeit-Rn-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre dargestellt. Berücksichtigt wurden hier nur die Messpunkte, die sich in ständig bewohnten Gebieten befinden. In diesen Gebieten sind auf Grund der geologischen Bedingungen (oberflächennah anstehende geologische Formationen mit einer höheren spezifischen Aktivität der Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe) und wegen der orographischen Gliederung des Geländes (Tallagen) natürlicherweise auch über dem Landesdurchschnitt liegende Radonkonzentrationen in der bodennahen Luft zu erwarten. Die in den Gebieten Aue/Schlema und Johanngeorgenstadt gemessenen Maximalwerte stammen von Messpunkten, die sich in unmittelbarer Nähe bergbaulicher Anlagen befinden.

Tabelle 6 Radon-222-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre in Siedlungsgebieten
(Winter 1998/1999 und Sommer 1999; Messergebnisse des Bundesamtes für Strahlenschutz)

Gebiet	Anzahl der Messungen	Minimum	Maximum	Medianwert
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
Annaberg-Buchholz	61	7	38	14
Aue/Schlema	53	11	180	21
Crossen	68	6	43	18
Dittrichshütte	19	5	24	12
Freiberg	56	6	30	14
Freital	43	7	30	18
Gottesberg	11	13	44	21
Johanngeorgenstadt	104	6	620	18
Königstein	27	7	25	12
Lengsfeld	54	7	80	16
Mansfeld	47	6	30	13
Marienberg	61	5	45	12
Mechelgrün-Zobes	12	8	18	12
Ronneburg	85	8	42	18
Seelingstädt	43	8	48	18
Zwickau	7	8	31	16

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

Insgesamt ergibt sich aus den Messungen, dass in großen Teilen der Bergbaugebiete mittlere Radonkonzentrationen gemessen wurden, die zwar über den für große Gebiete Nord- und Mitteldeutschlands charakteristischen Aktivitätswerten von 10 bis 15 Bq/m³ liegen, die aber auch in den Gebieten ohne bergbaulichen Einfluss in ähnlicher Höhe festgestellt wurden und deshalb offensichtlich z. T. natürlichen Ursprungs sind. Bergbaubedingt erhöhte Konzentrationen treten in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, an großen Halden oder an industriellen Absetzanlagen auf. Durch Messungen wurde bestätigt, dass die Radonkonzentration in der bodennahen Luft mit zunehmender Entfernung von bergbaulichen Anlagen, aus denen Radon freigesetzt wird, rasch abnimmt. Über dem regionalen natürlichen Niveau liegende Radonkonzentrationen treten nur in einem eng begrenzten Gebiet um die bergbaulichen Anlagen auf.

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

Aus den in der Umgebung gemessenen Radonkonzentrationen ergibt sich eine Strahlenexposition, bei der nicht zwischen Beiträgen von bergbaulichen Anlagen und von natürlicherweise aus Böden und Gesteinen freigesetztem Radon unterschieden werden kann. Da die natürlicherweise auftretenden Konzentrationen vor Inbetriebnahme der Bergbaubetriebe nicht gemessen worden sind, kann der Nachweis, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Strahlenexposition eingehalten wurden, nur durch Berechnung aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe erbracht werden. Diese Berechnungen ergaben, dass durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern nur Strahlenexpositionen unterhalb des zulässigen Grenzwertes resultieren.

Unter Annahme der Nutzung der großen Vorfluter zur Trinkwassergewinnung ergibt sich theoretisch eine effektive Jahresdosis von 0,001 bis 0,02 mSv pro Jahr. Da das Wasser der Vorfluter jedoch nicht direkt zur Trinkwassergewinnung dient, sondern nur aufbereitetes Wasser oder Uferfiltrat gewonnen wird, können aus den Ableitungen keine Schlüsse auf real stattfindende Expositionen gezogen werden.

TEIL III

BERUFLICHE STRAHLENEXPOSITION

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

1. PERSONENDOSISMESSUNGEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

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 auf Grund § 62 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) oder des § 35 der Röntgenverordnung (RöV). Soweit bei diesen Personen nur die Möglichkeit der Strahlenexposition von außen, also nicht durch Inkorporation radioaktiver Stoffe, besteht, geschieht die Strahlenschutzüberwachung überwiegend mit Hilfe von Personendosismessungen. Dazu werden Personendosimeter von den sechs in den Bundesländern nach Landesrecht zuständigen Personendosismessstellen ausgegeben und ausgewertet. Die amtlichen Personendosimeter sind in der Regel Filmplaketten. Für die Überwachung nach der StrlSchV werden in geringer Anzahl auch Radiophotolumineszenzdosimeter (Glasdosimeter) und Albedodosimeter ausgegeben.

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

1.2 Übersicht über alle beruflich strahlenexponierten Personen

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

Tabelle 1 Überwachung mit amtlichen Personendosimetern im Jahr 1999, Anzahl der überwachten Personen und Betriebe, Anteile im medizinischen Arbeitsbereich

Bundesland	Überwachte Personen		Überwachte Betriebe	
	Gesamt	Medizin	Gesamt	Medizin
Brandenburg	5434	4381	420	314
Berlin	17000	12988	1261	936
Baden-Württemberg	48512	32293	3813	2999
Bayern	60278	43630	4582	3933
Bremen	3313	2704	288	228
Hessen	26558	18427	1925	1498
Hamburg	11325	6188	822	574
Mecklenburg-Vorpommern	5479	3738	347	270
Niedersachsen	29757	22567	2534	2115
Nordrhein-Westfalen	72628	58194	6125	5231
Rheinland-Pfalz	15021	12348	1087	941
Schleswig-Holstein	10996	8565	1042	877
Saarland	4929	4418	458	395
Sachsen	10865	8657	835	608
Sachsen-Anhalt	6795	5720	479	351
Thüringen	5561	5001	375	311
Summe 1999	334451	249819	26393	21581
Anteil Medizin		74,7%		81,8%
Summe 1998	331365	243961	26707	21942
Anteil Medizin		73,6%		82,2%
Änderung gegenüber 1998	0,9%	2,4%	-1,2%	-1,6%

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 1999

Bundesland	Personendosis >25 mSv / Vierteljahr			Personendosis >50 mSv/ Jahr		
	Arbeitsbereich			Arbeitsbereich		
	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin	Gesamt	Medizin	Nicht-Medizin
Baden-Württemberg	0	0	0	0	0	0
Bayern	0	0	0	0	0	0
Berlin	0	0	0	0	0	0
Brandenburg	0	0	0	0	0	0
Bremen	0	0	0	0	0	0
Hamburg	0	0	0	0	0	0
Hessen	2	1	1	0	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	1	1	0	1	1	0
Niedersachsen	0	0	0	0	0	0
Nordrhein-Westfalen	0	0	0	0	0	0
Rheinland-Pfalz	1	1	0	0	0	0
Saarland	0	0	0	0	0	0
Sachsen	0	0	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	1	1	0	1	1	0
Schleswig-Holstein	0	0	0	0	0	0
Thüringen	1	1	0	0	0	0
Summe 1999	6	5	1	2	2	0
Bezogen auf Überwachtenzahl 1999 (in Promille)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-
Summe 1998	33	24	9	3	2	1
Bezogen auf Überwachtenzahl 1998 (in Promille)	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01

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

Die Zusammenstellung über die Fälle erhöhter Personendosis (Tabelle 2) gibt nur Aufschluss über den Stand der Einhaltung der Grenzwerte nach Strahlenschutz- und Röntgenverordnung. Ein quantitatives Bild der Strahlenexposition vermitteln die Häufigkeitsverteilungen der Jahrespersonendosen. Die Jahrespersonendosis ist die Jahressumme der den Einsendern der Dosimeter mitgeteilten monatlichen Personendosiswerte einer Person. Die Dosisanteile durch natürliche Strahlenexposition sind bereits subtrahiert. In der Tabelle 3 ist jeweils für den medizinischen und nichtmedizinischen Arbeitsbereich die relative Anzahl von Personen angegeben, für die während des ganzen Jahres keine 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 13 % aller mit Personendosimetern überwachten Personen verteilte.

Tabelle 3 Kumulative Häufigkeitsverteilung der Jahrespersonendosen im Jahr 1999

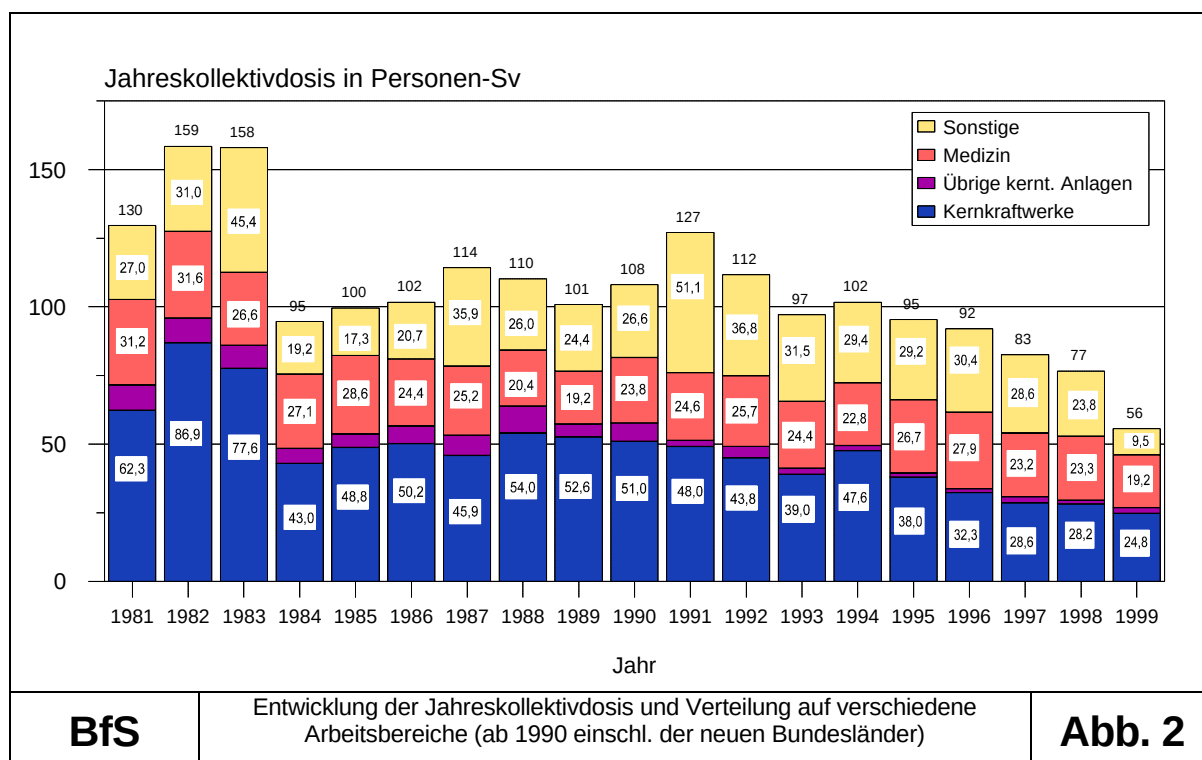
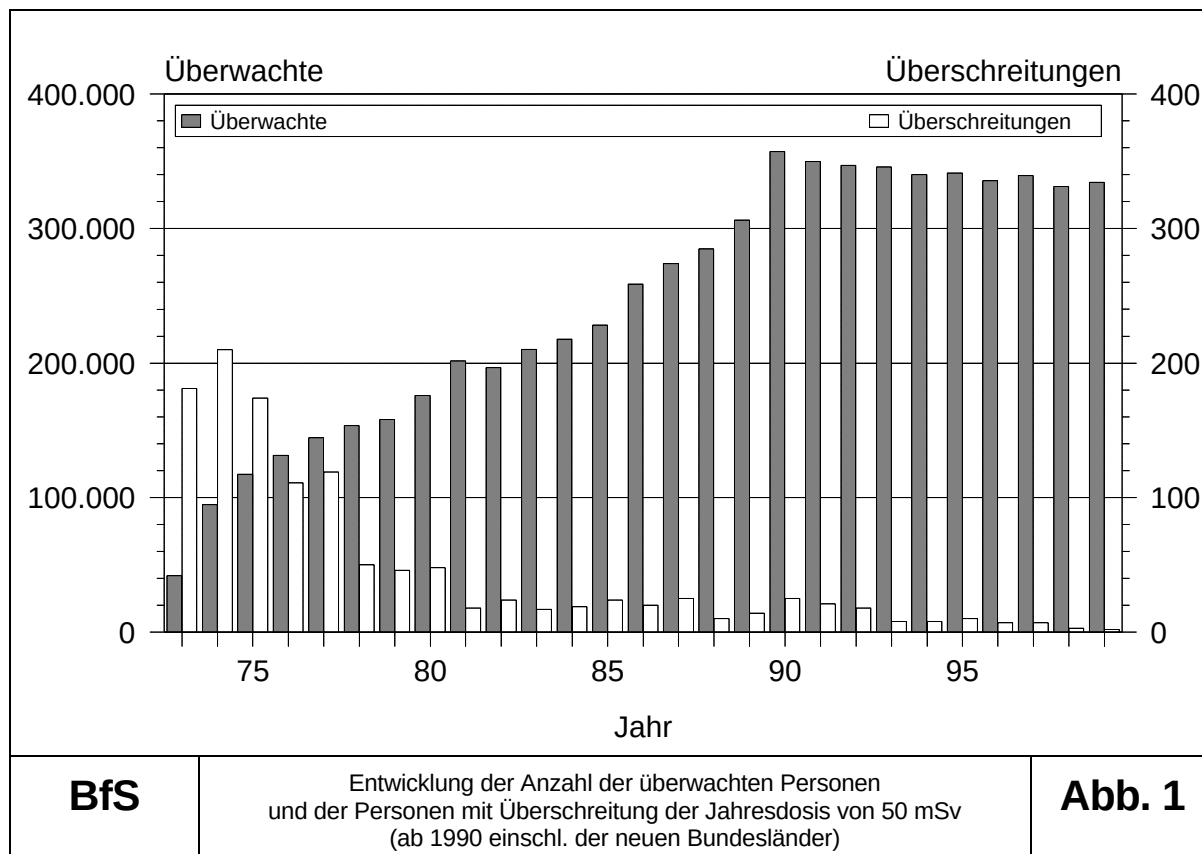
Arbeitsbereich	Überwachte Personen	Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		0 mSv	>0 mSv	>0,2 mSv	>0,4 mSv	>1,0 mSv	>2,0 mSv	>5,0 mSv	>10,0 mSv
Medizin	249819	901	99	54	37	18	8	1,4	0,3
Nichtmedizin	84632	783	217	159	131	91	59	23	7
Gesamt	334451	871	129	81	61	36	21	7	1,9
		Anteil der Überwachten (Promille) mit Jahresdosen von:							
		>15 mSv	>20 mSv	>25 mSv	>30 mSv	>35 mSv	>40 mSv	>45 mSv	>50 mSv
Medizin		0,09	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Nichtmedizin		1,7	0,39	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Gesamt		0,5	0,13	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

Die Häufigkeitsverteilungen der Jahresdosiswerte werden zur Berechnung zweier Kenngrößen der beruflichen Strahlenexposition herangezogen. Tabelle 4 enthält Angaben aus den letzten Jahren über die mittlere Jahrespersonendosis pro überwachter Person und die Jahreskollektivdosis aller mit Personendosimetern überwachten Personen. Die mittlere Jahrespersonendosis betrug 1999 0,17 Millisievert. Die gegenüber dem nichtmedizinischen Bereich niedrigeren Mittelwerte des medizinischen Bereichs sind im Wesentlichen auf den höheren Anteil von Personen zurückzuführen, die zwar einer regelmäßigen Überwachung unterliegen, jedoch praktisch keine Strahlenexposition erhalten. Die Jahreskollektivdosis ist die Summe aller von den Messstellen gemeldeten Jahrespersonendosen. Sie ist gleich dem Produkt aus der mittleren Jahrespersonendosis und der Anzahl der Überwachten. Die Jahreskollektivdosis betrug 1999 höchstens 55,6 Personen-Sv. Da Personen mit wechselndem Arbeitsplatz häufig mit mehr als einem amtlichen Personendosimeter ausgestattet werden, ist die errechnete Jahreskollektivdosis höher als die tatsächliche Jahreskollektivdosis. Der mitgeteilte Wert stellt deshalb eine obere Abschätzung der Jahreskollektivdosis dar. Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition zur effektiven Dosis der Bevölkerung belief sich daher auch 1999 auf weniger als 0,01 Millisievert.

Tabelle 4 Mittlere Jahrespersonendosis und Jahreskollektivdosis der mit Personendosimetern überwachten Personen

Arbeitsbereich	Medizin		Nichtmedizin		Gesamt	
	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv	Mittl. Jahresdosis pro Person in mSv	Jahreskollektivdosis Personen-Sv
1991	0,11	25	0,89	103	0,36	127
1992	0,11	26	0,77	86	0,32	112
1993	0,10	24	0,66	73	0,28	97
1994	0,10	23	0,75	79	0,30	102
1995	0,11	27	0,69	69	0,28	95
1996	0,12	28	0,66	64	0,27	92
1997	0,10	23	0,61	59	0,24	83
1998	0,09	23	0,45	40	0,19	62
1999	0,08	19	0,43	36	0,17	56

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



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 zu Grunde. Für die Leichtwasserreaktoren (Druck- und Siedewasserreaktoren mit mehr als 200 MW elektrischer Leistung), für die Versuchs- und Prototypreaktoren sowie für die Brennelementfertigung und Wiederaufarbeitung 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

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv)	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	20	33666	27906	48,0	38,5
1992	20	34285	28475	43,8	37,0
1993	20	37980	30544	39,0	32,7
1994	20	35068	29002	47,6	42,0
1995	20	31525	25489	38,0	32,0
1996	19	31937	25785	32,3	27,5
1997	19	29780	23771	28,6	25,0
1998	19	30207	24306	28	24
1999	19	28790	22066	25	21

Tabelle 6 Berufliche Strahlenexposition bei der Brennelementherstellung und Wiederaufarbeitung

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv) durch Photonen	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	6	4024	2479	2,0	0,7
1992	6	4677	3250	2,0	0,9
1993	7	6241	3923	1,7	1,0
1994	7	3965	2011	1,0	0,4
1995	8	2783	1508	0,5	0,2
1996	6	1873	853	0,4	0,1
1997	6	1989	1066	0,5	0,2
1998	6	1991	1173	0,8	0,5
1999	6	1338	773	0,3	0,1

Tabelle 7 Berufliche Strahlenexposition beim Betrieb von Versuchs- und Prototypreaktoren

Jahr	Zahl der Anlagen	überwachte Personen		Kollektivdosis (Personen-Sv)	
		gesamt	davon Fremdpersonal	gesamt	davon Fremdpersonal
1991	8	1586	687	0,3	0,2
1992	8	2840	1259	0,6	0,2
1993	8	1381	888	0,6	0,2
1994	9	1399	760	0,7	0,3
1995	8	2192	1175	0,6	0,3
1996	9	2188	1252	0,5	0,2
1997	10	2247	1284	0,7	0,4
1998	8	2082	1159	1,2	0,6
1999	10	2366	1347	1,1	0,6

1.4 Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte in den neuen Bundesländern

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Angewandten Strahlenschutz

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

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

1999 wurde diese Überwachung bei ca. 2 200 Personen vorgenommen, von denen mehr als 75 % Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführen. Mehr als die Hälfte der Beschäftigten der Wismut GmbH wurde 1999 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 1999 einschließlich der Exposition durch langlebige α -Strahler und äußere Bestrahlung ca. 5,1 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 3,2 Personen-Sv ergeben. Im nachfolgenden Text werden die auf dieser Grundlage berechneten Dosisangaben in eckige Klammern gesetzt. Auf die Beschäftigten der Wismut GmbH entfielen 2,6 Personen-Sv [1,9 Personen-Sv] (Abbildung 2). Bei diesen Beschäftigten wurde auch die Exposition durch Inhalation langlebiger α -Strahler aus der Uran/Radium-Zerfallsreihe und durch Photonenstrahlung messtechnisch erfasst. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte (Abbildung 3) liefern diese Expositionsarten im Allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der bei den Dosisberechnungen pauschal mit insgesamt 10 % der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Im Jahr 1999 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchste ermittelte effektive Jahresdosis eines einzelnen Beschäftigten betrug 36,6 mSv [19,3 mSv].

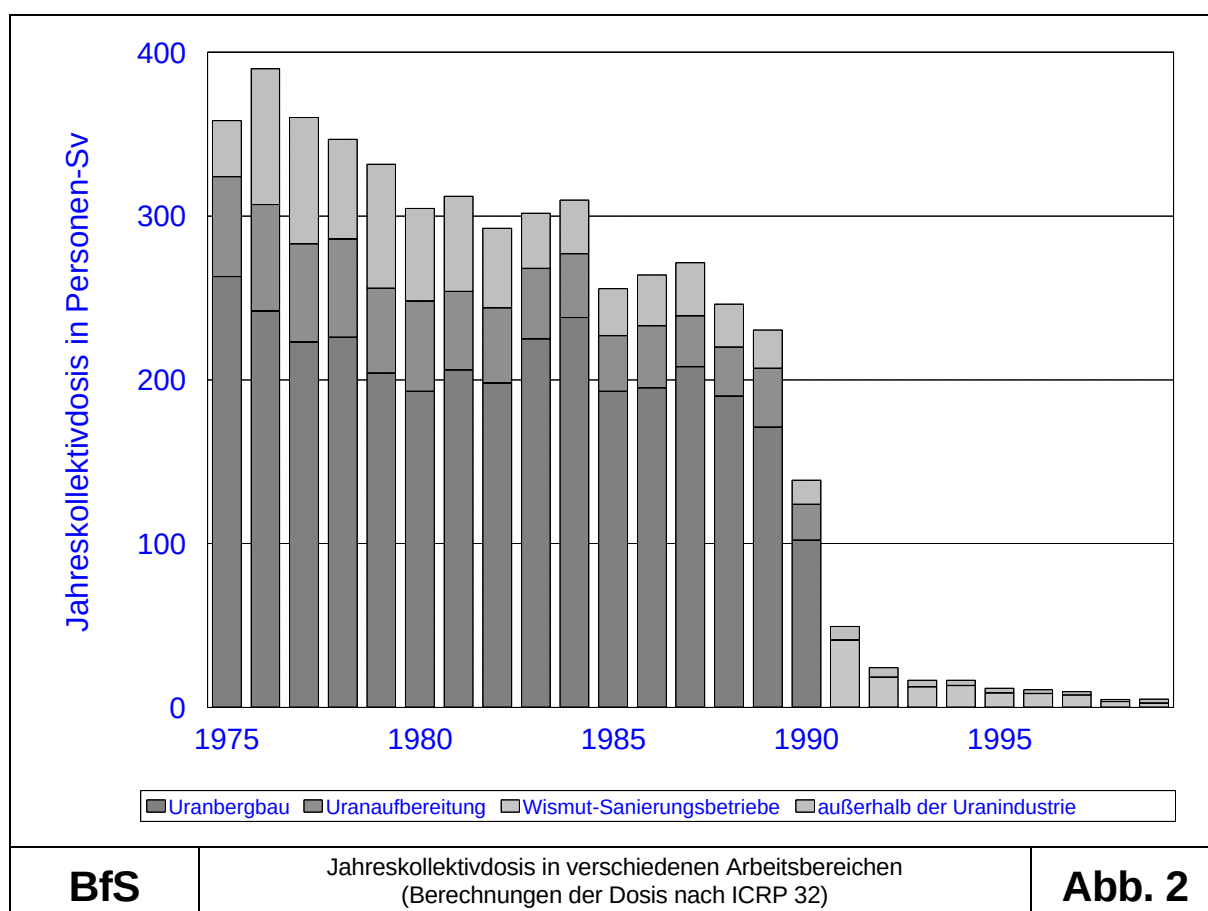
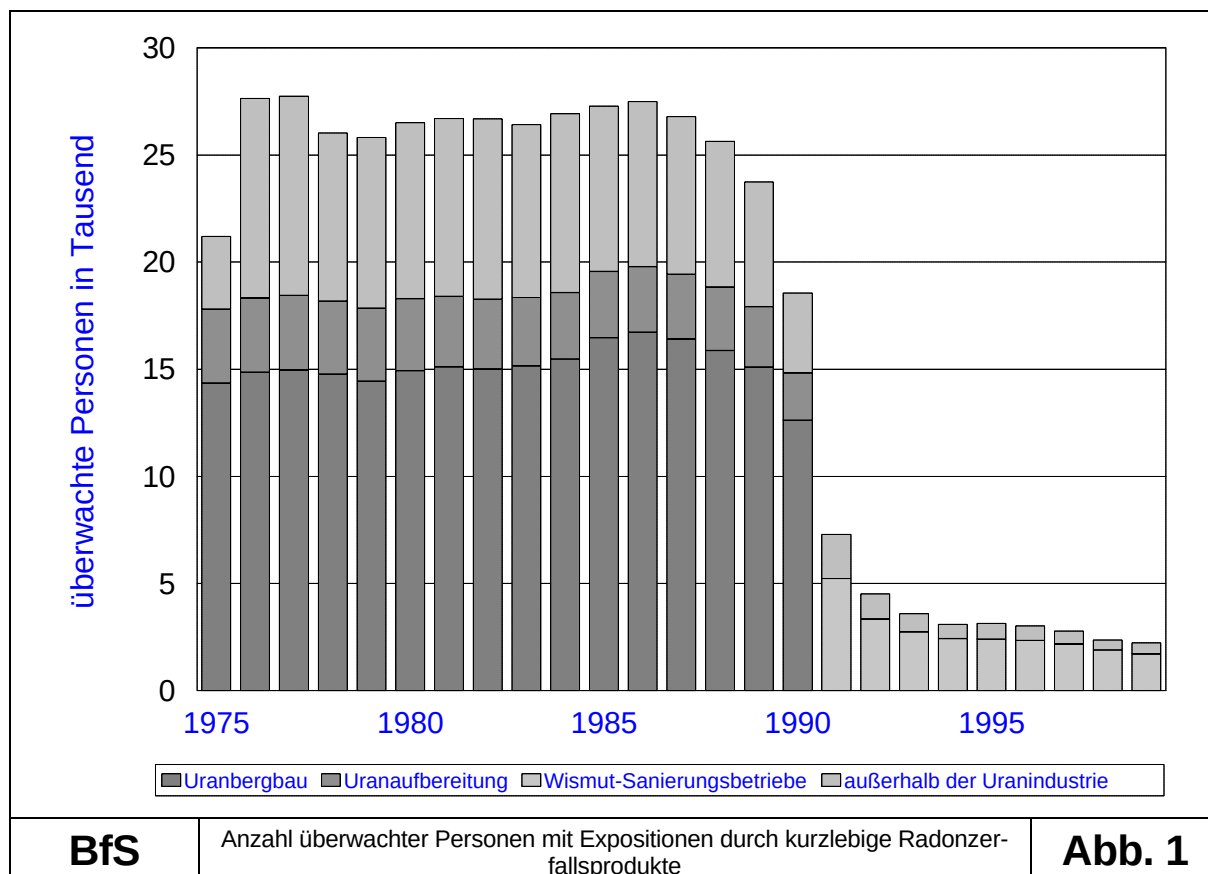
Die mittlere effektive Jahresdosis aller überwachten Personen, die durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponiert waren, betrug 2,27 mSv [1,42 mSv] und lag damit weit unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 50 mSv pro Jahr. Sie ist für einzelne Arbeitsbereiche ab 1975 in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Die höchste mittlere effektive Jahresdosis ergab sich für die Beschäftigten bei Förderung und Sanierung im Nichturanbergbau mit 6,0 mSv (3,0 mSv), gefolgt von den Beschäftigten in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 5,9 mSv (3,0 mSv), in technisch-wissenschaftlichen Einrichtungen und in Radiumbädern mit 3,9 mSv (2,0 mSv), in Bergsicherungsbetrieben mit 3,8 mSv (1,9 mSv), in Wasserwirtschaftsbetrieben mit 3,0 mSv (1,5 mSv) und in der Wismut GmbH mit 1,5 mSv (1,1 mSv).

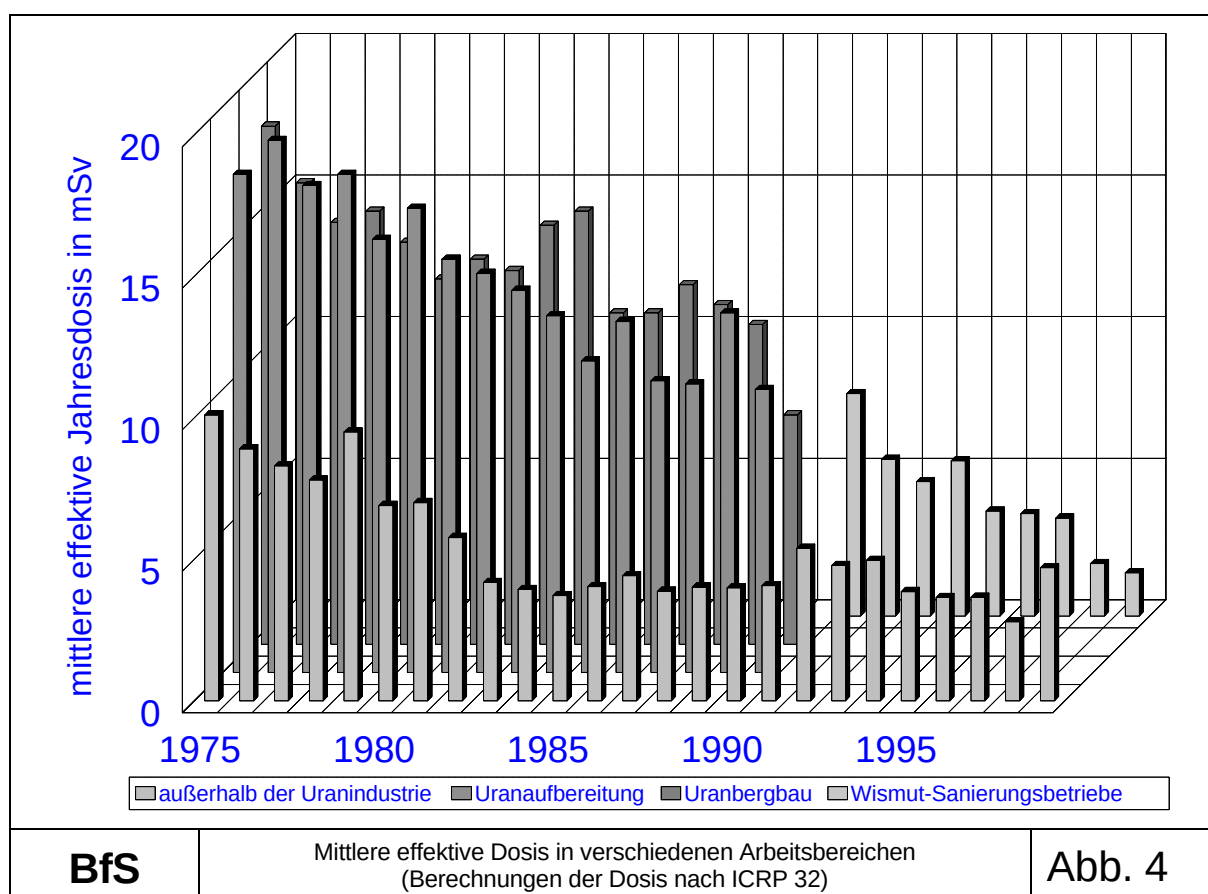
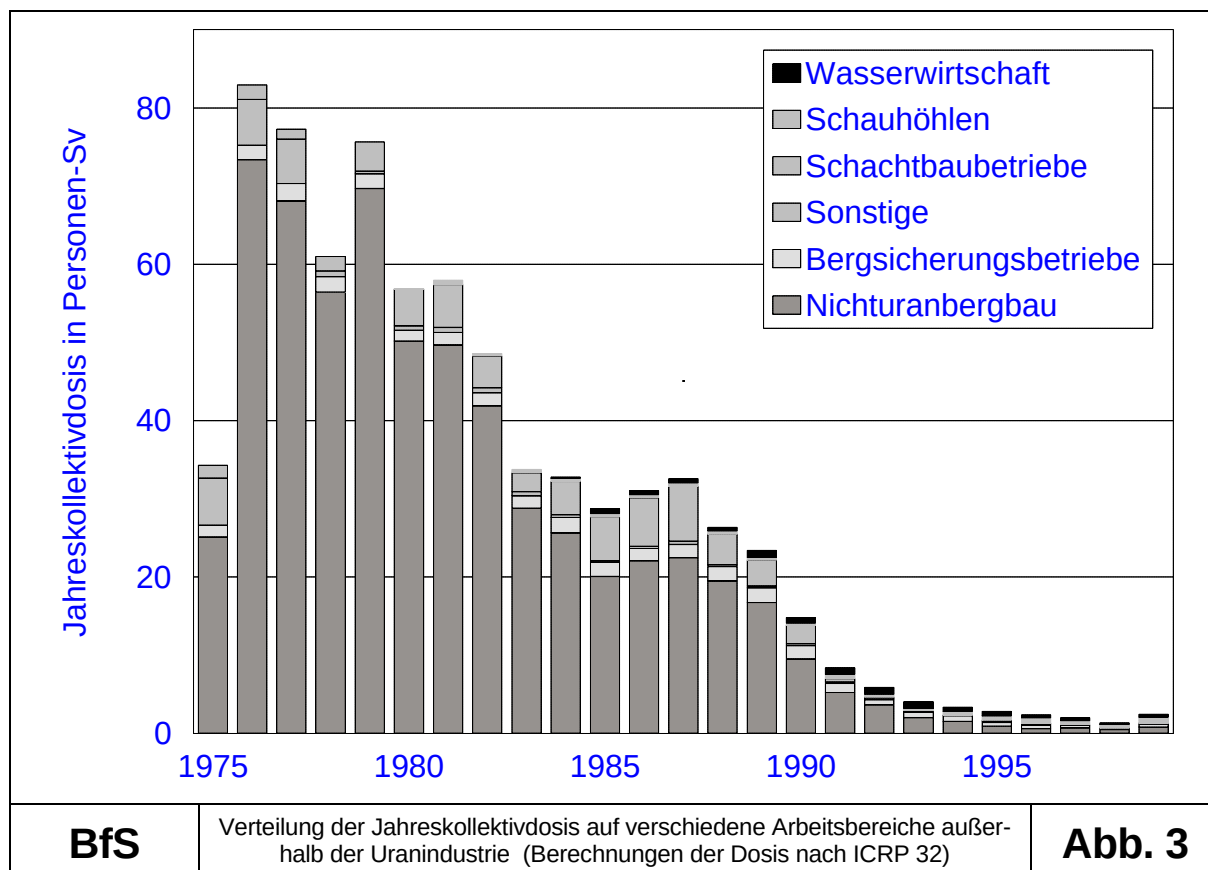
Bemühungen der Strahlenschutzverantwortlichen/Strahlenschutzbeauftragten und der zuständigen Behörden um eine ständige Verbesserung des Strahlenschutzes am Arbeitsplatz finden seit Jahren ihren Ausdruck in den sinkenden Tendenzen der Kollektivdosis und der mittleren effektiven Jahresdosis, wie sie aus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

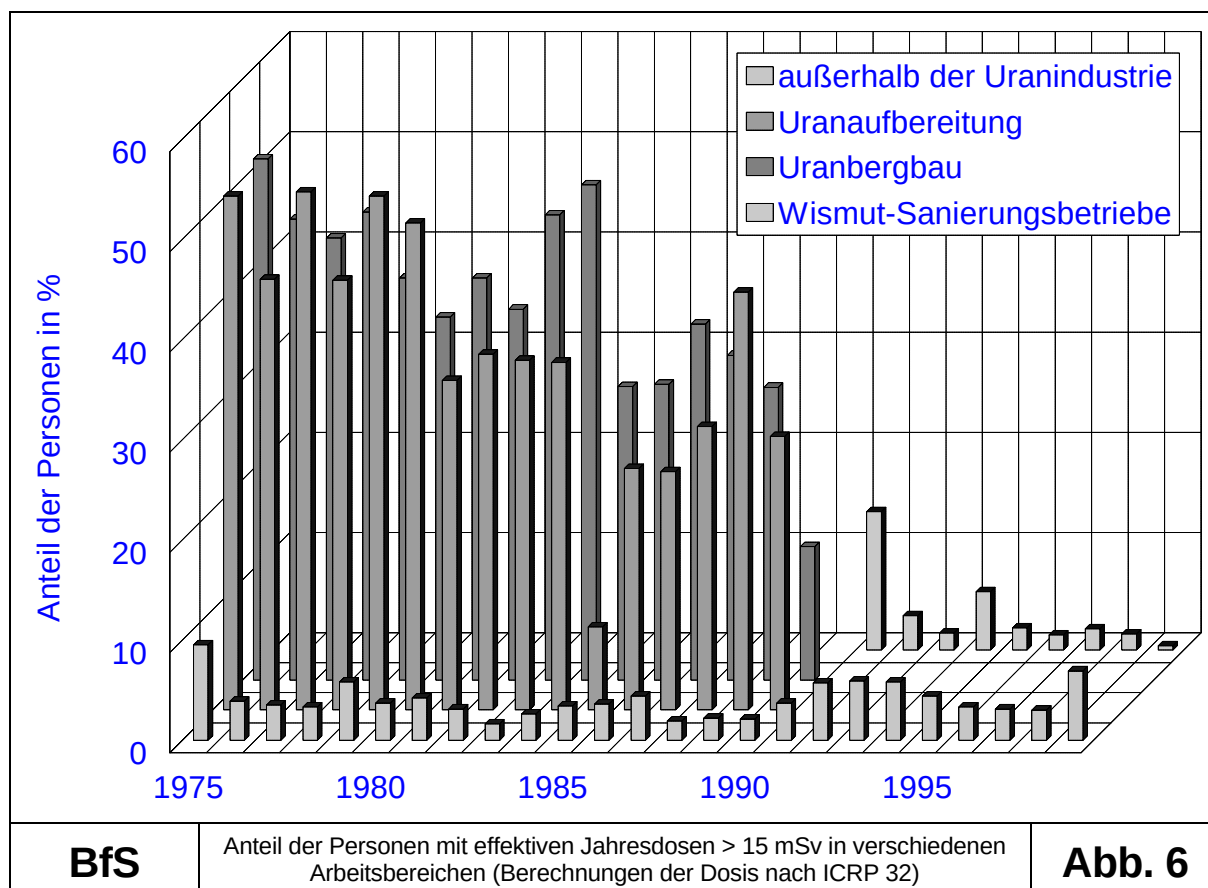
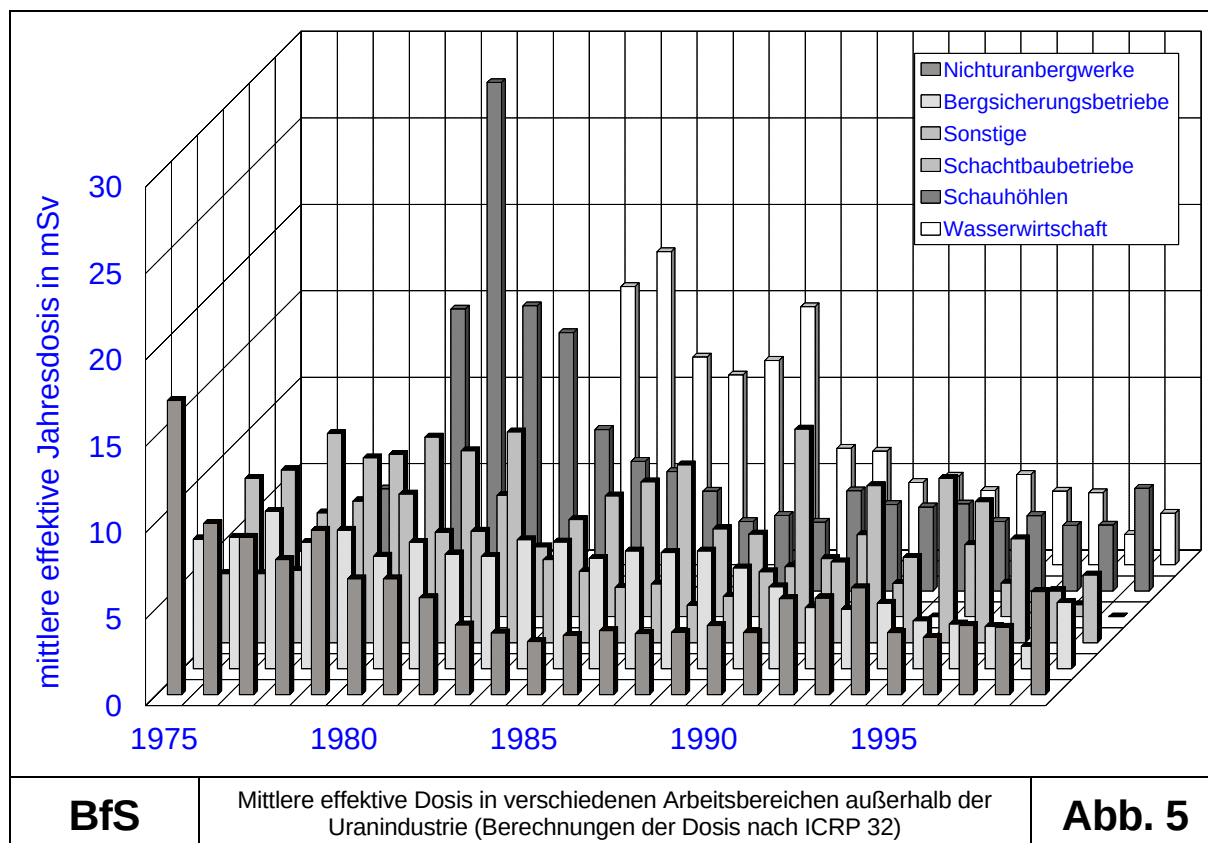
Insbesondere nach 1990 spielte bei der Reduktion der Kollektivdosis allerdings auch die stark fallende Anzahl überwachter Personen mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte eine wesentliche Rolle (s. Abbildungen 1, 2 und 3).

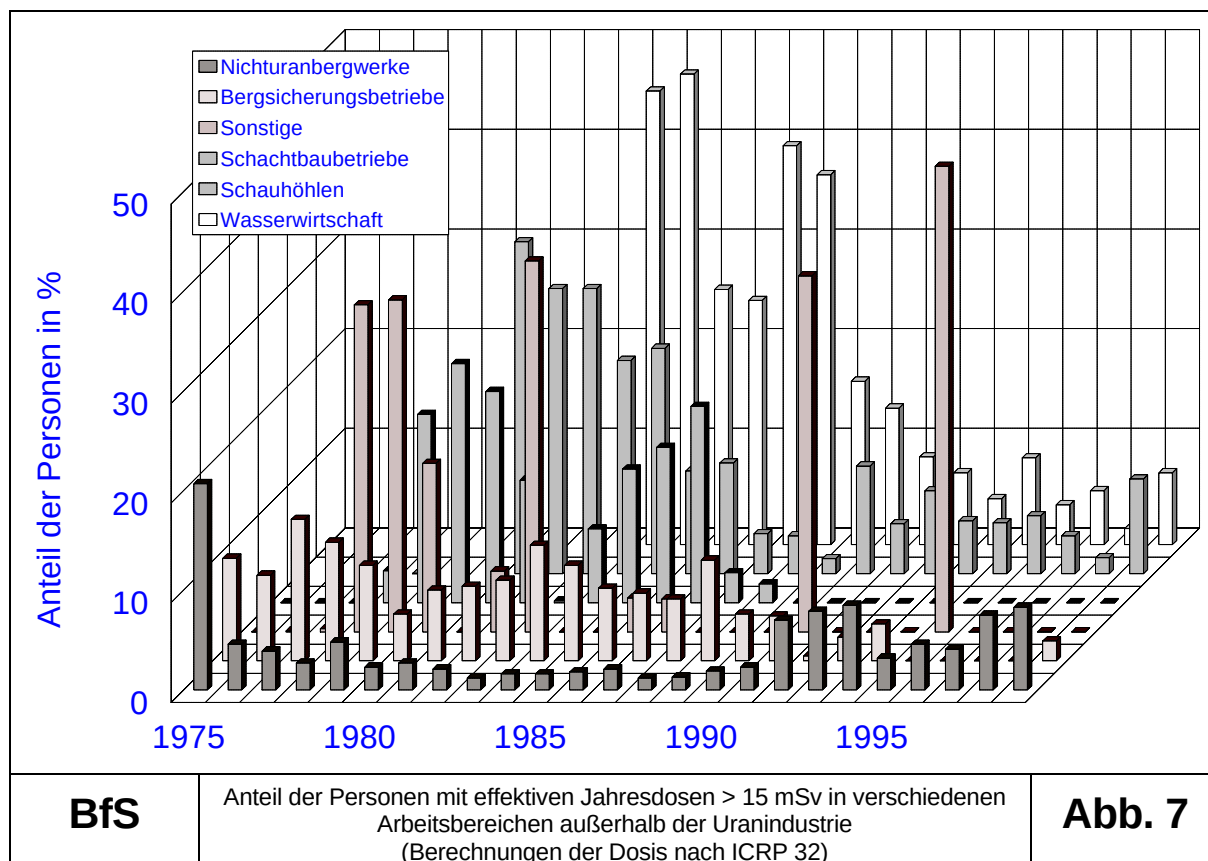
Der Anteil von Strahlenexponierten mit einer individuellen effektiven Jahresdosis von mehr als 15 mSv (Grenzwert für strahlenexponierte Personen der Kategorie B) betrug 1999 in den Wismut-Sanierungsbetrieben 0,4 % und außerhalb der Uranindustrie 6,9 %. Die insgesamt 42 derartig exponierten Beschäftigten (1,9 % aller Überwachten) lieferten einen Beitrag von 18,1 % zur Kollektivdosis. Die 83 Beschäftigten (3,7 %) mit einer nach ICRP-65 ermittelten jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv (wahrscheinlicher zukünftiger Richtwert für Anzeige und Einbeziehung in die Überwachung der beruflich durch Radon und Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen in Arbeitsfeldern außerhalb der Uranindustrie) lieferten einen Beitrag von 24,3 % zur Kollektivdosis. Weitere Einzelheiten über die entsprechenden Anteile in den verschiedenen Arbeitsbereichen sind den Abbildungen 6 und 7 zu entnehmen.

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









1.5 Strahlenexposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

Eine Komponente der natürlichen Strahlenexposition ist die Höhenstrahlung. Höhenstrahlung besteht zum einen aus der primären kosmischen Strahlung und zum anderen aus Sekundärstrahlung infolge der Wechselwirkung mit der Atmosphäre. Der Beitrag der Höhenstrahlung zur gesamten natürlichen Strahlenexposition von im Mittel 2,4 mSv pro Jahr beträgt in Meereshöhe etwa 0,3 mSv pro Jahr und nimmt mit steigender Höhe zu. Flugpersonal und Passagiere sind daher während eines Fluges einer höheren natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt als Personen am Boden. Die genaue Höhe der Strahlenexposition hängt ab von der Reiseflughöhe und der Flugdauer sowie von der geomagnetischen Breite und der Sonnenaktivität.

Für die durch kosmische Strahlung verursachte Strahlenexposition des Flugpersonals ist das Strahlungsfeld in Höhen zwischen etwa 10 km und 14 km wichtig. Das Strahlungsfeld ist komplex zusammengesetzt. Es besteht zu einem geringen Anteil aus der primären Komponente der kosmischen Strahlung, die aus dem Weltraum auf die Erde trifft. Den größeren Anteil bilden sekundäre Teilchen, die in Wechselwirkungen der primären Teilchen mit den Atomen der Lufthülle erzeugt werden. Während die primäre Komponente im Wesentlichen aus hochenergetischen Wasserstoff- und Heliumkernen besteht, setzt sich die sekundäre Komponente hauptsächlich aus Elektronen, Photonen, Neutronen, Mesonen, Myonen und sekundären Protonen zusammen. Während der Dauer eines Fluges kann das Strahlungsfeld insgesamt, von selten auftretenden solaren Teilchenereignissen abgesehen, als konstant angesehen werden. In Abhängigkeit von der Sonnenaktivität kann sich jedoch die Strahlenbelastung je nach Höhe bis zu einem Faktor 2 innerhalb einiger Jahre ändern.

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

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

2. INKORPORATIONSÜBERWACHUNG

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg

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

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

Ganzkörpermessungen

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

Ausscheidungsmessungen

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

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

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

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

3. MELDEPFLICHTIGE BESONDERE VORKOMMNISSE

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

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 1999 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 im Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 1999

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
04.01.99	Fund einer Bohrlochsonde mit Strahler (Cs-137 2,22 GBq) in einer Kupferschrottlieferung aus dem Ausland bei einer Logistikgesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt, Strahler im Abschirmbehälter vorgefunden	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.01.99	Abgabe eines Radium-Emanators (Ra-226 ca. 40 kBq) bei einem Gesundheitsamt	Unzulässige Lagerung in einem Privathaus	Dosisleistung am Daueraufenthaltsplatz 35 µSv/a	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.01.99	Verlust eines Strahlungsmessgerätes mit Prüfstrahler (Sr-90/Y-90 ca. 5,7 MBq) aus einem Dienst-Pkw	Diebstahl des auf dem Rücksitz befindlichen Messgerätes	Keine	Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen erfolglos; disziplinarische Maßnahmen
19.01.99	Verkehrsunfall eines LKW mit radioaktiven Versandstücken für die Medizin (2 Mo-99/Tc-99m-Generatoren 6,45 und 21,5 GBq)	Missglücktes Ausweichmanöver	Keine, Versandstücke nicht beschädigt	
20.01.99	Fund eines Schulquellensatzes (Na-22 37 kBq; Co-60 0,37 MBq; Kr-85 185 kBq; Cs-137 185 kBq) in einer Kleingartenanlage	Unzulässige Lagerung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
21.01.99	Feststellung geringfügiger Kontaminationen (Co-57 max. 4 Bq/cm ²) im Labor- und Außenbereich einer technischen Beschleunigeranlage und im Wohnbereich einer Mitarbeiterin (>0,5 Bq/cm ² Gegenstände und Kleidung)	Ungenügende Sorgfalt	Ausscheidungsanalyse und Dosimeterauswertung ergaben eine Strahlenexposition einer Mitarbeiterin von weniger als 2 mSv/a	Sperrung der Laborräume, Dekontamination der Kleidung und der Laborräume, Abtrag von Erdbereich im Außenbereich
28.01.99	Fund schwach radioaktiver Abfälle (kurzlebige Radionuklide) aus einer nuklearmedizinischen Praxis in einem Hausmüllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, behördliche Maßnahmen gegen Verursacher
02.02.99	Fund eines Metallbehälters mit drei Prüfstrahlern aus der Strahlentherapie (1 Cs-137 925 kBq, 2 Ra-226 2,2 MBq) im Schreddergut bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt, Strahler unverseht im Behälter	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.02.99	Fund eines Radiumkissens (Ra-226 ca. 7,4 MBq)	Unbekannte Herkunft	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.02.99	Fund von fünf Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 mit je 0,6 MBq) und mehreren Ampullen Übungsstaub (P-32, Eu-152, Ba-133)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.02.99	Fund radioaktiver Stoffe (Tc-99m 37 MBq) in einem Müllfahrzeug in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
15.02.99	Verlust von zwei Strahlern (Cs-137 130 und 290 MBq) einer Füllstandsmessanlage in einem Chemiebetrieb bei Umbauarbeiten	Ungenügende Kontrolle, unbemerkte Abgabe in den Schrott	Einschmelzen der Strahler, Kontamination des Filterstaubs (250 µSv/h)	Ordnungsgemäße Entsorgung des Filterstaubs, staatsanwaltschaftliche Ermittlungen
16.02.99	Fund von zwei Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 je 0,6 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.02.99	Fund eines Messgerätes mit Prüfstrahler (Ra-226 1,26 MBq) in einer Arztpraxis	Unzulässige Lagerung	Keine Kontaminationen, Dosisleistung 0,2 µSv/a	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.02.99	Fund von 3 Strahlenschutzbehältern mit zwei Strahlern (Cs-137 max. 20 mSv/h, Co-60 max. 940 µSv/h) einer Dichtemess-einrichtung bei Aufräumarbeiten	Mangelhafte Bestandskontrolle, Gerät in Vergessenheit geraten	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
24.02.99	Fund eines innen kontaminierten Stahltores (Pb-210 900 Bq) in einem ehemals von der Polizei genutzten Gebäude	Unzureichende Räumung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.02.99	Verbleib einer Neutronenquelle (Cf-252 73 MBq) in einem Bohrloch in ca. 25 m Tiefe bei Drucksondierung in einem Tagebaurestloch	Abbruch des Sondiergestänges	Keine, belegt durch TÜV-Gutachten	Veranlassung konstruktiver Veränderungen durch die Herstellerfirma, erforderliche Prüfung der Sondiergestänge auf Risse vor weiteren Einsätzen
05.03.99	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90 0,6 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.03.99	Verkehrsunfall eines LKW mit radioaktiven Versandstücken für die Medizin (TI-204)	Unfallursache nicht geklärt	Keine, Versandstücke nicht beschädigt	
09.03.99	Übergabe eines leeren Metallbehälters mit der Aufschrift "Radium" (19 µSv/h) an die Polizei nach Kauf auf einem Trödelmarkt	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Behälter diente in der Medizin der Aufnahme von radiumhaltigen Substanzen und Flüssigkeiten vor ca. 80 - 100 Jahren
09.03.99	Beseitigung fester radioaktiver Abfälle (H-3 40 kBq) über den Hausmüll aus einer Klinik durch Reinigungskräfte	Unzulässige Entsorgung, unterlassene Einweisung	Keine, zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung bei Verbrennung deutlich weniger als 0,1 µSv	Organisatorische Maßnahmen
10.03.99	Freisetzung von Kr-85 (ca. 80 GBq) durch Abluftsystem über dem Dach bei einem Leuchtmittelhersteller	Undichtiges Absperrventil einer Stahlflasche	Keine, da Freisetzung über Abluftsystem, für Betasubmersion von Personen in der Nachbarschaft ca. 0,1 µSv abgeschätzt	Umfüllen der Restmenge in eine dichte Flasche
11.03.99	Fund von fünfzehn Ionisationsrauchmeldern (Pu-239 je 3 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.03.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241) in einem Hotel	Diebstahl	Keine	Straftat aufgeklärt, Ionisationsrauchmelder unverseht sichergestellt
15.03.99	Fund von fünf Strahlern (2 Sr-90 je 0,6 MBq, 3 Ra-226 je 0,3 MBq) bei Sanierungsarbeiten	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.03.99	Fund einer tritiumhaltigen Cholesterolverbindung (H-3 ca. 10 MBq) in einem verschlossenen Lagerraum eines Krankenhauses	Unterlassene Entsorgung bei Schließung eines Krankenhausbereiches	Keine, Originalverpackung unverseht	Ordnungsgemäße Entsorgung, Auswertung des Vorfalls mit den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
19.03.99	Verlust von vier umschlossenen Strahlern (Am-241 3,7 MBq; Fe-55 0,37 MBq; 0,395 MBq; 6,6 MBq) und zwei offenen Freigrenzpräparaten (Mischpräparate Am, Pu, Cm) in einem Labor einer Universität	Mangelhafte Bestandskontrolle	Gefährdungspotential gering	Maßnahmen zur Sicherstellung einer lückenlosen Bestandskontrolle
19.03.99	Fund eines Messinstruments und eines Schaltelements (Ra-226 je 0,3 MBq)	Unzureichende Entsorgung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.03.99	Fund von vier Strahlern (Sr-90 max. 2 mSv/h) in einer fabrikneuen Flächen-dichtemesseinrichtung im Abrissgebäude eines Betriebes	Mangelhafte Bestandskontrolle, Gerät in Vergessenheit geraten	Keine, Strahler waren ordnungsgemäß in Transportbehältern verpackt	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.03.99	Störung bei der Strahler-rückführung (Co-60) an einer medizinischen Gam-mabestrahlungsanlage	Unsachgemäße Befestigung eines Steuerungskabels	Strahlenexposition (je 20 µSv) von drei Mitarbeiterinnen bei Bergung der Patientin, geringfügige Überexposition der Patientin	Reparatur durch Servicefirma
28.03.99	Feststellung erhöhter Orts-dosisleistung (1,8 µSv/h) an der Außenfläche eines Eisenbahnwagens mit einer Schrottsendung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückführung des Wagens zum Absender
29.03.99	Feststellung von kontaminiertem Wasser (Sr-90 80 Bq/l) im Betonkammer-system eines stillgelegten Forschungsreaktors	Ursachenermittlung nicht abgeschlossen	Gefährdungspotential gering	Austausch des kontaminierten Wassers, Beprobung relevanter Bereiche in der unmittelbaren Umgebung und des Grundwassers
12.04.99	Fund von acht Ampullen Übungsstaub (P-32, Eu-152, Ba-133), eines Prüfstrahlers (Sr-90/Y-90 0,6 MBq) und eines Messinstruments mit Strahler (Ra-226 0,3 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.04.99	Kontamination einer Dickenmessanlage beim Einsatz eines Strahlerstiftes (Pm-147 1 MBq) in einer Firma	Lösen der Klebestelle des Strahlerhalters in der Messvorrichtung, Kontamination durch Abrieb	Keine Kontamination außerhalb der Messvorrichtung, keine Inkorporation	Dekontamination der Messvorrichtung, Inkorporationskontrolle der Beschäftigten
13.04.99	Versagen des Endschalters nach der Strahler-rückführung an einem Afterloadinggerät (Ir-192 370 GBq)	Wärmeausdehnung eines Kunststoffzahn-rades des Antriebs	Keine, Strahler befand sich bereits im Gerät	Reparatur durch Servicefirma
13.04.99	Fund eines Prüfstrahlers (Co-60 0,18 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
15.04.99	Fund von acht Ringen von Armaturen mit Leuchtfarbe (Ra-226 ca. 2 MBq) in rückgeführter Schrottsendung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, siehe auch Vorkommnis vom 28.03.1999
15.04. bis 04.05.99	Feststellung von Kontaminationen (67 - 5000 Bq) auf Privatkleidung von Fremdpersonal bei Eingangs- bzw. Ausgangsmessungen in einem Kernkraftwerk		Gemessene Aktivitäten unterhalb der Freigrenzen der StrlSchV	Klärung der Ursache noch nicht abgeschlossen; Tragen privater Unterwäsche im Kontrollbereich untersagt; anlagen-spezifische organisatorische und technische Maßnahmen zur Verhinderung der Weiterverbreitung von Kontaminationen eingeleitet
19.04.99	Fund von zwei Prüfstrahlern (Sr-90/Y-90 je 0,6 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.04.99	Fund eines undichten Strahlers (Am-241) bei Aufräumarbeiten im Rahmen der Auflösung eines nuklearmedizinischen Labors	Mangelhafte Bestandskontrolle	Kontamination des Labors, Kontamination von Abfallfässern (50 Bq/cm ²), Inkorporation bei 12 Personen mit Dosen von weniger als 1 mSv bis ca. 30 mSv	Sperrung und Dekontamination des Labors, ordnungsgemäße Entsorgung des Strahlers, Inkorporationsmessungen bei 17 Personen, staatsanwaltschaftliche Ermittlungen
04.05.99	Bestrahlung von Beschäftigten bei zerstörungsfreier Werkstoffprüfung (Ir-192 315 GBq) in 4 bis 6 m Entfernung	Nichtabgrenzung des vorgeschriebenen Kontrollbereiches	Strahlenexposition der Beschäftigten durch Streustrahlung 40 - 60 µSv/h	Präventive Untersuchung durch Strahlenschutzarzt; Bußgeldverfahren gegen Prüffirma
10.05.99	Funktionsstörung an einem medizinischen Beschleuniger	Defekter Taster und fehlerhafter Schaltkreis im Sicherheitskreis	Fehlbestrahlung von 4 Patienten, keine akuten oder chronisch radio-genen Nebenwirkungen	Reparatur durch Servicefirma, Sachverständigenprüfung; Forderung an Hersteller, den systeminhärenten Fehler zu beseitigen; Information der Länderbehörden
10.05.99	Fund von Prüfstrahlern (Cs-137 1,1 MBq und H-3 4 kBq) in einem zur Verschrottung freigegebenen Flüssigkeitsszintillationszähler bei einer Rohstoffverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, organisatorische Maßnahmen bei Verursacher
Mai 1999	Verlust eines Prüfstrahlers (Pu-239 37 kBq)	Unzulässige Entsorgung mit Elektronikschrott	Gefährdungspotential gering	Ordnungswidrigkeitsverfahren
07.06.99	Fund offener radioaktiver Stoffe (C-14-Lösung 4,44 MBq) im Labor einer Behörde	Mangelhafte Bestandskontrolle	Gefährdungspotential gering, intakte Verpackung	Ordnungsgemäße Entsorgung, Verbesserung des organisatorischen Strahlenschutzes gefordert

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
09.06.99	Feststellung von Oberflächenkontaminationen (Cs-137 max. 74 Bq/cm ²) an einem aus dem Ausland zurückgesandten leeren Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente bei der Eingangskontrolle der Transportfirma	Unbekannt	Gefährdungspotential gering	Stopp des Rücktransports eines zweiten Behälters bis zur Ursachenklärung
09.06.99	Fund von Ra-226 (80 kBq)- bzw. H-3 (60 kBq)-haltigen Bauteilen von Vorschaltgeräten der Straßenlaternen und Zählerschränken für Nachtstromspeicherheizungen im Elektronikschrott bei einer Schrottrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Information der Länderbehörden nach Abschluss der Untersuchungen
14.06.99	Verlust eines im Schutzgehäuse befindlichen Strahlers (Cs-137 5,5 GBq) einer Dichtemesseinrichtung bei Aufräumarbeiten auf einem stillgelegten Wertgelände	Vermutlich mit Schrott entsorgt	Gefährdungspotential gering, solange der Strahler im Schutzgehäuse verbleibt	Polizeiliches Ermittlungsverfahren
01.07.99	Zerquetschen einer I-131-Ampulle (1GBq) durch die Tresortür bei der Vorbereitung einer Therapie in einer Klinik	Unachtsamkeit	Kontamination von Kleidung und Labor-tisch, Ausscheidungs-analyse und Schilddrüsenmessung ergaben keinen Nachweis einer Inkorporation	Dekontamination, Sonderbelehrung für das beruflich strahlenexponierte Personal der Klinik
07.07.99	Überrollen eines bei einem Transport verloren gegangenen Versandstücks mit 15 Tracerflaschen (I-125 Gesamtakt. <5,8 MBq) durch nachfolgende Fahrzeuge	Unachtsamkeit, offene Hecktür des Transportfahrzeuges	Keine, Aktivität blieb in der Verpackung	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.99	Fund eines radioaktiv kontaminierten Urinbeutels (Tc-99m), eines Urinbechers und eines I-125-Seeds (ca. 7,7 MBq) im konventionellen Abfall in einer Klinik	Ausscheidung eines Patienten nach einer nuklearmedizinischen Untersuchung und Ausscheidung eines implantierten Seeds außerhalb nuklearmedizinischer Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
14.07.99	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts eines Medizophysikers im Bestrahlungsraum einer Arztpraxis	Unachtsamkeit	Sofortiger Abbruch der Bestrahlung durch Bewegungsmelder; Abschätzung der Strahlenexposition des Medizophysikers max. 14 µSv	Auswertung in Strahlenschutzbelehrung, Aufnahme weiterer organisatorischer Maßnahmen in Strahlenschutzanweisung für das technische Personal

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
15.07.99	Fund von zwei Visiereinrichtungen mit Ra-226 (0,4 µSv/h) bei Abrissarbeiten in einem ehemaligen Panzerwerk und nachfolgender Fund weiterer 31 Visiereinrichtungen und deren Teile (max. 35,4 µSv/h)	Unterlassene Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.07.99	Fund von kontaminiertem Klinikmüll (I-131, Containeroberfläche max. 7,3 µSv/h) in einem Müllfahrzeug in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, behördliche Maßnahmen gegen Verursacher
22.07.99	Fund von Gegenständen mit Strahlenzeichen (Co-60 0,5 - 100 Bq) auf ehemaligem Flughafengelände	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.99	Fund von aktivierten Teilen eines medizinischen Linearbeschleunigers (Co-60 2,2 MBq) im Schrott	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung der radioaktiven Teile; künftig Kontrolle vor Abbau
28.07.99	Unkontrollierte Freisetzung von radioaktivem Kohlendioxid bei der Autoklavierung von C-14-markierten Rückständen (einige 10 Bq) in einem Isotopenlabor	Fehlbedienung des Autoklaven	Geringfügige Inkorporation eines Mitarbeiters, abgeschätzte Strahlenexposition kleiner als 1 µSv	Auswertung des Vorfalls mit allen Mitarbeitern des Isotopenlabors
28.07.99	Fund von zwanzig Elektronikbauteilen (Ra-226 je 2,22 kBq) im Recyclinghof der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
01.08.- 15.09.99	Verlust von 9,08 g Uranylacetat in einer stillgelegten Firma	Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung durch die Polizei im Abfall einer Apotheke am 23.11.1999
05.08.99	Fund von sieben Ionisationsrauchmeldern (Pu-239 je 3 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.08.99	Fund von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 2,66 MBq) in einem Container bei der Eingangskontrolle eines Altwarenhändlers	Existenz der in einer Zwischendecke eingebauten Rauchmelder war dem derzeitigen Mieter nicht bekannt	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, behördliches Ermittlungsverfahren
18.08.99	Fund einer radiometrischen Dichtemessanlage (Cs-137 1,1 GBq) und zweier Ionisationsrauchmelder (Am-241 je 18,5 kBq) im Brandschutt eines Polymerisationsbetriebes	Brand durch außer Kontrolle geratene Polymerisationsreaktion	Keine, Strahler waren unversehrt	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
18.08.99	Kontamination von Instrumenten und Katheter nach Explantation von in Kunststoffschläuche eingeschweißten Seeds (I-125 ca. 70-220 MBq) in der Strahlentherapie	Undichtheit von Seeds	Keine Kontamination des Patienten und des stereotaktischen Operationsplatzes	Seeds an Hersteller zur Überprüfung gesandt
23.08.99	Fund von kontaminiertem Müll in einem Hausmüllcontainer (I-131 Containeroberfläche max. 3,5 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.08.99	Fehlbestrahlung durch Verwechslung eines Patienten	Unzureichende Sorgfalt	Nach ärztlicher Auffassung keine Beeinträchtigung der Gesamtherapie durch die Fehlbestrahlung	Technische und organisatorische Verbesserungsmaßnahmen
25.08.99	Fund eines Strahlers in einem Kupferrohr (Ra-226 36 MBq) einer Kupferschrottladung aus dem Ausland bei einer Logistikgesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.08.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 2,66 MBq) in einer Sporthalle	Unbeabsichtigte Zerstörung, unzulässige Entsorgung mit dem Hausmüll	Gefährdungspotential gering	Neuinstallation eines Ionisationsrauchmelders mit Schutzgitter
31.08.99	Strahlenexposition von drei Mitarbeitern bei der Entladung eines Telekobaltgerätes	Bewegung des Quellenrades aus der Ruheposition nach erfolgter Trennung des Gerätes vom Netz	Strahlenexposition von drei Mitarbeitern zwischen 7 und 59 µSv	Zusätzliche mechanische Arretierung des Quellenrades vorgeschrieben
02.09.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders aus einem Verwaltungsgebäude (Ra-226 2,22 kBq)	Unzulässige Entsorgung während der Rekonstruktion des Gebäudes	Gefährdungspotential gering	
03.09.99	Störung bei der Strahlerückführung (Ir-192 260 GBq) an einem Afterloadinggerät in einer Klinik	Lösen des Bronchialkatheters aus Klemmadapter, Blockierung des Rückzugkanals am Geräteausgang durch Federmechanismus der Klemmkupplung	Strahlenexposition des Patienten von 0,5 mSv, ein an der Bergung beteiligter Mitarbeiter erhielt eine Personendosis von 0,4 mSv und eine Teilkörperdosis von 1mSv (Hand)	Aufforderung der Herstellerfirma an Betreiber baugleicher Geräte, die alten Klemmadapter durch neue zu ersetzen
06.09.99	Fund einer Füllstandsmesseinrichtung mit Strahler (Co-60 913 MBq) in einer Schrottlieferung aus dem Ausland bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering, da Strahler im Abschirmbehälter	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
08.09.99	Funktionsstörung an den Messgeräten für α - und β -Strahlung (HFK-Monitore, Luftüberwachung, etc.)	Versehentliches Einspeisen von Wasserstoff in die zentrale Gasversorgung anstelle des erforderlichen Messgases	Keine	Zukünftig Verwendung von Messgasflaschen, die sich in der Form deutlich von Wasserstoffflaschen unterscheiden
23.09.99	Fund einer Kupferplatte mit radioaktiven Plättchen (Ra-226 52 MBq) in einer Metallschrottlieferung aus dem Ausland bei einer Logistikgesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.09.99	Verlust von zwei Schulquellen (Ra-226 11 kBq, Po-210 37 kBq)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	
08.10.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 37 kBq) bei einem Stadtwerk	Unzulässige Entsorgung des bei Umbauarbeiten beschädigten Rauchmelders mit anderen Reststoffen	Gefährdungspotential gering	
11.10.99	Fund von 7,5 kg thoriumhaltige Chemikalien (ca. 60 MBq) in einem wegen Verstößen gegen das Ordnungsrecht versiegelten Chemikalienlager	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
11.10.99	Fund einer Bohrlochsonde mit Strahler (Cs-137 2,77 GBq) in einer zurückgesandten Metallschrottlieferung bei einer Logistikgesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine erhöhten Strahlenexpositionen bekannt; Strahler im Abschirmbehälter vorgefunden	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.10.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 34 GBq) bei Umbaumaßnahmen in einem Stadtwerk	Ungenügende Kontrolle bei Umbauarbeiten	Gefährdungspotential gering	Nachforschung ergebnislos
20.10.99	Fund von 16.000 gefüllten 20 ml-Fläschchen (H-3 ca. 1,6 MBq bzw. C-14 160 kBq) in der Garage eines verstorbenen Laborleiters	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.10.99	Feststellung eines entleerten Strahlers (Kr-85 74 MBq) in einem Aerosol-Neutralisator in einer Universität	Undichtheit des Strahlers	Keine, da undichter Strahler in einem ständig betriebenen Abzug eingebaut war	Überprüfung der Strahler in kurzen Zeitabständen
25.10.99	Fund einer Flächenmassenmessereinrichtung mit Strahler (Kr-85 ca. 0,9 MBq) bei Sanierungsarbeiten auf einem ehemaligen Fabrikgelände	Unterlassene Entsorgung durch früheren Eigentümer	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
28.10.99	Fund von zwei Flaschen mit radioaktiven Stoffen (U-234 6,2 und 5,3 kBq/g; U-235 0,34 und 0,21kBq/g; U-238 6,2 und 5,3 kBq/g) auf einem Trödelmarkt	Ungenehmigter Umgang	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung der radioaktiven Stoffe
28.10.99	Fund radioaktiver Abfälle (Re-186 1,7 MBq) aus einer nuklearmedizinischen Praxis auf einem Hausmüllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, behördliche Maßnahmen gegen Verursacher
10.11.99	Fund radioaktiv kontaminierten Klinikabfalls (Re-186 1µSv/h) in einem Müllcontainer in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
15.11.99	Fund einer Radium-Kompresse (Ra-226, Th-232 2,2 MBq) in einem Müllcontainer in einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.11.99	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 29,6 kBq) bei Baumaßnahmen in einem Betrieb	Unzulässige Entsorgung mit Bauschutt	Gefährdungspotential gering	
26.11.99	Personen- und Raumluftkontamination (Pu-241, Am-241 max. 27 kBq) bei Dekontaminationsarbeiten in einem Labor einer Forschungseinrichtung	Beschädigung eines Handschuhs bei mechanischen Zerlegearbeiten in einem Handschuhkasten, Eindringen von kontaminierter Reinigungsflüssigkeit im Bereich des Armes	Inkorporation bei drei Personen, Personendosen 0,2; 0,6 bzw. 4,2 mSv und Teilkörperdosen (Knochenoberfläche) 2,5; 11,3 bzw. 78 mSv	Sperrung des Labors, zukünftig Verwendung eines zweiten Handschuhs, Tragen von Schutzmaske und Errichtung eines absaugbaren Zeltes während Dekontaminationsmaßnahmen im Handschuhkasten
01.12.99	Aufenthalt einer Auszubildenden im Labyrinth des Bestrahlungsraumes beim Einschalten eines medizinischen Beschleunigers	Unachtsamkeit des Bedienpersonals	Strahlenexposition kleiner als 10 µSv	Zusätzliche Belehrung des Personals und Konsequenzen für Erstbelehrung von Auszubildenden
01.12.99	Fund eines Gaschromatographen mit eingebautem Ni-63-Elektroneneinfangdetektor (74 MBq) im zur Entsorgung vorgesehenen Elektronikschrott einer Fachhochschule	Unzulässige Entsorgung	Keine Kontaminationen feststellbar	Rückgabe des Elektroneneinfangdetektors an Lieferfirma
08.12.99	Fund von drei Säcken Klinikmüll mit je 200 Glasampullen zu 25 ml (C-14-Lösung insgesamt 98 MBq) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, aufsichtliche Maßnahmen

Fortsetzung Tabelle 1

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
09.12.99	Fund von fünf Strahlern (2 x Pm-147 je 14,8 MBq, 3 x Tl-204 je 1,85 MBq) und einer mit Blei umwickelten 100 ml Flasche mit Th-232 (max. 3 µSv/h an der Öffnung) auf einer Hausmülldeponie	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.12.99	Fund kontaminierter Krankenhausabfälle (I-131, Containeroberfläche 1,8 µSv/h) in einem Presscontainer bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände des Krankenhauses
14.12.99	Fund kontaminierter Krankenhausabfälle (I-131, am Fahrzeug 1,5 µSv/h) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
14.12.99	Verlust eines Messgerätes mit Strahler (Ba-133 1,75 MBq) bei einem Grenzzollamt	Messgerät im untersuchten Fahrzeug liegengelassen	Gefährdungspotential gering	Gerät wurde bei ausländischer Zollkontrolle des Fahrzeuges sichergestellt
22.12.99	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 0,6 MBq) durch den Nachfolger einer Institution	Unterlassene Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

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 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durchgeführt und in dem vorangegangenen Bericht zur Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 1998 Daten bis zum Jahr 1994 dargestellt. Für den Bereich der kassenärztlichen Ambulanz, der kassenzahnärztlichen Ambulanz und für die ambulanten und stationären Untersuchungen bei Privatpatienten liegen jetzt neue Zahlen über die Untersuchungsfrequenzen bis zum Jahr 1997 vor. Aus diesen Daten und unter der Annahme, dass das Verhältnis von ambulanten und stationären Untersuchungen bei Kassenpatienten und Privatpatienten gleich ist, wurde für 1997 die Gesamthäufigkeit der Röntgenuntersuchungen abgeschätzt und in gerundeten Zahlen in Tabelle 1 dargestellt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei Daten bezüglich der stationär durchgeführten Untersuchungen um Schätzwerte mit einer Fehlerbreite von $\pm 40\%$ handelt. Da diese Unsicherheit aber nur einen Teil der Untersuchungen betrifft und der größte Teil der Untersuchungen vollständig erfasst ist, verringert sich die Unsicherheit in der Gesamtzahl auf etwa $\pm 10\%$. Wegen der relativ geringen Strahlenexposition von $0,02 - 0,05$ mSv effektiver Dosis bei der am stärksten betroffenen Untersuchungsart, nämlich einer Röntgenaufnahme des Brustkorbs, wirkt sich diese Unsicherheit auf die kollektive effektive Dosis nur gering aus. Daten für die Jahre 1998 bis 1999 liegen noch nicht vor.

Für Deutschland ergibt sich eine Gesamtzahl von fast 136 Millionen Untersuchungen pro Jahr, was einer relativen Häufigkeit von 1654 Röntgenuntersuchungen pro 1000 Einwohner im Jahr entspricht. Die Daten sind in der Tabelle 1 als jährliche Häufigkeit, aufgegliedert nach ambulanter und stationärer Krankenversorgung und nach Untersuchungsarten, in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1000 Einwohner dargestellt. 72 % aller Röntgenuntersuchungen einschließlich der zahnmedizinischen Untersuchungen werden danach ambulant durchgeführt, ohne Zahnmedizin sind es 66 %. Am häufigsten sind Röntgenuntersuchungen des Thorax (Brustkorb), der Zähne und der Extremitäten.

Welchen Anteil die einzelnen Untersuchungen innerhalb der Tätigkeit der niedergelassenen Ärzte und der Krankenhäuser haben, ist ebenfalls aus Tabelle 1 zu ersehen. Fast die Hälfte aller Röntgenuntersuchungen in Krankenhäusern betreffen den Thorax (49 %), während in den Arztpraxen das Skelett mit fast 2/3 (64%) das bei weitem am häufigsten untersuchte Organsystem ist.

Die jetzt dargestellten Daten zur Untersuchungshäufigkeit können nur mit großem Vorbehalt mit den Daten der Vorberichte verglichen werden. Durch die Änderung des Bewertungsmaßstabes bzw. der Gebührenordnung konnten jetzt einige zusätzliche, bisher nicht erfassbare Untersuchungen berücksichtigt werden. Andererseits ließen sich nicht alle Untersuchungsarten in der bisherigen Art aufgliedern bzw. zusammenfassen. Insgesamt ist eine Steigerung von etwa 1 % pro Jahr anzunehmen. Eine genauere Trendermittlung ist erst wieder möglich, wenn weitere Daten nach dem neuen Abrechnungssystem vorliegen. Die Kassenärztliche Bundesvereinigung und der Verband der privaten Krankenversicherungen haben ihre Unterstützung hierfür zugesagt.

Tabelle 1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär ^{d)}		Gesamt	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in % ^{a)}	in Tausend	Anteil in % ^{a)}	in Tausend	
Brustkorb	9508	13	15460	49	24968	304
Gliedmaßen	18877	26	3430	11	22307	272
Wirbelsäule	10067	14	1430	4	11497	140
Becken und Hüfte	5725	8	1240	4	6965	85
Schädel	12007	16	1600	5	13607	166
Bauchraum (leer)	965	1	640	2	1605	20
Speiseröhre/Magen/ Dünndarm	741	1	180	1	921	11
Dickdarm	634	1	270	1	904	11
Galle	68	0	90	0	158	2
Harntrakt	1397	2	640	2	2037	25
Arteriendarstellung und Intervention	439	1	1950	6	2389	29
Venendarstellung	356	0	300	1	656	8
Mammographie	5840	8	380	1	6220	76 ^{b)}
Computertomographie	3198	4	2580	8	5778	70
Knochendichtemessung	902	1	?	-	902	11
nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen	3031	4	1560	5	4591	56
sonstige Untersuchungsstellen ^{c)}					6598	80
Zwischensumme	73755	100	31750	100	112103	1366
Zahnuntersuchungen	23624		20		23644	288
Gesamt	97379		31770		135747	1654

a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen

b) entspricht 199 je 1000 Frauen im Alter ab 25 Jahren (31,29 Mio.)

c) z. B. Gesundheitsämter, Justizvollzugsanstalten u.a. Diese Untersuchungsstellen sind weder ambulant noch stationär zugeordnet

d) Die Unsicherheit der Abschätzung wirkt sich besonders bei den sehr häufigen Untersuchungen des Brustkorbs (Thorax) auf die angegebene Häufigkeit aus.

Bei den alternativen Untersuchungen steht neben der Endoskopie die Sonographie, eine Untersuchungsmethode, die auf der Anwendung von Ultraschall beruht, im Vordergrund (s. Tabelle 2). Die MR-Tomographie, bei der die magnetische Kernspinresonanz zur Bildgebung ausgenutzt wird, spielt zahlenmäßig noch eine untergeordnete Rolle, die Steigerungsrate ist jedoch mit + 180 % pro Jahr von 1990 - 94 erheblich. Sie hat vor allem infolge schnellerer Datentechnik und damit kürzeren Untersuchungszeiten in fast alle Bereiche der bildgebenden Diagnostik Einzug gehalten. Die Anwendung der MRT ist einerseits hauptsächlich durch die hohen Kosten und damit die Verfügbarkeit und andererseits durch Angstzustände der Patienten in der „engen Röhre“ begrenzt. Für die alternativen Untersuchungsverfahren liegen dem BfS neuere Daten noch nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Ultraschalluntersuchungen wegen technischer Verbesserungen und daher neuer Anwendungsmöglichkeiten zugenommen hat. Ebenso ist mit einer Steigerung bei der MRT zu rechnen, da einerseits zunehmende Indikationsgebiete erschlossen wurden und andererseits die Verbreitung der Geräte, auch infolge des sinkenden Preises, zugenommen hat.

Tabelle 2 Häufigkeit von alternativen Untersuchungsverfahren im Jahr 1994

Untersuchungsart	in Tausend			je 1000 Einw.
	Ambulant	Stationär	Gesamt	
Sonographie	64700	13730	78430	963
Oberbauch	20230	7060	27290	335
Unterbauch	25620	940	26560	326
Mamma	2570	70	2640	32
Herz/Echokardiographie	2490	3030	5520	68
Gefäße/Dopplersonogr.	5390	1420	6810	84
Sonstige	8400	1210	9610	118
Endoskopie	13670	3500	17170	212
Bronchoskopie	60	180	240	3
Ösophago-/Gastroskopie	1960	1390	3350	41
Koloskopie	2650	660	3310	41
Zystoskopie	1080	280	1360	17
Arthroskopie	200	420	620	8
Sonstige	7720	570	8290	102
MR-Tomographie	1020	190	1210	15
ZNS	630	70	700	9
Sonstige	390	120	510	6

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. Sie zeigen, dass dort fast die Hälfte (45,4 %) der Röntgenuntersuchungen bei Patienten ab dem 65. Lebensjahr und ein Drittel (32,1 %) bei Patienten im Alter von 41 - 64 Jahren durchgeführt werden. Neuere Daten zur Altersverteilung im stationären aber auch im ambulanten Bereich werden derzeit in Forschungsvorhaben mit finanzieller Unterstützung des BMU und mit Unterstützung durch die Kassenärztliche Bundesvereinigung ermittelt.

Qualitätssicherung

Die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV), die am 1. Januar 1988 in Kraft getreten ist, bewirkte eine Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik. Die jetzt festgeschriebene Pflicht zur Befragung der Patienten nach früheren Röntgenuntersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze hilft, und die Pflicht zur leihweisen Weitergabe von Röntgenbildern an nachbehandelnde Ärzte andererseits, führen zu einer Vermeidung von Doppel- und Wiederholungsuntersuchungen. Auch die konsequente Praktizierung und Verbesserung der Qualitätskontrolle und -sicherung in der Radiologie tragen dazu bei, dass die Strahlenexposition des Einzelnen im Rahmen der medizinischen Diagnostik optimal niedrig gehalten wird.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, der Belichtungsautomatik und die gepulste Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. Die dosisintensiveren radiologischen Verfahren Computertomographie (CT) und interventionelle Radiologie erhöhen über den Weg einer wesentlich genaueren und umfangreicheren Diagnosestellung bzw. den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen zwar die Strahlenexposition des einzelnen Patienten, führen aber zu einer wesentlichen Verbesserung des Verhältnisses von Nutzen und Risiko. Die "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie" beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die Leitlinien für die Röntgendiagnostik wurden 1995 aktualisiert, die für die CT sind in Überarbeitung. Die Ärztlichen Stellen nach § 16 Abs. 3 RöV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer Ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass leichte und vor allem schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung

und der Beratung durch die Ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Eine weitere Maßnahme der Qualitätskontrolle ist die Einführung von diagnostischen Referenzwerten, die auf Grund der Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom bis zum Jahr 2000 erfolgt sein soll. Es handelt sich hierbei nicht um Grenzwerte, sondern um Werte, die dazu dienen sollen, systematische Fehler bei denjenigen Ärzten herauszufinden, deren Patientendosiswerte beständig über dem Referenzwert liegen. Das BfS hat bereits mehrere Expertengespräche durchgeführt, um die Einführung der diagnostischen Referenzwerte vorzubereiten. Die Einführung kann erst nach Inkrafttreten der novellierten RöV erfolgen. Einzelheiten sollen in der Richtlinie zur Qualitätssicherung nach § 16 RöV geregelt werden.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosisersparnis je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch Vermeidung von Fehlaufnahmen bei der digitalen Luminiszenzradiographie (DLR) als auch der strahlungsfreien Situationskontrolle bei Durchleuchtungen durch "Last Image Hold (LIH)". Eine Einsparung ist aber auch möglich, wenn bei geringerer Anforderung an die Bildqualität mit gezielt niedriger Dosis gearbeitet werden kann. Auch bei der CT zeichnet sich ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Mehrere Forschungsvorhaben wurden oder werden durchgeführt oder sind geplant, um festzustellen, wie weit bei CT-Untersuchungen die Exposition vermindert werden kann, um eine an die diagnostische Fragestellung angepasste Bildqualität zu erhalten. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken neue Anwendungsarten mit z. T. höheren Dosen, jedoch mit diagnostischen Aussagen, die bisher nicht zu erhalten waren. Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder durch eine Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Telemedizin.

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 entspricht ca. 4/5 der natürlichen Strahlenexposition. Die aus der Nuklearmedizin stammenden Beiträge zur strahlenhygienisch relevanten Bevölkerungsdosis sind im Vergleich zur Röntgendiagnostik als gering anzusehen. Der Wert für die mittlere effektive Dosis von 2 mSv pro Einwohner und Jahr, der im Wesentlichen durch die Röntgendiagnostik bedingt ist, stellt einen relativ groben Schätzwert mit einem Unsicherheitsfaktor von $\pm 30\%$ dar, der sowohl den Schwankungsbereich bei der Exposition durch einzelne Untersuchungsarten, als auch die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Häufigkeit von Untersuchungen enthält.

Dieser Wert ist nicht geeignet, um daraus ein mittleres Strahlenrisiko für einen "Durchschnittsbürger" zu errechnen, da sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition extrem ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Die kollektive effektive Dosis verteilt sich vielmehr auf wenige stark exponierte und eine große Zahl wenig exponierte Personen, wobei zu berücksichtigen ist, dass ältere Personen viel stärker betroffen sind als jüngere. Ein Teil der Bevölkerung wird gar nicht exponiert. 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 gegenüber dem medizinischen Nutzen durch die Gewinnung einer Diagnose abzuwägen ist.

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

Besonders viele und zum Teil auch dosisintensive Röntgenuntersuchungen werden gerade bei Schwer- und Schwerstkranken notwendig, Patienten, die wegen ihrer Erkrankung oder Verletzung eine

kürzere Lebenserwartung haben. Diejenigen, die innerhalb von 10 Jahren sterben, erleben keine strahlenbedingte Krebserkrankung. Es ist daher falsch, wenn der aus diesen Untersuchungen resultierende Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Risikoabschätzungen zur strahlenbedingten Krebsmortalität einbezogen wird.

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

Bei der Bewertung 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 3 angegeben. Es handelt sich dabei um Dosen, wie sie in den letzten Jahren im Rahmen von durch das BMU geförderten Forschungsvorhaben bei Patienten in Krankenhäusern 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. In der Tabelle 4 sind daher Bereiche für mittlere Dosiswerte für häufige Untersuchungsarten, bezogen auf Patienten mit Standardmaßen, angegeben.

Tabelle 3 Bereiche mittlerer Dosiswerte in Millisievert (mSv) für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten (70 ± 5 kg Körpergewicht)

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	0,01 – 0,1
Schädelaufnahme	0,03 – 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,09 – 0,15
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,05
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,4 – 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 – 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 – 1,8
Beckenübersicht	0,5 – 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 – 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 – 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 – 18
Galle	1 – 5
Harntrakt (Urogramm)	2,5 – 7
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 – 2
Arteriographie und Interventionen	10 – 20
CT-Untersuchungen	
Kopf	2 – 4
Wirbelsäule / Skelett	3 – 10
Brustkorb (Thorax)	6 – 10
Bauchraum (Abdomen)	10 – 25

2. STRAHLENTHERAPIE

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

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

Folgende gerätetechnische Ausstattung einer Strahlentherapieabteilung kann als Standard bezeichnet werden:

- Hochvoltgeräte (z. B. Linearbeschleuniger), die es ermöglichen, hohe Tumordosen gezielt zu applizieren bei gleichzeitig verbesserter Schonung des umgebenden gesunden Gewebes;
- Einrichtungen zur Röntgenweichstrahlbehandlung und Brachytherapie;
- Therapiesimulatoren zur exakten Lokalisation des zu 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 wie z. B. der Positronenemissionstomographie (PET), und tragen damit wesentlich zu einer optimierten morphologischen und funktionellen Charakterisierung des zu bestrahlenden Tumors bei und damit zu einer optimierten Bestrahlungsplanung.

Wesentlich für eine kritische Bewertung des Erfolges einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordination der Nachsorge durch einen hierfür besonders qualifizierten Arzt, in erster Linie den Strahlentherapeuten.

3. NUKLEARMEDIZIN

Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland und die damit verbundene Strahlenexposition

Um die Strahlenexposition der Bevölkerung durch die nuklearmedizinische Diagnostik zu beurteilen, wurde die jährliche Häufigkeit von Radionuklidapplikationen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland im Jahre 1997 und die daraus resultierenden effektiven Dosen ermittelt.

Für den diagnostischen ambulanten kassenärztlichen Bereich wurden Daten der Abrechnungen nuklearmedizinischer Untersuchungsleistungen von der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) verwendet. Die Bestimmung der Untersuchungshäufigkeit von privaten ambulanten und stationären Patienten (PKV) erfolgte aus den Abrechnungsstatistiken des Verbandes der privaten Krankenversicherung (VPK). Die fehlenden Daten der stationären Kassenpatienten wurden mit demselben Faktor, der bei den privaten Patienten ermittelt wurde, hochgerechnet. Die nuklearmedizinischen Untersuchungen wurden in Organgruppen zusammengefasst. Die mittlere effektive Dosis für jede Untersuchungsart wurde aus Daten einer multizentrischen Studie an 10 Kliniken und 7 Praxen nach ICRP 53, 62 und 80 bestimmt. Die Gesamthäufigkeit, die Anwendungshäufigkeit pro 1000 Einwohner, die kollektive effektive Dosis und die jährliche effektive Dosis pro Einwohner wurden ermittelt.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland 1997 ca. 4 Millionen Radionuklidapplikationen durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 49 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten waren bei den ambulanten Kassenpatienten Szintigraphien der Schilddrüse (61 %) und des Skeletts (22 %) durchgeführt. Bei den ambulanten Patienten der PKV bestätigt sich der Trend: Schilddrüsenszintigraphien (44 %) und Skelettszintigraphien (20 %). Bei den stationären Patienten der PKV stehen hingegen Skelettszintigraphien mit 30% an erster Stelle, gefolgt von Lungenszintigraphien mit 13 % und Schilddrüsenszintigraphien mit 7,5 %.

Die ermittelten mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei der Positronenemissionstomographie (PET) mit F-18-FDG (Fluordesoxyglukose) mit 8,6 mSv am höchsten, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 7,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 4,8 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist nur eine sehr niedrige effektive Dosis von 0,8 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenbelastung gekennzeichnet (0,8 mSv). Insgesamt wurde für die im Jahr 1997 durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen eine kollektive effektive Dosis von ca. 9100 Personen-Sv und eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,1 mSv ermittelt. Davon liefert die Skelettszintigraphie mit 46 % den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis, gefolgt von Myokard- und Schilddrüsenszintigraphie mit je 24 %.

Im Vergleich zu 1994 ist ein Anstieg der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen zu verzeichnen, wobei insbesondere die Häufigkeit von PET-Untersuchungen stark zugenommen hat. Andererseits wurden neue Radiopharmaka eingesetzt, die zu einer Verringerung der Strahlenexposition bei einzelnen Untersuchungsarten führten: z. B. durch den Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI lässt sich der hohe Beitrag der Myokardszintigraphie zur Strahlenexposition erheblich reduzieren.

Die jährliche effektive Dosis pro Einwohner durch nuklearmedizinische Untersuchungen liegt mit 0,1 mSv deutlich unter der durch die Röntgendiagnostik erzeugten jährlichen effektiven Dosis pro Einwohner von ca. 2 mSv.

4. HERZSCHRITTMACHER

Im Jahr 1999 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: 31.12.1999

Jahr	Pu-238	
	Implantation	Explantation
1971	3	0
1972	72	2
1973	122	7
1974	47	11
1975	31	22
1976	9	12
1977	0	22
1978	0	15
1979	0	17
1980	0	17
1981	0	15
1982	0	13
1983	0	11
1984	0	15
1985	0	18
1986	0	8
1987	0	10
1988	0	4
1989	0	9
1990	0	8
1991	0	3
1992	0	5
1993	0	1
1994	0	3
1995	0	1
1996	0	3
1997	0	1
1998	0	3
1999	0	0
Gesamt	284	256

a) 1 HSM ist in Kambodscha verschollen

5. MEDIZINISCHE FORSCHUNG

Die Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in § 41 StrlSchV und die Durchführung von Röntgenuntersuchungen in der medizinischen Forschung in § 24 Abs. 2 RöV geregelt. Im Gegensatz zu deren Anwendung in Ausübung der Heilkunde oder der Zahnheilkunde besteht bei der Anwendung in der medizinischen Forschung eine Genehmigungspflicht im Einzelfall. Die Antragstellung erfolgt bei der zuständigen Landesbehörde; dabei ist nachzuweisen, dass die Forderungen des § 41 StrlSchV bei der geplanten Versuchsdurchführung erfüllt sind. Bei der 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. Im Gutachten ist zu prüfen, ob die strahlenbedingten Risiken für die Probanden, gemessen an der voraussichtlichen Bedeutung der Ergebnisse für die Heilkunde und die medizinische Forschung ärztlich vertretbar sind. Die Genehmigungsbehörde kann auch bei positivem Gutachten die Genehmigung versagen bzw. mit bestimmten Auflagen verbinden.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender bzw. Röntgenstrahlen an gesunden Probanden, die aus der Anwendung keinen diagnostischen Nutzen ziehen, und der Anwendung an kranken Probanden, also Patienten, bei denen die Anwendung gleichzeitig deren Untersuchung oder Behandlung dienen kann, da entsprechend unterschiedliche Grenzwerte für deren Strahlenexposition gelten.

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

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

Wichtig ist u.a. die Biokinetik bzw. der Metabolismus des Arzneimittels im menschlichen Organismus, d.h. es müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- In welche Körperregionen oder Organe gelangt das Arzneimittel?
- Wo und wie wird es im Organismus abgebaut?
- Welche Umwandlungsprodukte (Metabolite) entstehen?
- Wo und wie wird das Arzneimittel ausgeschieden?
- Wie vollständig und in welcher Zeit geschieht dies?

In vielen Fällen erlaubt die Messung radioaktiver Substanzen die Erfassung viel kleinerer Substanzmengen, als dies bei nichtradioaktiven Stoffen selbst mit modernen Analysemethoden der Fall wäre. Es ist daher bei der klinischen Prüfung der Biokinetik eines Arzneimittels oft notwendig, dieses Arzneimittel **radioaktiv markiert** an Probanden zu verabreichen.

Im Rahmen der klinischen Prüfung von Arzneimitteln können sich Fragestellungen ergeben, die nur unter Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen zu beantworten sind, wobei das zu prüfende Arzneimittel selbst nicht radioaktiv bzw. nicht radioaktiv markiert ist. Daneben unterliegen auch **radioaktive Arzneimittel** einer klinischen Prüfung.

Um Normalwerte bzw. Normalbefunde zu erhalten, kann es notwendig sein, die beiden zuletzt genannten Arten der Untersuchung ebenfalls an gesunden Probanden vorzunehmen.

In § 41 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 StrlSchV sind die Dosisgrenzwerte festgelegt, die grundsätzlich nicht über-

schritten werden dürfen. Diese betragen pro Jahr ein Zehntel der für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A geltenden Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr, welche in der Anlage X Tabelle X1 Spalte 4 StrlSchV aufgeführt sind.

Die zuständige Behörde kann - **mit Ausnahme der klinischen Prüfung von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln** - im Einzelfall eine Überschreitung der Grenzwerte nach § 41 Abs. 1 Satz 3 Nr. 5 StrlSchV zulassen, sofern hierfür ein besonderes Bedürfnis besteht. Die zugelassene Körperdosis darf dabei die Grenzwerte der Anlage X Tabelle X 1 Spalte 2 StrlSchV nur überschreiten, wenn eine klinische Prüfung von **radioaktiven Arzneimitteln** am Probanden **gleichzeitig seiner Untersuchung oder Behandlung dient** (§ 41 Abs. 11 StrlSchV).

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

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

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

Jahr	Zahl der Gutachten	Zur Markierung verwendete Nuklide	Bereich der applizierten Aktivitäten (MBq pro Proband)	Gesamtzahl der Probanden
1976	1	C-14	3,7	6
1977	3	C-14	3,0 - 3,7	21
1978	4	C-14	3,7	26
1979	3 3	H-3 C-14	1,85 - 3,7 3,7	16 24
1980	6 1	C-14 S-35	3,7 - 11 3,7	29 7
1981	1 4 1	H-3 C-14 S-35	3,7 3,7 - 5,1 3,7	5 25 7
1982	1 6	H-3 C-14	8,2 3,7 - 5,5	6 37
1983	5	C-14	1,85 - 11	30
1984	4 3	H-3 C-14	3,33 - 14,8 0,37 - 3,7	25 21
1985	4 5	H-3 C-14	5,5 - 16,7 3,7 - 7,4	20 36
1986	2 8	H-3 C-14	3,7 - 13,1 2,8 - 7,4	14 72
1987	14	C-14	1,6 - 7,4	118
1988	4	C-14	3,7 - 11,1	34
1989	2 1	C-14 S-35	2,8 - 3,45 0,74	10 4
1990	7 1 1 1	C-14 H-3 Tc-99m S-35	1,85 - 4 1,85 7,4 0,44	46 6 12 4
1991	4	C-14	1 - 7,4	32
1992	2 9 1	H-3 C-14 Cr-51	1 - 7,2 1,85 - 7,4 3,7	30 60 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
1997	0	-	-	-
1998	2	C-14	1,3 - 4	13
1999	1 ** 2	H-3 C-14	0,0925 0,0185 - 3,7	12 ** 18

* bei Tc-99m enthalten

** bei C-14 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 Gutachten zur Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. ionisierender Strahlen an Patienten ist im Einzelnen 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 einzugehen.

Im Jahr 1999 wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt 90 Anträge auf Anwendung radioaktiver Stoffe (**radioaktive Arzneimittel**) bzw. ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 41 StrlSchV begutachtet.

5.3 Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen in der medizinischen Forschung

Seit Inkrafttreten der Röntgenverordnung im Jahr 1988 ist die Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen nur in Ausübung der Heilkunde erlaubt, oder wenn ein Gesetz die Anwendung vorsieht oder zulässt. Andere Anwendungen bedürfen der besonderen Genehmigung nach § 24 Abs. 2 RöV. Die Anwendung von Röntgenstrahlen in der medizinischen Forschung fällt unter diese Genehmigungspflicht, soweit das Ziel der Röntgenstrahlenanwendung wissenschaftliche Erkenntnisse sind. Eine Anwendung in der Forschung ist dann gegeben, wenn ein Proband einer nur durch das Forschungsvorhaben bedingten Strahlenexposition ausgesetzt wird. Röntgenuntersuchungen, die im Rahmen der üblichen medizinischen Versorgung durchgeführt werden und zusätzlich wissenschaftlich ausgewertet werden, sind nicht genehmigungspflichtig. Die Genehmigungen werden in der Regel auf der Grundlage des § 17 AtG unter denselben Voraussetzungen erteilt wie bei der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen am Menschen in der medizinischen Forschung nach § 41 StrlSchV.

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

Im Jahr 1999 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, digitale Techniken, Mammographien zur Minimierung von Risiken durch unbekannte Arzneimittelnebenwirkungen sowie Forschungen mit dem Elektronenstrahl-Computertomographen (EBCT). Für die Jahre 1991 bis 1999 sind in Tabelle 3 jeweils die Anzahl der Gutachten mit Untersuchungsart, mittlerer effektiver Dosis je Proband und die Anzahl der Probanden sowie der Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis aufgeführt. Studienanträge, die negativ begutachtet, nicht genehmigt oder nicht durchgeführt wurden, sind nicht aufgelistet.

Tabelle 2 Gutachten des BfS 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
1998	8	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,026	1215	0,031
	1	Knochendichtemessung und Rö-Aufn. der Wirbelsäule	0,7	120	0,084
	4	Mammographie	1	1340	1,34
	2	Digitale Radiographie (Thorax, Skelett)	1,61	250	0,403
	2	Bein-Becken-Phlebographie	0,5	800	0,4
	1	Computertomographie / EBCT	0,86	150	0,129
Summe	18		0,62^{d)}	3875	2,387
1999	2	Knochendichtemessung (verschiedene Techniken)	0,94	300	0,281
	1	Knochendichtemessung und Rö.-Aufn. der Wirbelsäule	1,2	1200	1,440
	1	Knochendichtemessung Rö.-Aufn. der Wirbelsäule und Mammographie	4	60	0,240
	2	Knochendichtemessung und Mammographie	0,5	178	0,089
	1	Rö.-Aufnahme Hand	0,2	100	0,02
	1	Rö.-Aufn. Stereometrie d. Hüfte	0,45	60	0,027
	1	Rö.-Aufn. Thorax pa und Skelettstatus ^{c)}	22	100	2,2
	4	Koronarangiographie ^{c)}	3,11	780	2,426
	3	Bein-Becken-Phlebographie	0,45	940	0,423
	1	CT Abdomen (1 Schicht)	0,28	400	0,112
	1	EBCT Herz	1,0	80	0,08
	1	Rö.-Aufnahme Zahn	0,05	100	0,005
Summe	19		1,71^{d)}	4298	7,343

a) Die unterschiedlichen mittleren Dosiswerte je Proband bei gleichen Untersuchungsarten ergeben sich aus unterschiedlichen Durchführungsarten der Untersuchungen und der Anzahl der Messungen bzw. Aufnahmen je Studie.

b) Die kollektive effektive Dosis in Personen-Sievert entspricht nicht der tatsächlichen Jahresdosis in dem Berichtsjahr, da sich die Studien oft über mehrere Jahre erstrecken. Diese Ungenauigkeit gleicht sich jedoch bei mehrjähriger Betrachtung aus.

c) Die Untersuchungen waren größtenteils klinisch indiziert und mit diagnostischem Nutzen für die Patienten verbunden.

d) gewichteter Mittelwert

Teil V

UMGANG MIT RADIOAKTIVEN STOFFEN UND IONISIERENDEN STRAHLEN

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg, Institut für angewandten Strahlenschutz, Berlin, und dem Fachbereich nukleare Entsorgung und Transport, Salzgitter

1. EIN- UND AUSFUHR VON RADIOAKTIVEN STOFFEN

Daten des Bundesausfuhramtes (BAFA), Eschborn

1.1 Einleitung

Nach § 3 des Atomgesetzes (AtG) bedarf derjenige, der **Kernbrennstoffe** ein- oder ausführt, einer Genehmigung. Die Voraussetzungen für die Erteilung einer Genehmigung bzw. die Anwendbarkeit des Anzeigeverfahrens bei der Ein- und Ausfuhr **sonstiger radioaktiver Stoffe** sind in den §§ 11 - 14 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegt. Zuständige Behörde (§ 22 AtG) für die Erteilung dieser Ein- und Ausfuhrgenehmigungen und die Entgegennahme der Anzeigen nach zollamtlicher Bearbeitung (Nicht-EU-Staaten) bzw. direkt (bei Verbringung innerhalb der EU) ist das Bundesausfuhramt (BAFA).

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit lässt sich im Rahmen seiner Fachaufsicht (§ 22 Abs. 3 AtG) u.a. jährlich über den Umfang und die Entwicklung der Ein- und Ausfuhr von Kernbrennstoffen, von sonstigen radioaktiven Stoffen und der umschlossenen Strahlenquellen einschließlich der radioaktiven Abfälle berichten.

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

1.2 Rechtsgrundlagen und Verfahren

Kernbrennstoffe

In der Bundesrepublik Deutschland ist die **Ausfuhr** von Kernbrennstoffen gemäß § 3 Abs. 1 AtG immer genehmigungspflichtig. Die **Einfuhr** ist grundsätzlich genehmigungspflichtig, es sei denn, die Kernbrennstoffe werden nur in Kleinmengen (welche je nach Anteil des spaltbaren Materials gestaffelt sind) nach der Einfuhr erstmals an Personen/Institutionen abgegeben, denen eine Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG erteilt ist; Einzelheiten hierzu regelt § 12 StrlSchV.

Sonstige radioaktive Stoffe, radioaktive Abfälle

Die **Einfuhr** ist nur anzeigepflichtig - nicht genehmigungspflichtig -, sofern der Empfänger in der Bundesrepublik Deutschland eine Umgangsgenehmigung für sonstige radioaktive Stoffe (§ 3 StrlSchV) besitzt (§ 12 Abs. 2 StrlSchV). Die **Ausfuhr** ist bis zum 10⁸-fachen der Freigrenze je Beförderungs- oder Versandstück anzeigepflichtig (§ 11 Abs. 1 StrlSchV), oberhalb dieser Freigrenze genehmigungspflichtig (§ 12 Abs. 4 StrlSchV).

Die Ein- und Ausfuhr **radioaktiver Abfälle unterliegt immer der Genehmigungspflicht**; eine solche Genehmigung darf zudem nur erteilt werden, wenn hierfür ein Bedürfnis besteht (§ 14 Abs. 3 StrlSchV).

Anzeigeverfahren

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

Genehmigungsverfahren

Das BAFA prüft die Genehmigungsanträge auf Übereinstimmung mit den Bestimmungen des Atom- und des Außenwirtschaftsrechts und erteilt die entsprechenden Genehmigungen. Die Durchführung der Ein-

und Ausfuhr wird vom Zollamt auf der mitgeführten Genehmigung bestätigt, Abweichungen werden vermerkt. Bei groben Verstößen werden die Sendungen zurückgewiesen. Das BAFA erhält eine Durchschrift mit dem entsprechenden Zollvermerk.

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

Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit der Behörden beim Vollzug

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

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

Verfahren nach dem Außenwirtschaftsrecht

Außenwirtschaftsgesetz (AWG) bzw. Außenwirtschaftsverordnung (AWV)

EU-Dual-Use-Verordnung

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

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

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

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

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

Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle von einem Mitgliedsstaat in einen anderen, in die Gemeinschaft und aus der Gemeinschaft (ABl. L 35 vom 12. Februar 1992)

Das Europäische Parlament hat 1988 aus konkretem Anlass eine umfassende Gemeinschaftsregelung gefordert, um grenzüberschreitende Transporte nuklearer Abfälle von ihrer Entstehung bis zur Lagerung einem System strenger Kontrolle und Genehmigungen zu unterwerfen.

Die Richtlinie des Rates über die in der Gemeinschaft vorzunehmende Überwachung und Kontrolle **gefährlicher Abfälle** gilt nicht für radioaktive Abfälle. Die Grundnormen für den **Gesundheitsschutz** enthalten ebenfalls keine Regelungen, die die Verbringung radioaktiver Abfälle betreffen. Zur Behebung dieses Defizits hat der Rat die Richtlinie 92/3/EURATOM erlassen.

Verbringung im Sinne der Richtlinie bedeutet die "Vorgänge zur Beförderung radioaktiver Abfälle vom Ausgangs- zum Bestimmungsort, einschließlich Be- und Entladung". Diese Definition ist missverständlich, da sich die Richtlinie nicht auf die tatsächliche Durchführung einer Beförderung bezieht. Die Richtlinie regelt lediglich die formelle Ein-, Aus- und Durchfuhr radioaktiver Abfälle, sie entspricht den deutschen Ein- und Ausfuhrregelungen im Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung. Sie soll diese letztlich ersetzen.

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

Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31.07.1998 (BGBl. I, Seite 1918)

Die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung setzt die Richtlinie 92/3/EURATOM vom 3. Februar 1992 zur Überwachung und Kontrolle der Verbringung radioaktiver Abfälle in nationales Recht um. Die Richtlinie diene der Kompensation des Wegfalls von Kontrollen an den Binnengrenzen der Europäischen Gemeinschaften und vereinheitlicht die Anforderungen für die Einfuhr aus Drittländern und Ausfuhr in Drittländer, die nicht Mitglied der Europäischen Gemeinschaft sind.

Für die formelle Umsetzung in eine nationale Rechtsverordnung war eine Änderung des Atomgesetzes erforderlich. Im Rahmen der am 1. Mai 1998 in Kraft getretenen Atomgesetznovelle wurde eine entsprechende Ermächtigungsvorschrift für die formelle Umsetzung dieser Richtlinie durch die Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) in das Atomgesetz aufgenommen. Die Verordnung bedurfte dann noch der Zustimmung des Bundesrates, die dieser am 8. Mai 1998 mit geringfügigen Änderungen zu der vom Bundeskabinett am 28. August 1997 beschlossenen Verordnung erteilt hat. Mit Inkrafttreten der AtAV entfällt für die nach dieser Verordnung abzuwickelnden Verbringungen die Anwendung der Strahlenschutzverordnung (§ 11 Abs. 1) für radioaktive Abfälle.

1.3 Übersicht über die Ein- und Ausfuhrstatistik radioaktiver Stoffe

Im Jahr 1999 wurden vom BAFA folgende Genehmigungen und Anzeigen erteilt bzw. bearbeitet:

58*	Einfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
76	Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG
9	Ausfuhrgenehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)
16	Ausfuhrgenehmigungen für radioaktive Abfälle gemäß § 11 Abs. 1 StrlSchV (Großquellen)
143.903	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 1 u. 2 StrlSchV
23.347	Ausfuhranzeigen nach § 12 Abs. 4 StrlSchV
34	Einfuhranzeigen nach § 12 Abs. 3 StrlSchV

* Die geringe Ausnutzung der erteilten Genehmigungen erklärt sich wie auch bereits im Vorjahr durch die Aussetzung der Transporte für bestrahlte Brennelemente

Genehmigungen für radioaktive Abfälle nach § 11 Abs. 1 StrlSchV sind auf Grund der Bestimmungen der Atomrechtlichen Abfallverbringungsverordnung (AtAV) 1999 nicht mehr erteilt worden. Die vorliegende Statistik enthält somit keine diesbezüglichen Daten; diese sind den regelmäßigen Berichten an die Kommission zu entnehmen.

Die Zahl der bearbeiteten Anzeigen ging von 169.133 im Jahr 1998 auf 167.284 im Jahr 1999 geringfügig zurück.

Einen Überblick über die Ein- bzw. Ausfuhr radioaktiver Stoffe für die Bundesrepublik Deutschland von 1983 - 1999 geben die Tabellen 1 und 2.

Die **Gesamteinfuhr** an Radionukliden in Gigabecquerel (GBq) ging im Jahr 1999 in allen Bereichen weiter zurück. Bei der Einfuhr von Kernbrennstoffen (inkl. kleinster Mengen bestrahlten Materials) ist wieder ein leichter Rückgang um ca. 5 % zu verzeichnen.

Die **Gesamtausfuhr** von Radionukliden in GBq nahm im Jahr 1999 wieder leicht ab, im Wesentlichen verursacht durch den Rückgang bei den umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq. Bei den offenen und umschlossenen Radionukliden ohne Quellen ab 1850 GBq war ein deutlicher Anstieg zu beobachten. Bestrahlungsproben wie aktivierte Anlagenteile wurden nicht in signifikanten Mengen ausgeführt.

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

Tabelle 1 Einfuhr radioaktiver Stoffe in die Bundesrepublik Deutschland

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)
1985	4 740 823	25 700	28 103 121	32 869 644	2 650 716
1986	6 898 702	482 006	75 665 995	83 046 703	2 550 506
1987	2 819 826	9 415	22 601 222	25 430 463	3 164 497
1988	3 847 911	65 858	60 575 600	64 489 369	2 139 796
1989	2 399 272	103 372	90 816 100	93 318 744	1 508 501
1990	2 682 529	319 142	61 850 900	64 852 571	2 206 300
1991	3 040 547	72 469	102 929 300	106 042 316	1 461 661
1992	4 470 768	1 470 922	31 326 500	37 268 190	1 742 521
1993	3 227 143	2 546 470	23 330 800	29 104 413	2 306 737
1994	1 911 797	1 072 513	71 315 900	74 300 210	1 999 972
1995	4 686 926	72 629	38 600 400	43 360 955	2 049 273
1996	10 447 635	511 014	59 959 336	70 917 985	2 226 240
1997	1 541 873	51 948	79 215 145	80 808 066	2 490 191
1998	3 254 186	26 300	63 455 965	66 736 451	2 685 212
1999	2 149 973	237	49 894 030	52 044 519*	2 540 221

Tabelle 2 Ausfuhr radioaktiver Stoffe aus der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Radionuklide ohne umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Bestrahlungsproben (GBq)	Umschlossene Quellen ab 1850 GBq (GBq)	Gesamtausfuhr (GBq)	Kernbrennstoffe, Ausgangsstoffe (unbestrahlt u. bestrahlt) (kg)
1985	4 586 528	57	4 469 100	9 055 685	1 876 471
1986	2 889 014	0	4 405 200	7 294 214	5 665 746
1987	1 536 731	228 910	3 692 900	5 458 541	2 090 991
1988	3 001 859	11	3 372 000	6 373 870	2 457 445
1989	765 723	97	2 548 600	3 314 420	5 024 837
1990	1 511 312	17 808	2 499 700	4 028 820	2 800 495
1991	651 462	244	12 399 100	13 050 806	8 164 086
1992	2 015 066	27	5 994 200	8 009 293	2 990 557
1993	2 365 740	0	3 063 200	5 428 940	2 983 893
1994	1 447 018	98	2 137 812	3 584 928	2 078 477
1995	1 088 060	22 201	5 702 702	6 812 963	1 657 725
1996	960 351	1 335	3 009 100	3 970 786	2 146 830
1997	392 404	22	2 146 212	2 538 638	3 550 137
1998	550 637	25 044	2 333 673	2 909 354	3 133 196
1999	711 403	81	1 705 422	2 424 966*	3 257 216

* inkl. sonstige radiokative Gemische

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 und Bestrahlungsproben. Die Gesamteinfuhr hat gegenüber dem Vorjahr zwar deutlich nachgelassen, im Wesentlichen jedoch nur wegen des Wegfalls der **Tritium**-einfuhren vor allem aus Kanada (vgl. 1998). Weiter Rückgänge sind sonst bei **Tritium**, **Krypton-85**, **Jod-125** und **Promethium-147** festzustellen.

Auffällige Zuwächse sind hingegen bei **Kobalt-60**, **Selen-75** und **Iridium-192** zu verzeichnen.

Die Radionuklide Co-60, **Molybdän-99**, **Jod-131** und Ir-192 machen an der Gesamteinfuhr bereits einen Anteil von 90,4 % aus, wobei Ir-192 den größten Einzelposten darstellt.

Die Einfuhren von Tritium-Gaslichtquellen stiegen deutlich weiter von 43.167 GBq (1998) auf 74.797 GBq (1999), wobei der größte Einzelposten wieder das Lieferland Schweiz mit diesmal 70.971 GBq war. H-3-Leuchtmasse wurde 1999 mit 5.900 GBq (ohne Leuchtfarbe auf Zeigern u. Zifferblättern) in halber Menge des Vorjahres auch wieder aus der Schweiz eingeführt.

**Tabelle 3 Aktivität der 1999 eingeführten offenen und umschlossenen Radionuklide
(ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq)**

Versenderland	Aktivitäten in GBq									
	H-3	C-14	P-32	Co-60	Se-75	Kr-85	Sr-90	Y-90	Mo-99	I-123
Frankreich	814	1	0	67	0	130	32	1.783	143.757	0
Belgien	99	232	649	2.358	0	11	0	0	129.778	143
Niederlande	0	0	131	0	0	19	2	354	183.981	1.098
Dänemark	1.404	0	0	0	370	2	0	0	0	0
Italien	0	0	0	0	289	106	1	0	21.457	0
Großbritannien	5.378	1.672	499	0	253	2.491	667	1.449	90.168	4
Norwegen	54	0	0	4	3.656	15	0	0	0	0
Schweiz	80.579	0	0	30	8.522	7	599	11	0	0
USA	178	213	105	228.339	0	679	66	19	0	0
Kanada	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0
Australien	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0
Japan	0	21	0	0	0	1.607	0	0	0	0
Ungarn	0	1	189	0	9	0	0	0	0	0
Russland	1.904	2.748	11	9.704	1.777	0	1.110	0	0	0
Tschechien	0	0	0	0	857	4	659	0	800	0
Chile	0	0	0	0	999	0	0	0	0	0
Polen	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0
Südkorea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Taiwan	0	0	0	0	3.415	0	0	0	0	0
Ver. Arab. Emirate	0	0	0	0	1.246	0	0	0	0	0
Indien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Israel	0	0	0	0	572	0	0	0	0	0
Indonesien	0	0	0	0	3.619	0	1	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	880	0	0	0	0	0
Sonstige	1	0	0	15	795	396	24	110	0	0
Summe 1999	90.411	4.888	1.584	240.518	27.259	5.516	3.161	3.726	569.941	1.245
Summe 1998	1.944.775	14.157	1.250	11.510	17.774	11.193	4.180	4.917	558.147	2.292
Änderungen %	- 95	- 65	+ 27	+ 1990	+ 53	-49	- 24	- 24	+ 3	- 46

Fortsetzung Tabelle 3

Versenderland	Aktivitäten in GBq										
	I-125	I-131	Xe-133	Cs-137	Pm-147	Re-186	Ir-192	Tl-201	Am-241	Sonst.	Summe
Frankreich	41	1.490	0	516	11	1286	803	1.442	2.154	1.647	155.974
Belgien	83	210.245	967	10	0	0	263.581	3.565	74	625	612.420
Niederlande	0	19.208	75	0	0	546	502.067	3.417	0	733	711.631
Dänemark	0	0	0	0	0	0	9	0	0	4	1.789
Italien	10	0	0	405	7	0	117	0	0	22	22.414
Großbritannien	625	19	1.123	9.752	4	0	6.065	559	6.028	2.673	129.429
Norwegen	1	0	0	2	0	0	552	0	0	1	4.285
Schweiz	17	0	0	380	12.803	0	12.992	0	869	832	117.641
USA	1.189	0	0	77	152	277	67.009	0	117	1.307	299.727
Kanada	3.429	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3.439
Australien	0	0	0	2	0	0	1.417	0	1	1	1.468
Japan	3	0	0	0	129	0	4.707	0	0	1	6.468
Ungarn	6	0	0	0	0	0	5.884	0	0	101	6.190
Russland	0	0	0	229	0	0	17.018	0	1.223	510	36.234
Tschechien	0	0	0	503	0	0	1.598	0	3.724	0	8.145
Chile	0	0	0	0	0	0	322	0	0	0	1.321
Polen	0	0	0	0	0	0	2.151	0	2	3	2.159
Südkorea	0	0	0	1	0	0	1.131	0	0	1	1.133
Taiwan	0	0	0	0	0	0	6.938	0	0	0	10.353
Ver. Arab. Emirate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.246
Indien	0	0	0	0	0	0	1.577	0	0	37	1.614
Israel	0	0	0	0	0	0	1.388	0	0	1	1.961
Indonesien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.620
Malaysia	0	0	0	0	0	0	306	0	0	0	1.186
Sonstige	243	70	0	94	396	0	5.135	0	714	133	8.126
Summe 1999	5.647	231.032	2.165	11.971	13.502	2.109	902.767	8.983	14.906	8.642	2.149.973
Summe 1998	2.311	237.354	2.529	11.098	21.658	1.334	376.113	12.390	13.336	5.868	3.254.186
Änderungen %	+ 144	- 3	- 14	+ 8	- 38	+ 58	+ 140	- 27	+ 12	+ 47	- 34

1.4.2 Einfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq

Tabelle 4 zeigt die Gesamtaktivitäten der Einfuhr an umschlossenen Strahlenquellen der Radionuklide **Kobalt-60, Selen-75, Cäsium-137 und Iridium-192**. Die Einfuhr hat 1999 im Vergleich zum Vorjahr etwas abgenommen; die Gesamtaktivität betrug im Jahr 1998 63.455.965 GBq und 49.894.030 GBq in 1999 trotz weiter angestiegener Stückzahl (1998: 585; 1999: 796). Der größte Einzelposten liegt wieder bei Co-60 mit 94,3 % der Gesamtaktivität (1998: 91,6 %).

Tabelle 4 Aktivität der 1999 eingeführten umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq

Versenderland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Frankreich	974.600	0	238.600	0	1.213.200
Belgien/Luxemb.	1.165.464	0	0	715.409	1.880.873
Niederlande	478.000	0	0	25.900	503.900
Großbritannien	16.502.000	0	561.000	19.300	17.082.300
Italien	132.700	0	0	0	132.700
Schweden	0	0	0	2.500	2.500
Schweiz	91.800	0	0	8.286	100.086
USA	0	0	0	268.925	268.925
Kanada	15.117.200	0	51.700	0	15.168.900
Russland	12.470.900	908.246	0	22.300	13.401.446
Slowenien	135.500	0	0	0	135.500
Polargebiete	0	0	3700	0	3.700
Summe	47.068.164	908.246	855.000	1.062.620	49.894.030
Stückzahl	129	229	17	421	796
Summe 1998	61.012.000	608.538	1.345.600	489.827	63 455.965
Änderungen %	- 23	+ 49	- 36	+ 117	- 21

1.4.3 Einfuhr von Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen

Tabelle 5 zeigt die Gesamteinfuhr des Jahres 1999 von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Im Vergleich zum Vorjahr ist hier wieder ein leichter Rückgang um 5,4 % festzustellen. Mengenmäßige Schwerpunkte liegen erwartungsgemäß wieder bei **Natururan** und angereichertem Uran mit 3 - 10 % **Uran-235**. An bestrahlten Kernbrennstoffen wurden 1999 nur 11 kg eingeführt.

Tabelle 5 Einfuhr von unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen im Jahr 1999

Versenderland	abger.	Natur-	mit U-235 angereichertes Uran			Plutonium	Thorium	Summe
	Uran	uran	bis 3 %	3 - 10 %	85 - 100 %			
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Frankreich	76.759	523.343	47	47.716	1	0	0	647.866
Belgien/Luxemb.	26.370	22.318	0	16.317	0	2.938	1.490	69.433
Niederlande	0	1.500	2.849	76.113	0	0	0	80.462
Großbritannien	0	906.921	0	65.323	0	0	0	972.244
Schweden	0	0	0	65.540	0	0	0	65.540
USA	913	43	708	79.040	0	0	0	80.704
Russland	0	326.616	0	59.968	0	0	0	386.584
Kasachstan	0	0	0	22.720	0	0	0	22.720
Kanada	0	200.879	0	0	0	0	0	200.879
Japan	36	18	0	0	0	0	0	54
China	0	0	0	13.724	0	0	0	13.724
Summe 1999	104.078	1.981.638	3.604	446.461	1	2.938	1.490	2.540.210
Summe 1998	37.988	2.102.753	39.024	501.286	79	2.489	1.580	2.685.199
Änderungen %	+ 174	- 6	- 91	- 11	- 99,3	+ 18	- 6	- 5

1.5 Ausfuhrstatistik

1.5.1 Offene und umschlossene Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr (Tabelle 6) nahm von 550.637 GBq (1998) hauptsächlich wegen der auf fast das Zweifache gestiegenen Ausfuhr von **Selen-75** sowie auf Grund des gut in 10-facher Gesamtaktivität ausgeführten **Kobalt-60** bei gleichzeitigem Nachlassen im Wesentlichen von **Promethium-147**- und **Americium-241**-Ausfuhren um 29,2 % auf 711.403 GBq (1999) weiter zu.

Mit 93,3 % bilden die Radionuklide **Tritium**, Co-60, Se-75, **Molybdaen-99**, **Jod-131** und **Iridium-192** bereits den größten Anteil der insgesamt ausgeführten Aktivität, wobei der mächtigste Einzelposten wieder Ir-192 ist. **Strontium-90** kam im Berichtszeitraum wieder hinzu.

1999 ist wieder erheblich mehr Tritium in Form von Gaslichtquellen ausgeführt worden, nämlich 61.502 GBq gegenüber 45.939 GBq im Jahr 1998, wobei der größte Anteil mit 41.635 GBq wieder in die USA geliefert worden ist. An Leuchtmasse war es 1999 mit 5.951 GBq deutlich weniger als 1998 (8.895 GBq), wobei diese fast ausschließlich nach Schweden verbracht worden ist. Lediglich 1,9 GBq Pm-147 Leuchtmasse wurden zusätzlich nach Singapur ausgeführt.

Tabelle 6 Ausfuhr offener und umschlossener Radionuklide ohne Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 1999

Verbraucherland	Aktivität in GBq								
	H-3	C-14	Co-60	Ni-63	Se-75	Kr-85	Sr-90	Mo-99	I-123
Frankreich	1.520	0	109.946	15	0	65	295	9.603	85
Belgien	11	0	1.793	630	0	94	58	5.319	0
Luxemburg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Niederlande	59	2	72	13	0	106	36	0	0
Italien	34	0	627	31	4.127	159	1	0	404
Großbritannien	248	27	114	74	7.596	83	20	3.132	0
Irland	0	0	2	1	0	147	0	0	0
Dänemark	6.475	3	54	13	518	3	0	0	0
Schweden	6.474	0	6	44	0	27	2	0	0
Österreich	1	0	15	6	0	154	5	0	1.012
Griechenland	2.148	0	4	6	0	15	2	0	0
Portugal	0	0	0	2	0	30	0	0	0
Schweiz	8.696	1	9	33	4.400	332	51	0	4
Norwegen	97	0	2	2	3.520	35	0	0	0
USA	41.713	3.630	838	705	0	81	613	0	0
Australien	30	0	1	1	0	1.250	0	0	39
Neuseeland	194	0	59	0	0	0	0	0	0
Japan	0	1	31	0	0	659	4	0	0
Türkei	567	0	3	1	1.500	4	1	0	0
Tschechien	5	0	2	10	0	459	6	5.573	14
Slowakei	17	0	394	0	0	0	0	2.155	5
Polen	0	0	38	1	1.402	0	3	8.986	0
Ungarn	20	0	0	1	0	0	0	0	0
Russland	0	0	0	0	30.464	224	3	0	0
Slowenien	0	0	0	4	0	3	0	0	0
Kuwait	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Südkorea	0	0	7	1	0	81	7	0	0
Brasilien	0	0	1	1	0	1.247	4	0	0
Singapur	41	0	9	0	0	13	0	0	0
Malaysia	0	0	4	0	3.100	0	0	0	0
Indien	0	0	12	1	0	29	0	0	0
Südafrika	414	0	2	2	0	9	2	0	0
Taiwan	0	0	64	0	0	23	0	0	0
Sonstige	407	1	1.267	85	1.370	647	55	0	0
Summe 1999	69.171	3.665	115.376	1684	57.997	5.979	1168	34.768	1.563
Summe 1998	59.086	4.287	14.035	989	33.269	5.787	-	32.876	1.585
Änderungen %	+ 17	- 15	+ 722	+ 70	+ 74	+ 3	-	+ 6	- 1

Fortsetzung Tabelle 6

Verbraucherland	Aktivität in GBq							
	I-125	I-131	Cs-137	Pm-147	Ir-192	Am-241	Sonstige	Summe
Frankreich	750	34.641	1.053	234	18.075	515	12	176.809
Belgien	18	766	91	0	0	113	73	8.966
Luxemburg	0	0	0	0	5.376	185	37	5.598
Niederlande	17	26.474	212	26	91.830	0	17	118.864
Italien	22	290	12	32	5.080	116	233	11.168
Großbritannien	1	11.497	651	3.922	2.099	251	57	29.772
Irland	0	0	28	39	1.652	2	0	1.871
Dänemark	1	0	7	0	1.578	42	0	8.694
Schweden	0	0	40	24	3.129	75	24	9.845
Österreich	4	1.958	10	4	6.248	614	547	10.578
Griechenland	4	0	785	29	16.500	34	1	19.528
Portugal	0	0	32	0	3.128	87	65	3.344
Schweiz	2	0	134	3	9.364	1.262	269	24.560
Norwegen	0	0	45	57	3.372	9	2	7.141
USA	665	0	2.102	2.760	751	1.050	80	54.988
Australien	0	7	1	0	1.320	14	23	2.686
Neuseeland	0	0	20	0	1.687	0	0	1.960
Japan	0	0	12	131	17.623	74	3	18.538
Türkei	0	15	23	0	1.219	18	0	3.351
Tschechien	5	3.285	4.027	7	30.441	117	100	44.051
Slowakei	1	511	37	0	2.137	0	6	5.263
Polen	48	0	2.506	4	9.506	300	60	22.854
Ungarn	1	7	61	1	10.143	5	9	10.248
Russland	0	0	102	0	2.082	80	0	32.955
Slowenien	0	0	0	0	2.503	6	1	2.517
Kuwait	0	0	0	0	30.077	0	0	30.078
Südkorea	3	0	12	0	6.048	559	0	6.718
Brasilien	0	15	144	25	4.235	24	0	5.696
Singapur	0	0	15	843	2.649	0	0	3.570
Malaysia	0	0	64	0	0	7	0	3.175
Indien	0	0	602	0	5.669	596	8	6.917
Südafrika	0	0	0	0	1.192	24	0	1.645
Taiwan	0	0	59	25	1.286	37	0	1.494
Sonstige	39	0	1.521	139	9.088	1.249	93	15.961
Summe	1.581	79.466	14.408	8.305	307.087	7.465	1.720	711.403
Summe 1998	-	69.666	18.646	12.786	280.439	14.463	2.723	550.637
Änderungen %	-	+ 14	- 23	- 35	+ 10	- 48	- 37	+ 29

1.5.2 Umschlossene Strahlenquellen ab 1850 GBq

Die Gesamtausfuhr von umschlossenen Strahlenquellen ab 1850 GBq (Tabelle 7) nahm wieder ab um 26,9 % von 2.333.673 GBq in 1998 (296 Stück) auf 1.705.422 GBq in 1999 (319 Stück). Die Verhältnisse von Aktivitäten zu Stückzahlen haben sich insgesamt etwas verkleinert (vgl. dazu Tabelle 7).

Tabelle 7 Ausfuhr umschlossener Strahlenquellen ab 1850 GBq im Jahr 1999

Verbraucherland	Aktivität in GBq				
	Co-60	Se-75	Cs-137	Ir-192	Summe
Großbritannien	0	2.200	0	0	2.200
Niederlande	0	0	0	58.312	58.312
Belgien	0	3.000	0	0	3.000
Dänemark	0	47.126	0	0	47.126
Schweden	0	0	0	9.579	9.579
Spanien	1.900	5.328	0	0	7.228
Portugal	0	10.800	0	3.200	14.000
Italien	10.150	2.100	0	0	12.250
Österreich	0	2.800	0	0	2.800
Norwegen	0	25.650	0	0	25.650
Schweiz	2.600	18.108	0	105.765	126.473
USA	0	0	2.200	0	2.200
Türkei	0	5.100	0	4.200	9.300
Südkorea	0	0	11.200	0	11.200
Tschechien	0	21.548	0	133.830	155.378
Mazedonien	0	0	0	7.200	7.200
Bosnien Herzegowina	0	2.627	0	3.700	6.327
Slowakei	0	2.849	0	2.100	4.949
Bulgarien	0	2.675	0	0	2.675
Polen	0	19.286	0	0	19.286
Tunesien	0	0	0	7.326	7.326
Ägypten	0	0	0	20.500	20.500
Vereinigte Arab. Emirate	0	6.200	0	26.118	32.318
Brasilien	0	5.032	0	0	5.032
Kamerun	0	0	0	3.600	3.600
Saudiarabien	0	3.300	0	0	3.300
Kuwait	0	0	0	13.240	13.240
China	0	0	1.900	0	1.900
Taiwan	0	5.200	44.400	175.543	225.143
Indonesien	0	24.220	0	0	24.220
Vietnam	0	0	0	9.200	9.200
Russland	3.500	16.193	0	0	19.693
Weißrussland	0	0	0	7.359	7.359
Slowenien	407.000	0	0	14.460	421.460
Malaysia	0	19.339	0	2.700	22.039
Mauritius	0	2.900	0	3.400	6.300
Nauru	0	5.550	0	0	5.550
Argentinien	0	22.482	0	3.800	26.282
Tansania	258.000	0	0	0	258.000
Chile	3.400	10.900	0	3.600	17.900
Israel	22.200	4.800	0	12.027	39.027
Algerien	0	5.500	0	0	5.500
Aserbaidshan	0	0	0	3.400	3.400
Summe 1999	708.750	302.813	59.700	634.159	1.705.422
Stückzahl	11	101	5	202	319
Summe 1998	1.033.800	250.264	549.850	499.759	2.333.673
Änderungen %	- 31	+ 21	- 89	+ 27	- 27

1.5.3 Unbestrahlte Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe

Tabelle 8 zeigt die Gesamtausfuhr an unbestrahlten Kernbrennstoffen und Ausgangsstoffen in Kilogramm. Es erfolgte wieder eine leichte Zunahme der Ausfuhrmenge von 3.020.821kg (1998) um 7,8 % auf 3.257.188 kg (1999). Der mengenmäßig größte Anteil liegt vorwiegend wieder bei abgereichertem Uran, aber auch bei den Ausgangsstoffen sowie Natururan und angereichertem Uran mit 3 - 10 %-igem Anteil U-235 sind größere Posten festzustellen. Uran mit 20 - 85 % und über 85 % U-235 sowie Plutonium waren auch 1999 nicht vertreten; Thorium ist wie im Vorjahr in kleineren Mengen ausgeführt worden. Material der Anreicherung von 10 - 20 % U-235 war auch 1999 nicht dabei.

Tabelle 8 Ausfuhr unbestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1999 in kg

Verbraucherland	abger. Uran	Ausgangsstoffe	Natururan	mit U-235 angereichertes Uran		Thorium	Summe
				bis 3 %	3 - 10 %		
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Frankreich	251.183	0	265	0	77.205	0	328.653
Belgien/Luxemb.	1	0	0	0	26.099	0	26.100
Niederlande	0	0	5	0	11.588	0	11.593
Großbritannien	84.309	0	89.430	5	36.138	0	209.882
Spanien	0	32.636	0	0	22.749	0	55.385
Schweden	1	0	2.135	591	46.614	1	49.342
Finnland	0	0	0	0	22.610	0	22.610
Schweiz	10	0	0	0	22.416	0	22.426
Tschechien	2.417	0	0	0	0	0	2.417
USA	0	0	0	51	93.678	0	93.780
Kanada	0	0	67	0	0	0	67
Russland	2.428.608	0	0	0	0	0	2.428.608
Brasilien	0	0	0	1.963	4.394	0	6.357
Indien	1	0	0	0	0	1	2
Sonstige	10	0	4	0	0	3	17
Summe 1999	2.766.540	32.636	91.906	2.610	363.491	5	3.257.188
Summe 1998	2.614.049	65.318	1.674	206	339.256	25	3.020.821
Änderungen %	+ 6	- 50	+ 5.390	+ 1.167	+ 7	- 80	+ 8

1.5.4 Bestrahlte Kernbrennstoffe

In Tabelle 9 sind die Ausfuhrdaten für bestrahlte Kernbrennstoffe zusammengestellt. Die insgesamt ausgeführte Menge ist von 112.375 kg im Jahr 1998 auf wenig signifikante 28 kg im Jahr 1999 gefallen. Es handelte sich hierbei um Kleinmengen ursprünglich höher angereicherten bestrahlten Brennstoffes von Forschungsreaktoren (sog. MTR-Brennelemente; MTR = Material Testing Reactor), welcher Eigentum der USA ist und somit nach dem Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer wieder zurückgeführt wurden.

Das Fehlen jeglicher Daten zur Lieferung bestrahlter Brennelemente aus zivilen Leistungsreaktoren nach Frankreich und Großbritannien erklärt sich wie auch die relativ geringe Nutzung der erteilten Ausfuhrgenehmigungen nach § 3 AtG durch die Beibehaltung der Aussetzung von Transporten für bestrahlte Brennelemente vom Vorjahr, da diese ansonsten zur vertragsgemäßen Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien verbracht worden wären.

Tabelle 9 Ausfuhr bestrahlter Kernbrennstoffe und Ausgangsstoffe 1999 in kg

Verbraucherland	mit U- 235 angereichertes Uran		Summe
	bis 10 - 20 %	20 - 85 %	
	(kg)	(kg)	(kg)
USA	14	14	28
Summe	14	14	28

2. BEFÖRDERUNG RADIOAKTIVER STOFFE

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich nukleare Entsorgung und Transport, Salzgitter

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 Atomgesetz (AtG) ist das Bundesamt für Strahlenschutz für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für Kernbrennstoffe (§ 4 AtG) und für Großquellen (§ 8 StrlSchV) zuständig. Im Jahr 1999 wurden insgesamt 152 Genehmigungen (Einzel-, Mehrfach- und allgemeine Genehmigungen) erteilt.

Die insgesamt 313 Transporte von Kernbrennstoffen, die 1999 durchgeführt wurden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Kernbrennstofftransporte im Jahr 1999
(Unterscheidung der Beförderungen nach Verkehrsträgern und Verkehrsart)

Inlandtransporte	
Schiene / bestrahltes Material	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0
Straße / unbestrahltes Material	85
Straße / bestrahltes Material	0
Straße / Reststoffe und Abfall	0
insgesamt	85
Grenzüberschreitende Transporte a)	
Luft / unbestrahltes Material	14
Luft / bestrahltes Material	0
See / unbestrahltes Material	66
See / bestrahltes Material	5
See / Reststoffe und Abfall	10
Schiene / unbestrahltes Material	0
Schiene / bestrahltes Material	0
Schiene / Reststoffe und Abfall	0
Straße / unbestrahltes Material	130
Straße / bestrahltes Material	2
Straße / Reststoffe und Abfall	1
insgesamt	228

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

2.2 Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

Daten des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA), Bonn

Mit der Privatisierung sowohl der Deutschen Bundesbahn als auch der Deutschen Reichsbahn und der Zusammenführung in die Deutsche Bahn AG wurde mit Wirkung vom 01. Januar 1994 das **Eisenbahn-Bundesamt (EBA)** als selbständige, dem Bundesministerium für Verkehr, jetzt Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), nachgeordnete Bundesoberbehörde errichtet [siehe 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 Atomgesetz (AtG). Die folgenden Zahlen für 1999 wurden dem Jahresbericht 1998 des EBA entnommen.

Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Wagenladungssendungen radioaktiver Stoffe 1999 im Vergleich zu 1998. Die Summe des Transportaufkommens im Wagenladungsverkehr mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen ist 1999 im Vergleich zu 1998 stark zurückgegangen.

Der Rückgang lässt sich aus folgenden Ereignissen direkt ableiten:

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

Ab der 40. KW 1998 fanden auf Grund eines Gerichtsbeschlusses keine Einlagerungen im Endlager Morsleben (ERAM) mehr statt, dementsprechend liefen seit diesem Zeitpunkt keine Transporte mehr nach ERAM.

Tabelle 2 Wagenladungssendungen der Deutschen Bundesbahn mit Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen im Jahr 1999 mit Vergleichswerten aus 1998

Art der Sendung	Anzahl der Wagen		Bruttogewicht der Ladung (t) (z. T. geschätzt)	Bruttogewicht der Ladung (t) (z. T. geschätzt)
	1999	1998	1999	1998
Kernbrennstoffe				
Unbestrahlte Brennelemente *)	-	-	-	-
Bestrahlte Brennelemente	-	35	-	3494
Bestrahlte Brennstoffproben	-	-	-	-
angereichertes Uran in Form von Uranhexafluorid (UF ₆), anger. Uran in Form von UF ₆ -Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z. B. Uranylinitrat (UNH)	-	-	-	-
Konditionierte Rückstände z. B. in 200 l - Metallfässern mit Zusatzabschirmung **)	-	-	-	-

Fortsetzung Tabelle 2

Art der Sendung	Anzahl der Wa- gen		Bruttogewicht der Ladung (t) (z. T. geschätzt)	Bruttogewicht der Ladung (t) (z. T. geschätzt)
	1999	1998	1999	1998
Sonstige radioaktive Stoffe				
Uran der natürl. Isotopenzusammensetzung in Form von Uranhexafluorid (UF ₆) ***)	20	19	909	877
Rückstände aus UF ₆ -Ausheizungen (Heels)***)	5	4	150	105
Uran der natürl. Isotopenzusammensetzung in Form von UF ₆ Konversionsprodukten oder Wiederaufarbeitungsprodukten wie z. B. Uranylinitrat (UNH)***)	-	-	-	-
Abgereichertes Uran in Form von z. B. Uranhexafluorid (UF ₆)	-	-	-	-
Uranerze, Uranerzkonzentrate	12	14	580	390
Lose und verfestigte schwachradioaktive Rückstände z. B. in 200 l - Metallfässern **)	145	289	6270	10069
Strahlenquellen (Co-60, Cs-137, Am-241) sowie Geräte einschl. Strahlenquellen, Niobium-Konzentrate	-	14	906	906
Leere Verpackungen	13	8	100	322
Entleerte Transportbehälter für bestrahlte Brennelemente	9	32	700	2 689
Summe	204	415	8 709	18 852

- *) Bei sämtlichen Wagenladungssendungen mit unbestrahlten Brennelementen handelt es sich entweder um Transit- oder grenzüberschreitende Transporte
- **) Es handelt sich um Transporte im Zusammenhang mit der Konditionierung und Zwischenlagerung radioaktiver Abfallstoffe sowie den Transport radioaktiv kontaminierter Gegenstände
- ***) als sonstige radioaktive Stoffe gem. § 2 AtG, siehe unter Abschnitt 1.1. „Änderung des Atomgesetzes“

1999 erreichte die beförderte Gesamtaktivität im Wagenladungsverkehr 2,320 PetaBq. Beim Vergleich der beförderten Gesamtaktivitäten auf der Straße mit denen der Schiene ist festzustellen, dass der Transportumfang auf der Straße zwar größer ist, im Hinblick auf die transportierten Gesamtaktivitäten jedoch die Schiene den größeren Anteil hat.

Eine detaillierte Aufteilung der Abfalltransporte zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3 Aufteilung der Transporte im Jahr 1999 im Bereich der losen und verfestigten schwachradioaktiven Rückstände zu folgenden Empfängern

Monat	nach ERAM*	nach Studsvik (Schwe- den)	nach Gorleben	nach Mitterteich	nach Duisburg (GNS)	nach Jülich (KFA)	zum For- schungs- zentrum Karlsruhe (FZK)	zu sonstigen Stellen (z. B. Kernkraft- werke, etc.)
1	-	-	-	1	-	-	1	-
2	-	1	1	5	3	-	1	5
3	-	-	-	1	-	-	2	3
4	-	1	-	5	1	1	-	6
5	-	1	3	1	1	-	-	-
6	-	1	-	1	4	1	1	2
7	-	-	1	3	1	-	1	2
8	-	1	-	2	1	1	1	1
9	-	3	-	9	-	-	-	2
10	-	3	2	3	3	-	-	11
11	-	2	4	7	1	-	2	7
12	-	3	-	4	1	1	4	4
Σ**	-	16	11	42	16	4	13	43

* Einlagerungsstop für das Endlager Morsleben (ERAM) seit 1998

** Gesamtsumme aller Transporte loser und verfestigter schwachradioaktiver Rückstände beträgt 145

2.3 Verstöße, Vorkommnisse bzw. Unfälle bei der Beförderung

Einzuhaltende Gesetze, Richtlinien, Verordnungen etc.:

Die Aufsichtsbehörden sollen insbesondere die Einhaltung der Vorschriften des AtG, der hierzu erlassenen Rechtsverordnungen und der darauf beruhenden Anordnungen und Verfügungen der zuständigen Aufsichtsbehörden, die Beachtung der Genehmigungsbescheide und allgemeine Zulassungen sowie die Erfüllung der damit verbundenen Auflagen überprüfen (z. B. AtG, StrlSchV, AtDeckV, PÜ, GGVE/RID, SEWD-Richtlinie, etc.).

Vorkommnisse bei der Beförderung:

Für den Zuständigkeitsbereich des Eisenbahn-Bundesamtes als atomrechtliche Aufsichtsbehörde für die Beförderung radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen gemäß § 24 (1) Atomgesetz sind für das Jahr 1999 außer den eingegangenen Meldungen über erhöhte Radioaktivitäten bei Schrottlieferungen keine anderen Vorkommnisse zu verzeichnen.

Ordnungswidrigkeiten:

1999 wurden vom Referat 11 des Eisenbahn-Bundesamtes die in Tabelle 4 aufgeführten Ordnungswidrigkeitsverfahren bearbeitet.

Tabelle 4 Übersicht über bearbeitete Ordnungswidrigkeitsverfahren im Zusammenhang mit Beförderungen radioaktiver Stoffe im Schienen- und Schiffsverkehr der Eisenbahnen

Datum der Feststellung	Ort der Feststellung	Tatbestand	Maßnahme
09.12.98	Rbf Maschen	Beförderungsgenehmigung gem. § 8 StrlSchV wurde nicht mitgeführt	eingestellt am 26.10.99
21.09.99	Perl (Grenze)	13 nicht genehmigte Beförderungen von UF ₆	Straftatbestand an Staatsanwaltschaft am 29.09.99 abgegeben
12.08.99	Kraftwerk Walheim	falsche Eintragung im Frachtbrief	Über BMVBW an ausländische Behörde am 10.11.99 abgegeben
18.08.99	Seelze Rbf	fehlende Angaben im Frachtbrief	eingestellt am 07.10.99
26.08.99	Oberhausen-Osterfeld-Süd	fehlende Angaben im Frachtbrief	eingestellt am 05.10.99

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 1994 bis 1999 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 56,1 % ist auch im Jahr 1999 dem Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft zuzuordnen. In den Bereich Medizin lassen sich 26,0 % der Gesamtzahl der Verwender einordnen.

In Tabelle 2 ist in einer Übersicht die Zahl der Verwender radioaktiver Stoffe in den vier Bereichen im Jahr 1999 den Angaben des Jahres 1998 für die Bundesländer gegenübergestellt. Im hinteren Teil dieser Tabelle beziehen sich die Angaben ausschließlich auf Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe. Wie erwartet liegt die Zahl der Verwender umschlossener radioaktiver Stoffe im Bereich Industrie/gewerbliche Wirtschaft auch 1999 deutlich höher (Faktor 11 bis 15) als in den anderen Bereichen. Im Vergleich zum Jahr 1998 fiel die Gesamtzahl in diesem Bereich um 9 %, die Anwenderzahl in der zerstörungsfreien, ortsveränderlichen Werkstoffprüfung stieg um 2 %.

Eine Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen nach §§ 15 und 16 der Strahlenschutzverordnung im Jahr 1999 gibt Tabelle 3. Auch hier sind zum Vergleich die Zahlen vom Vorjahr angegeben. Die Gesamtzahl der Verwender erhöhte sich um 12 %.

Tabelle 4 gibt einen Einblick in die Entwicklung der gültigen Genehmigungen in den einzelnen Bundesländern für 1998 und 1999. Die Gesamtzahl der gültigen Genehmigungen zeigt für den Betrachtungszeitraum eine leicht steigende Tendenz. Analog zum Vorjahr verteilen sich 1999 die Genehmigungen im Wesentlichen zu 81 % auf Umgang (§ 3 StrlSchV), zu ca. 4 % auf Beförderung (§ 8 StrlSchV) und zu 13 % auf Tätigkeiten in fremden Anlagen (§ 20 StrlSchV). Nur ca. 0,3 % der Genehmigungen wurden gemäß § 9 AtG erteilt.

In Tabelle 5 ist eine Übersicht über die in den Jahren 1998 und 1999 erteilten Genehmigungen nach §§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV und § 9 AtG zusammengestellt. Im Vergleich zum Jahr 1998 nahm die Zahl der 1999 erteilten Genehmigungen um ca. 9 % zu.

Der Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1999 kann einer Übersicht in Tabelle 6 entnommen werden. Von den insgesamt 115112 durchgeführten Dichtheitsprüfungen wurden 39 Präparate (ca. 0,3 %) als undicht ermittelt. Davon betroffen waren, sofern gemeldet, u.a. 14 Americium-241-Quellen, 3 Cäsium-127-Quellen, 1 Strontium-90-Quelle und 1 Radium-225-Quelle. Eine genaue Aufschlüsselung ist ebenfalls Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 1 Verwender radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland von 1994 - 1999

		1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998	1999
Baden-Württemberg	Verwender radioaktiver Stoffe	2010	1747	1804	1824	1814	1700
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		467	454	433	481	462
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		344	378	409	285	240
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		904	935	972	1025	956
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		32	37	10	23	42
Bayern	Verwender radioaktiver Stoffe	1811	1748	1781	1721	1742	1639
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		385	376	376	382	365
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		203	200	188	195	222
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		1074	1112	1059	1074	1009
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		86	93	98	91	43
Berlin	Verwender radioaktiver Stoffe	718	1109	987	950	971	1021
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		449	356	404	413	434
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		353	305	372	380	402
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		307	326	174	178	185
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		0	0	0	0	0
Brandenburg	Verwender radioaktiver Stoffe	226	226	247	233	255	259
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		15	25	33	34	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		14	26	19	23	27
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		182	180	167	181	196
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		15	16	14	17	8
Bremen	Verwender radioaktiver Stoffe	115	100	98	96	119	112
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		19	19	18	28	25
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		7	7	6	6	6
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		72	71	71	73	70
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		2	1	1	12	11
Hamburg	Verwender radioaktiver Stoffe	393	302	357	303	309	309
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		78	82	63	66	63
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		36	39	31	32	37
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		167	205	188	190	191
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		21	31	21	21	18
Hessen	Verwender radioaktiver Stoffe	795	801	758	760	758	725
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		213	211	200	196	189
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		92	95	88	94	94
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		450	412	428	425	401
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		46	40	44	43	41
Mecklenburg-Vorpommern	Verwender radioaktiver Stoffe	164	211	195	242	250	220
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		65	39	74	77	43
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		29	30	34	35	38
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		110	119	126	130	132
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		7	7	8	8	7
Niedersachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	1145	1125	1015	1137	1051	1095
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		274	206	239	234	295
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		134	113	134	123	119
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		706	679	746	663	648
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		11	17	18	31	33
Nordrhein-Westfalen	Verwender radioaktiver Stoffe	2600	2814	2512	2545	1854	2337
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		714	760	755	507	633
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		384	110	102	97	97
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		1716	1595	1636	1243	1585
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		-	47	52	7	22
Rheinland-Pfalz	Verwender radioaktiver Stoffe	573	582	537	574	551	559
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		222	209	216	194	180
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		35	25	31	23	30
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		231	220	249	266	284
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		94	83	78	68	65

Fortsetzung Tabelle 1

		1994	1995 ¹⁾	1996	1997	1998	1999
Saarland	Verwender radioaktiver Stoffe	100	97	93	82	80	77
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		29	29	26	28	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		2	2	2	2	2
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		61	57	53	48	44
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		5	5	1	2	3
Sachsen	Verwender radioaktiver Stoffe	446	575	588	586	621	608
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		87	95	98	111	111
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		160	170	162	173	168
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		180	170	169	178	170
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		148	153	157	159	159
Sachsen-Anhalt	Verwender radioaktiver Stoffe	366	345	358	382	403	395
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		44	46	45	50	53
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		25	29	36	45	51
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		259	266	280	281	261
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		17	17	21	27	30
Schleswig-Holstein	Verwender radioaktiver Stoffe	410	406	418	436	436	436
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		109	113	119	119	119
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		33	33	34	34	34
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		237	245	256	256	256
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		27	27	27	27	27
Thüringen	Verwender radioaktiver Stoffe	241	217	224	243	243	254
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		20	23	28	28	28
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		10	11	11	11	10
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		184	184	197	194	205
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		3	6	7	10	11
Summe	Verwender radioaktiver Stoffe	12113	12405	11972	12114	11457	11746
	davon Bereich Medizin einschl. med. Forschung u. Lehre		3190	3043	3127	2948	3056
	das entspricht		25,7%	25,4%	25,8%	25,7%	26,0%
	davon Bereich Forschung und Lehre außerhalb d. Medizin		1861	1573	1659	1558	1577
	das entspricht		15,0%	13,1%	13,7%	13,6%	13,5%
	davon Bereich Industrie und gewerbliche Wirtschaft		6840	6776	6771	6405	6593
	das entspricht		55,1%	56,6%	55,9%	55,9%	56,1%
	davon Bereich Sonstige (z. B. Behörden)		514	580	557	546	520
	das entspricht		4,1%	4,8%	4,6%	4,8%	4,4%

1) ab 1995 neue Abfrage

Tabelle 2 Übersicht über die Zahl der Verwender von radioaktiven Stoffen sowie die Art der einzelnen Verwendungsbereiche 1998 und 1999

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von radioakti- ven Stoffen		Von Spalte 2 entfallen auf:								Von Spalten 3-6 entfallen auf Verwender ausschließlich um- schlossener radioaktiver Stoffe								Sonstige	
			Medizin einschl. med. Forschung und Lehre		Forschung u. Lehre außer- halb der Medi- zin		Industrie, gewerbl. Wirt- schaft		Sonstige		Medizin einschl. med. Forschung und Lehre		Forschung u. Lehre außer- halb der Medi- zin		Industrie, gewerbl. Wirt- schaft		In Spalte 9 enthaltene zerstörungs- freie, orts- veränderliche Werkstoffprü- fung			
1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Baden- Württemberg	1814	1700	481	462	285	240	1025	956	23	42	99	99	60	58	796	750	29	39	13	23
Bayern	1742	1639	382	365	195	222	1074	1009	91	43	34	30	59	74	999	569	16	12	72	38
Berlin	971	1021	413	434	380	402	178	185	0	0	103	121	16	17	223	224	12	11	0	0
Brandenburg	255	259	34	28	23	27	181	196	17	8	5	10	6	7	142	161	12	9	7	1
Bremen	119	112	28	25	6	6	73	70	12	11	10	1	5	1	48	45	2	0	7	6
Hamburg	309	309	66	63	32	37	190	191	21	18	3	4	14	20	140	143	9	6	14	6
Hessen	758	725	196	189	94	94	425	401	43	41	8	12	7	10	269	272	7	5	11	13
Mecklenburg- Vorpommern	250	220	77	43	35	38	130	132	8	7	17	13	5	7	107	109	7	6	1	5
Niedersachsen	1051	1095	234	295	123	119	663	648	31	33	81	81	51	125	588	575	32	28	14	16
Nordrhein- Westfalen	1854	2337	507	633	97	97	1243	1585	7	22	35	21	35	34	985	1058	46	66	2	18
Rheinland- Pfalz	551	559	194	180	23	30	266	284	68	65	10	11	16	19	196	203	8	5	7	6
Saarland	80	77	28	28	2	2	48	44	2	3	0	0	0	1	36	30	4	3	2	2
Sachsen	621	608	111	111	173	168	178	170	159	159	38	36	42	44	150	152	21	19	159	154
Sachsen- Anhalt	403	395	50	53	45	51	281	261	27	30	6	8	21	13	278	206	25	24	24	21
Schleswig- Holstein	436	436	119	119	34	34	256	256	27	27	13	13	4	4	19	19	7	7	11	11
Thüringen	243	254	28	28	11	10	194	205	10	11	6	7	2	2	154	165	10	13	2	3
Summe	11457	11746	2948	3056	1558	1577	6405	6593	546	520	468	467	343	436	5130	4681	247	253	346	323

Tabelle 3 Übersicht über die Zahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen 1998 und 1999 (§§ 15 und 16 StrlSchV)

Bundesland	Gesamtzahl der Verwender von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Von Spalte 2 entfallen auf:							
			Medizin einschließlich medizinische Forschung und Lehre		Forschung und Lehre außerhalb der Medizin		Industrie, gewerbliche Wirtschaft		Sonstige (z. B. Behörden)	
1	2		3		4		5		6	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Baden-Württemberg	43	51	28	32	13	14	2	5	0	0
Bayern	40	56	17	33	18	18	5	5	0	0
Berlin	38	41	17	21	21	20	0	0	0	0
Brandenburg	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0
Bremen	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Hamburg	10	14	4	4	3	7	2	2	1	1
Hessen	15	14	8	8	4	3	3	3	0	0
Mecklenburg-Vorpommern	7	6	7	6	0	0	0	0	0	0
Niedersachsen	30	30	21	23	3	4	4	2	2	1
Nordrhein-Westfalen	53	65	42	51	6	8	5	6	0	0
Rheinland-Pfalz	13	13	12	11	1	2	0	0	0	0
Saarland	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0
Sachsen	36	30	28	23	8	7	0	0	0	0
Sachsen-Anhalt	5	6	3	4	0	0	2	2	0	0
Schleswig-Holstein	13	13	13	13	0	0	0	0	0	0
Thüringen	6	8	6	6	0	0	0	2	0	0
Summe	320	358	217	246	77	83	23	27	3	2

Tabelle 4 Übersicht über die Entwicklung der gültigen Genehmigungen

	Umgang		Beförderung		Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen		Tätigkeiten in fremden Anlagen		Umgang nach		Gesamtzahl	
	(§ 3) ¹⁾		(§ 8) ¹⁾		(§§ 15,16) ¹⁾		(§ 20) ¹⁾		§ 9 AtG			
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Baden-Württemberg	2647	2530	118	86	74	84	509	467	15		3363	3167
Bayern	1829	1777	63	55	47	59	725	757	19	19	2683	2667
Berlin	971	984	86	91	38	41	118	131	0	2	1213	1249
Brandenburg	285	292	15	15	5	5	27	35	0	0	332	347
Bremen	156	146	13	18	2	3	32	28	1	1	204	196
Hamburg	387	375	25	27	14	14	72	76	0	0	498	492
Hessen	1313	1300	16	21	35	38	308	297	7	7	1679	1663
Mecklenburg-Vorpommern	223	227	6	6	8	7	54	67	0	0	291	307
Niedersachsen	2226	2222	136	125	44	47	254	253	2	2	2662	2649
Nordrhein-Westfalen	7300	7411	423	430	144	151	546	655	17	17	8430	8664
Rheinland-Pfalz	575	586	37	37	11	17	106	108	0	2	729	750
Saarland	153	150	23	22	7	7	28	24	1	1	212	204
Sachsen	648	628	39	38	41	32	139	151	11	10	878	859
Sachsen-Anhalt	423	420	25	27	9	10	34	45	2	2	493	504
Schleswig-Holstein	773	748	29	31	15	17	169	166	0	0	986	962
Thüringen	305	314	9	10	10	15	20	20	1	1	345	360
Summe	20214	20110	1063	1039	504	547	3141	3280	76	64	24998	25040

1) entsprechende §§ der Strahlenschutzverordnung

**Tabelle 5 Übersicht über die 1998 und 1999 erteilten Genehmigungen
(§§ 3, 8, 15, 16, 20 StrlSchV, § 9 AtG)**

Land	Zahl der Genehmigungen (neue Genehmigungen, Nachträge, Änderungen, Verlängerungen)	
	1998	1999
Baden-Württemberg	432	324
Bayern	441	384
Berlin	146	92
Brandenburg	79	86
Bremen	52	53
Hamburg	258	294
Hessen	303	280
Mecklenburg-Vorpommern	41	85
Niedersachsen	441	435
Nordrhein-Westfalen	832	676
Rheinland-Pfalz	169	166
Saarland	78	48
Sachsen	254	201
Sachsen-Anhalt	177	181
Schleswig-Holstein	78	109
Thüringen	112	121
Summe	3893	3535

Tabelle 6 Übersicht über den Umfang und die Ergebnisse der Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe im Jahr 1999

BUNDESLAND	Gesamtzahl der durchgeführten Dichtheitsprüfungen	Von Spalte 2 entfallen auf:									Anzahl der bei den Prüfungen lt. Spalte 2 als undicht ermittelten Präparate	Von Spalte 12 entfallen auf:				
		Co-60	Sr-90	Cs-137	Pm-147	Po-210	Ra-226	Am-241	Neutronenquellen	Sonst. Nuklide		Sr-90	Cs-137	Ra-226	Am-241	Sonst. Nuklide
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	18	19	21
Baden-Württemberg	1944	148	563	426	19	2	81	264	79	362	2	0	0	1	0	1 C-14
Bayern	2439	190	465	336	49	0	96	230	134	939	11	0	0	0	0	6 Ni-63; 3 Sm-151; 1 Co-57; 1 Fe-55
Berlin	281	15	161	31	1	0	2	36	3	32	0	0	0	0	0	5 Pu/Be
Brandenburg	728	92	21	397	1	0	4	48	125	40	6	0	1	0	0	
Bremen	72	14	7	13	1	0	0	31	3	3	0	0	0	0	0	
Hamburg	225	56	41	26	0	0	4	31	5	62	0	0	0	0	0	
Hessen	400	17	70	87	10	0	7	66	30	113	0	0	0	0	0	
Mecklenburg-Vorpommern	437	41	195	51	1	0	1	36	6	106	1	1	0	0	0	
Niedersachsen	1800	229	265	476	20	1	96	162	106	445	0	0	0	0	0	
Nordrhein-Westfalen	2434	400	291	535	31	0	285	563	18	311	3					
Rheinland-Pfalz	226	21	37	67	9	0	21	42	3	26	0	0	0	0	0	
Saarland	22	4	1	8	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	
Sachsen	2788	1055	203	634	8	0	7	192	52	637	16	0	2	0	14	
Sachsen-Anhalt	689	53	9	493	1	0	0	34	10	89	0	0	0	0	0	
Schleswig-Holstein	358	20	54	86	10	0	72	29	10	77	0	0	0	0	0	
Thüringen	269	15	27	192	0	0	0	13	4	18	0	0	0	0	0	
Summe	15112	2370	2410	3858	161	3	676	1785	589	3260	39	1	3	1	14	17

1) Keine Angabe der Radionuklide

3.2 Radioaktive Stoffe in Verbrauchsgütern, Industrieerzeugnissen und technischen Strahlenquellen

Nach der Strahlenschutzverordnung können bestimmte Gebrauchsgüter, die radioaktive Stoffe enthalten, sowie radioaktive Stoffe mit geringer Aktivität genehmigungsfrei verwendet werden. Diese Möglichkeit ist allerdings an eine Reihe von Auflagen gebunden, z. B. hinsichtlich des Verwendungszwecks, der Art und Aktivität der Radionuklide, der Umhüllung radioaktiver Stoffe oder der Dosisleistung an der Oberfläche des Produkts. Typische Fälle sind z. B.:

- Geräte, Anlagen oder sonstige Einrichtungen, die umschlossene radioaktive Stoffe enthalten und deren Bauart die nach Landesrecht zuständige Behörde nach Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zugelassen hat (z. B. Rauchmelder),
- elektronische Bauteile (Fernseher, Monitore),
- radioaktive Stoffe, die unter die allgemeinen Freigrenzen fallen.

Unter diese Regelungen fällt eine Vielzahl von Erzeugnissen, die sowohl in Wissenschaft und Technik als auch im privaten Bereich anzutreffen sind. Die in diesen Produkten eingebauten radioaktiven Stoffe sind nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht zu ersetzende Hilfsmittel, die erst eine bestimmte Leistung eines Gerätes ermöglichen. Sie tragen dazu bei, Energie zu sparen oder garantieren ein ordentliches Funktionieren lebensrettender Vorrichtungen, wie z. B. bei Ionisationsrauchmeldern. Einen Überblick über einige dieser Gebrauchsgüter und Industrieprodukte gibt Tabelle 1.

Tabelle 1 Radioaktive Stoffe enthaltende Gebrauchsgüter (typische Beispiele)

Industrieerzeugnisse	enthaltene Radionuklide und Aktivität
abgedeckte Skalen u. Zeiger für Instrumente mit Leuchtfarben	bis ca. 250 MBq H-3 5 MBq Pm-147
Starter für Leuchtstoffröhren	bis ca. 500 Bq Kr-85 oder H-3
Ionisationsrauchmelder	bis ca. 50 kBq Am-241
Schutzgas-Schweißelektroden	bis ca. 2000 Bq Thorium (natürlich)
Gasglühstrümpfe *)	ca. 1000 Bq Thorium (natürlich)

*) in den letzten Jahren wurden für den privaten Gebrauch fast ausschließlich Gasglühstrümpfe ohne Thorium verkauft

Radioaktive Stoffe enthaltende Baumaterialien sind im Kapitel 2 im Teil I zusammengestellt.

Werkstoffprüfungen, Füllstandsmessungen, Dicken- und Dichtenmessungen

Für Werkstoffprüfungen werden die in Tabelle 2 angegebenen Radionuklide verwendet. Iridium-192 ist das weitaus am häufigsten verwendete Nuklid. Es ist besonders geeignet für Prüfungen an 1 bis 7 cm dicken Eisenteilen und besitzt eine sehr hohe spezifische Aktivität, so dass die Quelle in ihren Abmessungen sehr klein gehalten werden kann. Das am zweithäufigsten verwendete Kobalt-60 wird vorzugsweise bei Eisenteilen mit Dicken zwischen 5 und 15 cm eingesetzt. Die niedrige spezifische Aktivität ist der Hauptnachteil von Cäsium-137, das daher kaum Anwendung findet. Andere γ -Strahler sind nicht praktikabel, weil die spezifische Aktivität zu klein oder die Halbwertszeit zu kurz ist. Verlangt werden heute spezifische Aktivitäten im Bereich von 7,4 bis 14,8 TBq/Gramm.

Füllstandmessgeräte arbeiten in der Regel mit γ -Strahlern (Kobalt-60 und Cäsium-137) mit einer Aktivität bis zu 1 GBq. Zur Messung wird die von der Dichte abhängige Absorption der ionisierenden Strahlung herangezogen. Quelle und Detektor sind im Allgemeinen so gut abgeschirmt, dass praktisch kein Kontrollbereich entsteht. Außerdem sind die Geräte meistens an schwer zugänglichen Stellen eingebaut, die von Arbeitsplätzen weit entfernt sind, so dass keine Exposition der Arbeitskräfte auftreten kann.

Zur Dicken- und Dichtemessung werden im Wesentlichen die Radionuklide Krypton-85, Strontium-90 und Promethium-147 als β -Strahler und Kobalt-60, Cäsium-137 und Americium-241 als γ -Strahler benutzt. Die Aktivitäten liegen etwa zwischen 370 MBq und 370 GBq. Geräte mit β -Strahlung werden in

der Papier-, Textil-, Gummi- und Kunststoffindustrie eingesetzt, solche mit γ -Strahlung in der Holz-, Schaumstoff- und Stahlindustrie zur Dickemessung, in der Lebensmittelindustrie und chemischen Industrie zur Dichtemessung.

Tabelle 2 Radionuklide für Werkstoffprüfungen

Radionuklid	Halbwertszeit	γ -Energien	Dosisleistung in 1 m Abstand von 37 GBq
Iridium-192	74 d	0,30 - 0,61 MeV	4,8 mSv/h
Cäsium-134	2,1 a	0,48 - 1,4 MeV	8,7 mSv/h
Kobalt-60	5,3 a	1,17 und 1,33 MeV	13,0 mSv/h
Cäsium-137	30 a	0,66 MeV	3,3 mSv/h
Americium-241	432 a	60 keV	0,16 mSv/h

Strahlenexposition durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Störstrahlern

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der enthaltenen Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der allgemeinen Verbreitung dieser radioaktiven Industrieerzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d.h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung, wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein genehmigungsfreier Umgang ermöglicht wird, u.a. für Geräte, Instrumente oder andere Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Landesbehörde zugelassen worden sind.

Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen und der Beachtung des Grundsatzes, dass mit der Anwendung ein echter Vorteil verbunden sein muss, ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 10 Mikrosievert pro Jahr ist.

Andere Quellen ionisierender Strahlung sind die sogenannten Störstrahler. Dies sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlen erzeugt werden, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Kathodenstrahlröhren zur Wiedergabe von Bildinhalten, z. B. in Fernseh- und Datensichtgeräten. Bei den meisten von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt nach der Röntgenverordnung überprüften Geräten dieser Art wurde die vorgeschriebene höchstzulässige Ortsdosisleistung von 5 Mikrosievert pro Stunde in 5 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Obwohl bei Datensichtgeräten die Betrachtungsabstände nur etwa 0,5 m (ca. 3 m bei Fernsehgeräten) betragen und die zu unterstellende Betrachtungszeit mit acht Stunden im Vergleich zu Fernsehgeräten sehr viel länger ist, hat die Physikalisch-Technische Bundesanstalt festgestellt, dass die durch die überprüften Geräte verursachte Strahlenexposition für die betroffenen Arbeitnehmer nur wenige Prozent der natürlichen Strahlenexposition betragen würde.

Der jährliche Beitrag von Datensicht- und Fernsehgeräten zur Strahlenexposition der Bevölkerung wird zu weniger als 10 Mikrosievert abgeschätzt.

Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen solche Störstrahler nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen beruflich mit diesen Geräten umgehen.

3.3 Erhebung radioaktiver Reststoffe

Für Endlagerplanungsarbeiten ist es erforderlich, angefallene sowie zukünftig anfallende Mengen radioaktiver Reststoffe zu erheben. Wie in jedem Jahr hat das BfS zum 31.12.1999

- Lagerkapazität und Auslastung,
- Bestand an unbehandelten Reststoffen,
- Bestand und Anfall an behandelten Abfällen, und zwar an
 - Zwischenprodukten, die noch einer weiteren Behandlung zur Herstellung eines Abfallproduktes bedürfen und an
 - Abfallprodukten, die voraussichtlich keiner weiteren Behandlung unterliegen (Abfallgebinde),
- Prognose für das Jahr 2000

für vernachlässigbar wärmeentwickelnde und wärmeentwickelnde Abfälle bei den entsprechenden Ablieferungspflichtigen und Abführungspflichtigen (Landessammelstellen) ermittelt.

Bei einer Zwischenlagerkapazität insgesamt in Deutschland von ca. 360.000 m³ Abfallgebindevolumen ergibt sich ein Ausnutzungsgrad von 17%, d.h. im Mittel ist vorerst ausreichende Lagerkapazität vorhanden. Betrachtet man einzelne Abfallverursacher, wird es jedoch bald Engpässe geben. Die Berechnung basiert auf der Annahme, dass die Lager nur konditionierte Abfälle lagern und ist daher als konservativ zu betrachten. Darüber hinaus sind einige Lager bestimmten Abfallverursachern vorbehalten.

Im Folgenden werden die Bestände an unbehandelten Reststoffen und Zwischenprodukten sowie an konditionierten Abfällen für die Gruppen der Abfallverursacher dargestellt.

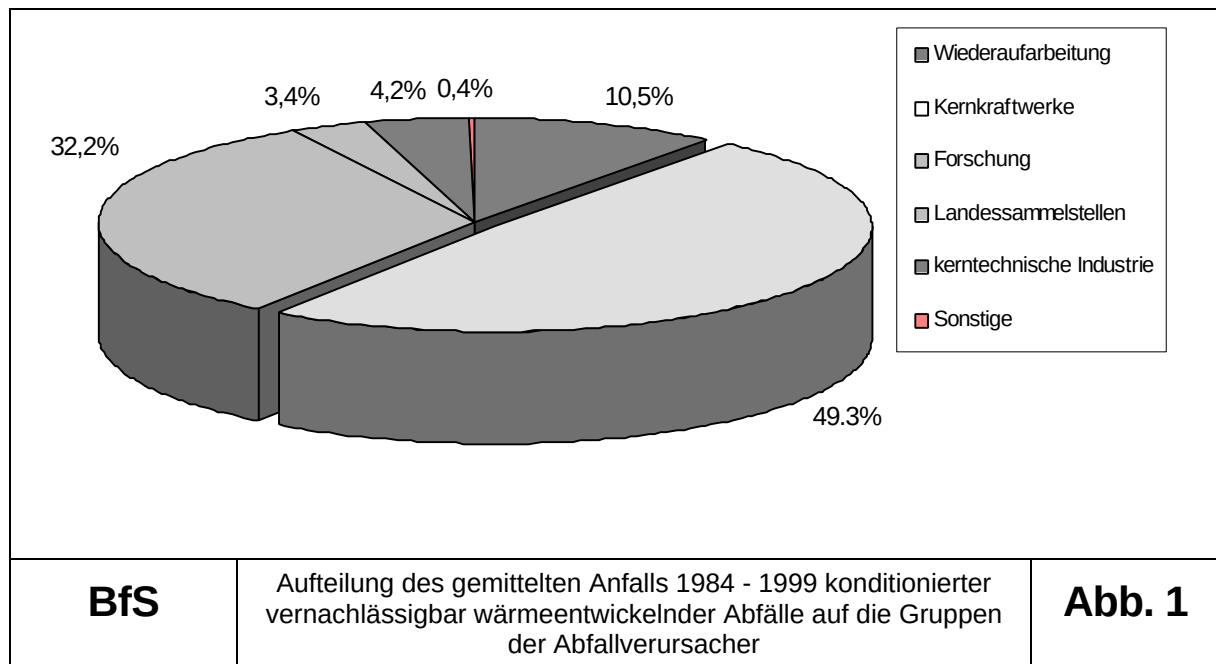
Tabelle 1 Bestand an vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Reststoffen in Deutschland am 31.12.1999, Angaben in

Abfallverursachergruppe	unbehandelte Reststoffe und Zwischenprodukte (m ³)	konditionierte Abfälle (m ³)
Forschungseinrichtungen	7095	30634
kerntechnische Industrie	11291	2864
Kernkraftwerke	5252	11792
stillgelegte Kernkraftwerke (31.12.99)	6038	4206
Landessammelstellen	875	2165
Sonstige	3410	212
Wiederaufarbeitung	617	11839
Summe	34578	63712

Typische Abfälle sind u.a. uran- und thoriumhaltige Feststoffe für die kerntechnische Industrie; Filter- und Verdampferkonzentrate, Harze aus der Primärkühlmittelreinigung sowie Filterkerzen für die Kernkraftwerke; Reaktordruckbehälterteile, Beton und Bioschild für die stillgelegten Kernkraftwerke; Quellen und Präparate aus der Medizin, Prüfstrahler für die Landessammelstellen; wärmeentwickelndes Spaltproduktkonzentrat sowie Hülsen- und Strukturteile aus der Wiederaufarbeitung.

Wärmeentwickelnde Abfälle fielen in Deutschland bisher nur in geringen Mengen an. Der mittlere jährliche Anfall an ausgedienten Brennelementen, die bisher überwiegend zur Wiederaufarbeitung ins Ausland verbracht wurden, beträgt ca. 468 Mg Uran (BMU 1999).

Der durchschnittliche Anfall an konditionierten vernachlässigbar wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen von 1984 bis 1999 beträgt ca. 4700 m³. Abbildung 1 zeigt die Aufteilung dieses Anfalls auf die Gruppen der Abfallverursacher.



Im Jahr 1999 wurde wesentlich weniger radioaktiver Abfall konditioniert als in den vorangegangenen Jahren. Ursache hierfür ist zweifellos die Schließung des Endlagers Morsleben. Das Ziel der Abfallkonditionierung, die Herstellung zwischen- und endlagerfähiger Abfallgebinde, lässt sich am besten durch die Konditionierung der Abfälle nach den Endlagerungsbedingungen für das geplante Endlager Konrad erreichen, dies wird von den Konditionierern auch zurzeit so praktiziert. Für die Konditionierung von Rohabfällen stehen erprobte Verfahren und Anlagen zur Verfügung.

Gemäß den Angaben der Abfallverursacher werden im Jahr 2000 ca. 7000 m³ konditionierte vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle anfallen.

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

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

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

Molekulare Veränderungen durch Ionisations- und Anregungsprozesse können der Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen sein. Allerdings ist das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis (Strahlungsenergie pro Masseneinheit) abhängig, sondern auch von der Art und Energie der Strahlung (Strahlenqualität). Dicht ionisierende Strahlung wie z. B. α -Teilchen kann biologisch wesentlich wirksamer sein als locker ionisierende Strahlung (z. B. γ - und β -Strahlung). Aus diesen Gründen ist die **Äquivalentdosis** H eingeführt worden, die sich aus der Energiedosis D durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen 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 (Tabelle 1) berücksichtigt. Die Äquivalentdosen der Organe und Gewebe eines Körpers werden gewichtet und zur effektiven Dosis aufsummiert. Die Summe aller Wichtungsfaktoren ist 1. Da sie dimensionslos sind, wird die effektive Dosis ebenfalls in Sievert angegeben. Die große Bedeutung der effektiven Dosis liegt darin, dass das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung einzelner Organe, z. B. nach Inkorporation von radioaktiven Stoffen, bewertet werden kann. Außerdem lassen sich die stochastischen Strahlenwirkungen durch Expositionen aus unterschiedlichen Quellen durch die Anwendung dieser im Strahlenschutz international gebräuchlichen Begriffe vergleichen.

Tabelle 1 Gewebe-Wichtungsfaktoren

Gewebe oder Organ	Gewebe-Wichtungsfaktor
Keimdrüse	0,20
Rotes Knochenmark	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Gewebe und Organe (Nebenniere, Gehirn, Dünndarm, Nieren, Muskeln, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymus, Gebärmutter)	0,05
Summe	1,00

Derartige Vergleiche werden in Berichten internationaler Kommissionen und internationaler Organisationen zusammengestellt, wie zum Beispiel vom Wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR).

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) passt in ihren Empfehlungen die Grenz- und Richtwerte dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Strahlenwirkungen an. Zuletzt wurden 1990 in der ICRP-Publikation 60 neue Definitionen von Dosisgrößen publiziert. Diese Empfehlungen fließen in die Rechtsetzung der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland sowie in Vorschriften und Normen ein.

1.4 Strahlenschutzmaßnahmen

Der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung der Gesundheit von Personen durch die Wirkungen ionisierender Strahlung wird dadurch begegnet, dass beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, bei ihrer Beförderung, ihrer Einfuhr und Ausfuhr, bei der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen Schutzmaßnahmen vorgesehen sind, die die Strahlenexposition der Bevölkerung oder einzelner Bevölkerungsgruppen auf ein Mindestmaß reduzieren. Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung "jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden" und "jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten" (§ 28 Abs. 1 und 2 der StrlSchV). Weiterhin sind höchstzulässige Dosiswerte (Dosisgrenzwerte) für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen in dieser Verordnung festgelegt.

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch mit Abluft oder Abwasser emittierte radioaktive Stoffe sind in § 45 Strahlenschutzverordnung Dosisgrenzwerte festgelegt: "Der Strahlenschutzverantwortliche hat die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlagen oder Einrichtungen so zu planen, dass die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus diesen Anlagen oder Einrichtungen mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition des Menschen jeweils die folgenden Grenzwerte der Körperdosen im Kalenderjahr nicht überschreitet": 0,3 Millisievert für die effektive Dosis und die Teilkörperdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter und rotes Knochenmark, 1,8 Millisievert für die Teilkörperdosis für Knochenoberfläche und Haut sowie 0,9 Millisievert für die Teilkörperdosis für alle übrigen Organe und Gewebe.

2. SI-EINHEITEN

2.1 Basiseinheiten

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

Tabelle 1 Basiseinheiten

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

2.2 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten können durch Vorsetzen der in Tabelle 2 aufgeführten Präfixe vor den Namen der Einheit bezeichnet werden.

Tabelle 2 Präfixe

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Präfix	Kurzbezeichnung	Faktor
Dezi	d	10^{-1}
Zenti	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Piko	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Tabelle 3 SI-Einheiten in der Radiologie

Physikalische Größe	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung
Aktivität	Becquerel (Bq) $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$	Curie (Ci)	$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}^*$ $1 \text{ Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$
Energiedosis	Gray (Gy) $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$	Rad (rd)	$1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy}^*$ $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}^*$
Äquivalentdosis	Sievert (Sv) $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$	Rem (rem)	$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}^*$ $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}^*$
Ionendosis	Coulomb pro Kilogramm (C/kg)	Röntgen (R)	$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}^*$ $= 0,258 \text{ mC/kg}^*$ $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$
Energiedosisleistung	Gray pro Sekunde (Gy/s)	Rad pro Sekunde (rd/s)	$1 \text{ rd/s} = 0,01 \text{ Gy/s}^*$ $1 \text{ Gy/s} = 100 \text{ rd/s}^*$
Ionendosisleistung	Ampere pro Kilogramm (A/kg)	Röntgen pro Sekunde (R/s)	$1 \text{ R/s} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ A/kg}^*$ $= 0,258 \text{ mA/kg}^*$

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
FFS	Fischereiforschungsschiff
FM	Feuchtmasse
FÜS	Nukleares Frühwarn- und Überwachungssystem
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
FZ	Forschungszentrum
G α	Gesamt-Alpha-Aktivität
G β	Gesamt-Beta-Aktivität
HTR	Hochtemperaturreaktor
HWZ	Halbwertszeit
IAR	Institut für Atmosphärische Radioaktivität
ICRP	Internationale Strahlenschutzkommission
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem
ISH	Institut für Strahlenhygiene
JAZ	Jahresaktivitätszufuhr
KFA	Kernforschungsanlage
KFZ	Kernforschungszentrum
KKW	Kernkraftwerk
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
N	Zahl der Einzelmessungen
nn	nicht nachgewiesen/nachweisbar
NWG	Nachweisgrenze
ODL	Ortsdosisleistung
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
R β	Rest-Beta-Aktivität
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
RMP	Routinemessprogramm
RöV	Röntgenverordnung
SPECT	Single-Photon-Emissionscomputertomographie
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz
SWR	Siedewasserreaktor
TM	Trockenmasse
UNSCEAR	Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung
VOAS	Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage
WWER	Leichtwasser- Druckwasserreaktor sowjetischer Bauart
-	keine Messungen bzw. keine Angaben

4. GESETZE, VERORDNUNGEN, RICHTLINIEN, EMPFEHLUNGEN, ERLÄUTERUNGEN UND SONSTIGE REGELUNGEN ZUM STRAHLENSCHUTZ - AUSWAHL -

1. Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Gesetz vom 5. März 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 11)
2. Arzneimittelgesetz (AMG) in der Fassung vom 11. Dezember 1998 (BGBl. I 1999, Nr. 80), zuletzt geändert durch Gesetz vom 26. Juli 1999 (BGBl. I 1999, Nr. 40, S. 636)
3. Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 261), zuletzt geändert durch das Gesundheitseinrichtungen-Neuordnungsgesetz vom 24. Juni 1994 (BGBl. I S. 1416)
4. Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Strahlenschutz vom 9. Oktober 1989 (BGBl. I S. 1830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr. 20, S. 636)
5. Gesetz über die Errichtung eines Bundesausfuhramtes vom 28. Februar 1992 (BGBl. I S. 376)
6. Gesetz zur Neuordnung des Eisenbahnwesens (Eisenbahnneuordnungsgesetz - ENeuOG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378)
7. Gesetz über Krebsregister vom 4. November 1994 (BGBl. I Nr. 79)
8. Fortgeltendes Recht der Deutschen Demokratischen Republik auf Grund von Artikel 9 Abs. 2 in Verbindung mit Anlage II Kapitel XII Abschnitt III Nr. 2 und 3 des Einigungsvertrages vom 31. August 1990 in Verbindung mit Artikel 1 des Gesetzes zum Einigungsvertrag vom 23. September 1990 (BGBl. II S. 885, 1226), soweit dabei radioaktive Stoffe, insbesondere Radonfolgeprodukte, 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 (GBI (DDR) I 1984 Nr. 30, berichtigt GBI (DDR) I 1987 Nr. 18)
 - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17. November 1990 (GBI (DDR) 1990 Nr. 34)
9. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I, S. 114), zuletzt geändert durch VO vom 25. Juli 1996 (BGBl. I S. 1172)
10. Verordnung über den Schutz von Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321, 1926), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2113)
11. Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf Straßen (Gefahrgutverordnung Straße - GGVS) in der Fassung vom 22. Dezember 1998 (BGBl. I 1998, Nr. 87) zuletzt geändert durch Verordnung vom 23. Juni 1999 (BGBl. I 1999, Nr. 33)
12. Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensordnung - AtVfV) vom 18. Februar 1977, Neufassung vom 3. Februar 1995 (BGBl. I Nr. 8a)
13. Verordnung über die Deckungsvorsorge nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Deckungsvorsorgeverordnung - AtDeckV) vom 25. Januar 1977 (BGBl. I S. 220), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
14. Kostenverordnung zum Atomgesetz (AtKostV) vom 17. Dezember 1981 (BGBl. I S. 1457), zuletzt geändert durch Gesetz vom 3. Mai 2000 (BGBl. I 2000, Nr. 20, S. 636)

15. Verordnung über Vorausleistungen für die Einrichtung von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (Endlagervorausleistungsverordnung - EndlagerVLV) vom 28. April 1982 (BGBl. I S. 562), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. S. 2106)
16. Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittel-Bestrahlungsverordnung) vom 19. Dezember 1959 (BGBl. I S. 761), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
17. Verordnung über radioaktive oder mit ionisierenden Strahlen behandelte Arzneimittel - AMRadV - vom 28. Januar 1987 (BGBl. S. 502), zuletzt geändert durch die Neufassung des Arzneimittelgesetzes vom 19. Oktober 1994 (BGBl. Nr. 73)
18. Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldungen von Störfällen und sonstigen Ereignissen (atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV) vom 14. Oktober 1992 (BGBl. Nr. 48) (Wortlaut in Abteilung 3, Punkt 3.52.1)
19. Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 3. August 1989 (BGBl. I S. 1582), zuletzt geändert durch das 6. Überleitungsgesetz vom 25. September 1990 (BGBl. I S. 2106)
20. Verordnung zur Übertragung von Mess- und Auswerteaufgaben nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 31. Juli 1991 (BGBl. I S. 1768)
21. Verordnung zur Errichtung eines Strahlenschutzregisters vom 3. April 1990 (BGBl. I S. 607)
22. Atomrechtliche Abfallverbringungsverordnung (AtAV) vom 31. Juli 1998 (BGBl. I S. 1918)
23. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen vom 21. Februar 1990 (BANz. Nr. 64a vom 31. März 1990)
24. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Integrierten Mess- und Informationssystem nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (AVV-IMIS) vom 27. September 1995 (BANz. Nr. 200a vom 24. Oktober 1995)
25. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Überwachung von Lebensmitteln nach der Verordnung (Euratom) Nr. 3954/87 des Rates vom 22. Dezember 1987 zur Festlegung von Höchstwerten an Radioaktivität in Nahrungsmitteln und Futtermitteln im Falle eines nuklearen Unfalls oder einer anderen radiologischen Notstandssituation (AVV-Strahlenschutzvorsorge-Lebensmittelüberwachung - AVV-StrahLe) vom 28. Juni 2000 (BGBl. 2000, Nr. 25, S. 490)
26. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) vom 20. Dezember 1993 (GMBI. 1994, S. 286)
27. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil I: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vorsorge vom 10. Juli 1978 (GMBI. 1978, S. 418)
28. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung und des Betriebs der Anlage vom 4. August 1981 (GMBI. 1981, S. 363)
29. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisationsrauchmeldern (IRM) vom (GMBI. 1992, Nr. 8, S. 150 - 155)
30. Richtlinie über Dichtheitsprüfungen an umschlossenen radioaktiven Stoffen vom 12. Juni 1996 (GMBI. 1996, S. 698)
31. Richtlinie für den Strahlenschutz bei Verwendung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Bestrahlungseinrichtungen mit radioaktiven Quellen in der Medizin (Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin) vom 14. Oktober 1992 (GMBI. 1992, S. 991)
32. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen vom 30. Juni 1993 (GMBI. 1993, S. 502)

33. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), Anhang B und C, vom 20. Dezember 1995 (GMBI. 1996, Nr. 9/10, S. 195)
34. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil II: Messprogramm für den Intensivbetrieb (Intensivmessprogramm) vom 19. Januar 1995 (GMBI. 1995, S. 261)
35. Richtlinie für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, Teil I: Messprogramm für den Normalbetrieb (Routinemessprogramm) vom 28. Juli 1994 (GMBI. 1994, S. 930)
36. Richtlinie über die Fachkunde im Strahlenschutz vom 17. September 1982 (GMBI. 1982, S. 592)
37. Richtlinie zur Durchführung von Prüfungen zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik nach § 16 RöV, 1. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 (BArbBI 9/90, S. 66)
38. Richtlinie Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin und Zahnmedizin bei der Anwendung von Röntgenstrahlen auf Tiere, 8. und 9. Bekanntmachung des BMA vom 1. Mai 1990 und BArbBI 9/90, S. 67 und vom 1. Juli 1991 (BArbBI 9/91, S. 88)
39. Richtlinie über die im Strahlenschutz erforderliche Fachkunde und fachliche Eignung bei der Erzeugung von Röntgenstrahlen im Zusammenhang mit dem Betrieb nicht-medizinischer Röntgeneinrichtungen und genehmigungsbedürftiger Störstrahler sowie Prüfung, Erprobung, Wartung und Instandsetzung von Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern (Fachkunde-Richtlinie Technik) vom 13. Januar 1988, 4. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 1. Februar 1988 (BArbBI 3/88, S. 89)
40. Rahmenrichtlinie zu Überprüfungen nach § 76 StrlSchV vom 4. Dezember 1980 (GMBI. 1981, S. 26)
41. Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 159/1, 39. Jahrgang, 29. Juni 1996
42. Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition gem. §§ 63 und 63a StrlSchV (BAnz Nr. 122a vom 15. Juli 1997)
43. Ergänzung der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin - Anforderungen an die Fachkunde bei der Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe in der Diagnostik vom 4. Mai 1984 (GMBI. 1984, S. 236)
44. Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK), Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden vom 30. Juni 1994 (BAnz. Nr. 155, S. 8766 vom 18. August 1994)
45. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßigem Betrieb, KTA-Regel 1503.1 (Fassung 6/93), Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1993)
46. Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Wasser, KTA-Regel 1504, (Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1995)
47. Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken vom 6. Oktober 1980 (GMBI. 1980, S. 577)
48. Musterbenutzungsordnung der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland vom 17. März 1981 (GMBI. 1981, S. 322)
49. Grundsätzliche Konzeption für den Ausbau der Landessammelstellen für radioaktive Abfälle vom 26. Oktober 1981 (GMBI. 1981, S. 511)
50. Berichterstattung über besondere Vorkommnisse vom 14. Dezember 1981 (Durchführung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung) (GMBI. 1982, S. 61)

51. Empfehlung zur Berechnung der Gebühr nach § 5 AtKostV für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KFÜ) vom 20. Januar 1983 (GMBI. 1983, S. 146)
52. Rundschreiben vom 21. März 1983, Strahlenschutzkontrolle mittels biologischer Indikatoren: Chromosomenaberrationsanalyse beim Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (GMBI. 1983, S. 176)
53. 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)
54. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (GMBI. 1989, S. 71)
55. Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingten Freisetzungen von Radionukliden vom 11. Mai 1989 (GMBI. 1989, S. 94)
56. Empfehlungen für die Aufzeichnung nach § 28 der RöV, 7. Bekanntmachung des BMA zur Röntgenverordnung vom 21. November 1989 (BArbBl 2/90, S. 137)
57. Verordnung (EURATOM) Nr. 1493/93 des Rates vom 8. Juli 1993 über die Verbringung radioaktiver Stoffe zwischen den Mitgliedsstaaten (ABl. L 148/1)

5. NUKLIDLISTE DER IM TEXT ERWÄHNTEN RADIONUKLIDE

Ordnungszahl Z	Element	Radionuklid	Physik. HWZ	Strahlungsart
1	Wasserstoff	H-3	12,3 a	β^-
4	Beryllium	Be-7	53,3 d	ϵ, γ
6	Kohlenstoff	C-14	5730 a	β^-
11	Natrium	Na-22	2,6 a	β^+, γ
14	Silizium	Si-32	172 a	β^-
15	Phosphor	P-32	14,3 d	β^-
16	Schwefel	S-35	87,5 d	β^-
18	Argon	Ar-41	1,83 h	β^-, γ
19	Kalium	K-40	$1,3 \times 10^9$ a	β^-, γ
20	Calcium	Ca-45	163 d	β^-
24	Chrom	Cr-51	27,7 d	ϵ, γ
25	Mangan	Mn-54	312,2 d	ϵ, γ
26	Eisen	Fe-59	44,5 d	β^-, γ
27	Kobalt	Co-57	272 d	ϵ, γ
		Co-58	70,9 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
		Co-60	5,27 a	β^-, γ
28	Nickel	Ni-63	100 a	β^-
30	Zink	Zn-65	245 d	$\epsilon, \beta^+, \gamma$
34	Selen	Se-75	120 d	ϵ, γ
36	Krypton	Kr-85	10,7 a	β^-, γ
		Kr-85 m	4,48 h	β^-, γ
		Kr-87	76,3 min	β^-, γ
		Kr-88	2,84 h	β^-, γ
		Kr-89	3,16 min	β^-, γ
37	Rubidium	Rb-87	$4,8 \times 10^{10}$ a	β^-
38	Strontium	Sr-89	50,5 d	β^-, γ
		Sr-90	28,6 a	β^-
39	Yttrium	Y-90	64 h	β^-
40	Zirkon	Zr-95	64 d	β^-, γ
41	Niob	Nb-95	35 d	β^-, γ
42	Molybdän	Mo-99	65,9 h	β^-, γ
43	Technetium	Tc-99	$2,1 \times 10^5$ a	β^-
		Tc-99m	6,01 h	R
44	Ruthenium	Ru-103	39 d	β^-, γ
		Ru-106	374 d	β^-, γ
47	Silber	Ag-108m	2,4 min	ϵ, γ
		Ag-110m	250 d	β^-, γ
48	Cadmium	Cd-109	463 d	ϵ
49	Indium	In-111	2,8 d	ϵ, R
51	Antimon	Sb-124	60,3 d	β^-, γ
		Sb-125	2,77 a	β^-, γ
52	Tellur	Te-123m	120 d	R
53	Jod	I-123	13,1 h	ϵ, R
		I-125	59,4 d	ϵ, R
		I-129	$1,6 \times 10^7$ a	β^-, γ
		I-131	8,02 d	β^-, γ
54	Xenon	Xe-131m	11,9 d	R
		Xe-133	5,25 d	β^-, R
		Xe-133m	2,19 d	R
		Xe-135	9,1 h	β^-, γ
54	Xenon	Xe-135m	15,3 min	R

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

h: Stunden, d: Tage, a: Jahre

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

ϵ = Elektroneneinfang
 γ = Gammastrahlung
R = Röntgenstrahlung

6. Messstellenverzeichnis

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

07081 Kernkraftwerk Mühlheim-Kärlich, Informationszentrum, Mühlheim Kärlich
 08010 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Immission-, Arbeits- und Strahlenschutz, Karlsruhe
 08020 Chemische Landesuntersuchungsanstalt, Stuttgart
 08041 Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hauptabteilung Sicherheit, Eggenstein-Leopoldshafen
 08050 Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Augustenburg, Karlsruhe
 08070 Chemische Landesuntersuchungsanstalt Offenburg, Außenstelle Freiburg, Freiburg
 08101 Kernkraftwerk Obrigheim, Informationszentrum, Obrigheim
 08111 Gemeinschaftskraftwerk Neckar 1 + 2, Informationszentrum, Obrigheim
 08121 Kernkraftwerk Philippsburg 1 + 2, Informationszentrum Rheinschanzinsel, Philippsburg
 09020 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
 09030 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
 09040 Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Südbayern, Oberschleißheim
 09060 Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen, Nordbayern, Erlangen
 09070 Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München
 09111 Technische Universität München, Institut für Radiochemie, Reaktorstation Garching, Garching
 09121 Kernkraftwerk Isar 1 + 2 GmbH, Informationszentrum, Essenbach
 09131 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld, Informationszentrum, Grafenrheinfeld
 09141 Kernkraftwerke Gundremmingen, Betriebsgesellschaft mbH, Gundremmingen
 09151 Versuchsaatomkraftwerk Kahl GmbH, Kahl am Main
 09161 Siemens AG, UB KWU, Erlangen
 09171 Siemens AG, UB KWU, Informationszentrum Karlstein, Karlstein/Main
 10010 Staatliches Institut für Gesundheit und Umwelt, FB Strahlenschutz, Saarbrücken
 10030 Radioaktivitätsmessstelle der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
 11010 Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin
 11031 Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin GmbH, Berlin
 12010 Landesumweltamt Brandenburg, Oranienburg
 12020 Landesumweltamt Brandenburg, Neuendorf am See
 13010 Landesamt für Umwelt und Natur, Stralsund
 13020 Landes-Veterinär- und Lebensmitteluntersuchungsamt Rostock, Schwerin
 14010 Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Radebeul
 15010 Landesamt für Umweltschutz, Halle
 15020 Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
 16010 Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena
 16020 Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Gera
 20040 Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg
 20050 Bundesanstalt für Milchforschung, Institut für Chemie und Technologie der Milch, Kiel
 20110 Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Neuherberg
 30011 Physikalisch Technische Bundesanstalt, Gruppe Radioaktivität, Braunschweig