

# Unterrichtung

durch die Bundesregierung

## Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1995

Inhalt	Seite
<b>I. Auftrag und Zusammenfassung</b> .....	3
1. Auftrag .....	3
2. Zusammenfassung .....	3
<b>II. Natürliche Strahlenexposition</b> .....	5
<b>III. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition</b> .....	7
1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten .....	7
2. Radon in Gebäuden .....	7
3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus .....	7
3.1 Umgebungsüberwachung an den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH .....	7
3.2 Altlastenkataster .....	8
<b>IV. Zivilisatorische Strahlenexposition</b> .....	13
1. Kerntechnische Anlagen .....	13
1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen .....	13
1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen .....	13
1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen .....	13
2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin .....	15
3. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt .....	15
3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen .....	15
3.2 Störstrahler .....	16

	Seite
4. Berufliche Tätigkeit .....	16
4.1 Personendosisüberwachung .....	16
4.2 Inkorporationsüberwachung .....	16
4.3 Berufliche Strahlenexposition durch Radonfolgeprodukte in den neuen Bundesländern .....	16
4.4 Strahlenexposition des Flugpersonals .....	17
5. Besondere Vorkommnisse .....	17
6. Fall-out von Kernwaffenversuchen .....	17
<b>V. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl ...</b>	<b>45</b>
 <b>Anhang</b>	
<b>A. Strahlendosis und Strahlenwirkung .....</b>	<b>47</b>
1. Strahlendosis und ihre Einheiten .....	47
2. Externe und interne Bestrahlung .....	48
3. Stochastische und deterministische Strahlenwirkung .....	49
4. Genetisch vererbare Defekte .....	49
5. Induktion von Leukämie und Krebs .....	50
6. Risikoabschätzung .....	51
7. Effektive Dosis .....	52
<b>B. Erläuterung der benutzten Fachausdrücke .....</b>	<b>53</b>

## I. Auftrag und Zusammenfassung

### 1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 24. Juni 1994 (BGBl. I S. 1416), sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der Bericht für das Jahr 1995 wird hiermit vorgelegt. Er umfaßt die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Umfassenderes Datenmaterial wird jeweils in den ausführlichen Jahresberichten über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ wiedergegeben.

### 2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt

- die natürliche Strahlenexposition (Kapitel II)
- die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition (Kapitel III)
- die zivilisatorische Strahlenexposition (Kapitel IV)
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (Kapitel V).

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich zusammen aus der Strahlenexposition von außen durch die kosmische und terrestrische Komponente und aus der Strahlenexposition von innen durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper. Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der Strahlenexposition. Insbesondere Radon in Gebäuden und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung der mittleren Strahlenexposition beitragen. Die bisher durchgeführten Messungen haben ergeben, daß in nicht mehr als 2% der Wohnungen in Deutschland die Radonkonzentration in der Raumluft über einem Wert von  $250 \text{ Bq/m}^3$  liegt; diesen Wert sieht die Strahlenschutzkommission als Obergrenze des Normalbereichs an. Darüberliegende Werte treten überwiegend auf in Gebäuden in Bergbaugebieten und in Gebieten, die aufgrund der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes erhöhte Radon-Vorkommen aufweisen.

In den neuen Bundesländern wird gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgelten-

dem Recht der ehemaligen DDR die bei bergbaulichen und anderen Tätigkeiten durch Radonfolgeprodukte auftretende berufliche Strahlenexposition überwacht. Die mittlere effektive Jahresdosis des betroffenen Personenkreises betrug im Berichtsjahr 1995  $3,7 \text{ mSv}$  und lag damit weit unter dem gesetzlich festgelegten Dosisgrenzwert von  $50 \text{ mSv}$  pro Jahr.

Die Beiträge zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung resultieren aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre und dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahr 1986.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1995 ist in der Abbildung I.1 nach den verschiedenen Quellen aufgeschlüsselt. Die mittlere effektive Jahresdosis der Bevölkerung beträgt rd.  $4 \text{ mSv}$ , wobei die natürlichen und medizinischen Strahlenquellen die Hauptbeiträge liefern, während sich die Dosisbeiträge der weiteren Strahlenquellen im Bereich einiger Tausendstel der Gesamtdosis bewegen.

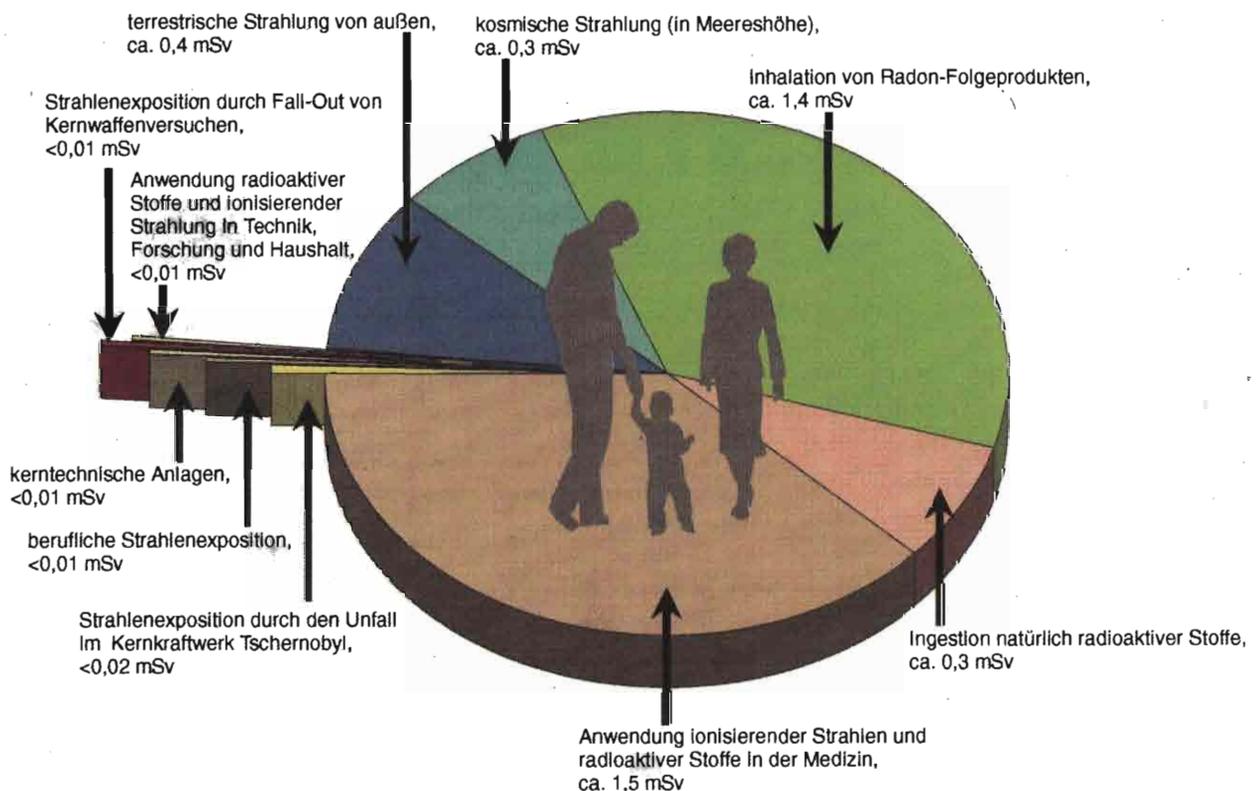
Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 1995 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die effektive Dosis aus natürlichen Strahlenquellen beträgt im Mittel ca.  $2,4 \text{ mSv}$  pro Jahr. Das radioaktive Edelgas Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte liefern über Inhalation den Hauptbeitrag zur Strahlenexposition natürlichen Ursprungs mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von ca.  $1,4 \text{ mSv}$ .
- Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition liegt bei ca.  $1,6 \text{ mSv}$  pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Dieser Schätzwert kann nicht für Risikoabschätzungen bei der Gesamtbevölkerung herangezogen werden, da sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition extrem ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt.
- Der Beitrag zur Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 1995 deutlich unter 1% der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Werte.

- Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht verändert.
- Die durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,02 mSv zurück.
- Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche zur effektiven Dosis ist weiterhin rückläufig und beträgt 1995 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche in der Atmosphäre durchgeführt.

Abbildung I.1

### Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1995: ca. 4 mSv



## II. Natürliche Strahlenexposition

Durch natürliche Strahlenquellen ist der Mensch einer mittleren effektiven Dosis von 2,4 mSv pro Jahr ausgesetzt. Je nach Höhenlage des Aufenthaltsortes und der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes unterliegt die natürliche Strahlenexposition starken Schwankungen.

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der externen Exposition durch Höhen- und Bodenstrahlung (kosmische und terrestrische Komponente, siehe Anhang Abschnitt B) und der internen Strahlenexposition durch Inkorporation radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Die externe Strahlenexposition beträgt im Mittel 0,7 mSv pro Jahr und setzt sich etwa zu gleichen Teilen aus der kosmischen und terrestrischen Strahlungskomponente zusammen.

Abbildung II.1 zeigt die ortsabhängige Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland.

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition entsteht im wesentlichen durch Gammastrahlung. Für den Aufenthalt in Meereshöhe wird dafür eine effektive Dosis von 0,24 mSv pro Jahr berechnet. Die durch Neutronen (0,03 mSv pro Jahr) und kosmische Radionuklide (0,01 mSv pro Jahr) verursachten Beiträge zur kosmischen Strahlenexposition sind von untergeordneter Bedeutung.

Die terrestrische Komponente der externen Strahlenexposition wird im wesentlichen durch die Gammastrahlung des Kalium-40 sowie durch die Strahlung der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 verursacht. Der Gehalt an Kalium-40 im Boden schwankt zwischen 40 und 1 000 Bq pro Kilogramm Trockenmasse (TM). Innerhalb der Zerfallsreihe des Uran-238 spielt das Radium-226 die wichtigste Rolle, der Gehalt im Boden schwankt in Deutschland zwischen 10 und 200 Bq je Kilogramm TM. Der Gehalt an Thorium-232 aus der Thorium-Reihe liegt zwischen 8 und 80 Bq pro Kilogramm TM. Die effektive Dosis, verursacht durch terrestrische Strahlung von außen in Deutschland, errechnet sich im Mittel zu 0,41 mSv pro Jahr, wobei die effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,07 mSv und in Gebäuden 0,34 mSv beträgt. Dabei nimmt man eine Aufenthaltsdauer von fünf Stunden pro Tag im Freien und 19 Stunden in Gebäuden an. Diese Werte basieren auf einer effektiven Jahresdosis von 0,32 mSv im Freien (Wertebereich 0,06 bis 2,2 mSv) und 0,43 mSv in Gebäuden (Wertebereich 0,09 bis 2,4 mSv). Die

höheren Werte findet man über Granitmassiven mit einer erhöhten spezifischen Aktivität der Radioisotope von Radium, Thorium und Kalium.

Die interne Strahlenexposition des Menschen aus natürlichen Quellen beträgt im Mittel 1,7 mSv pro Jahr. Allein auf das radioaktive Edelgas Radon und seine Zerfallsprodukte entfallen ca. 1,4 mSv pro Jahr (effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,2 mSv; effektive Dosis durch Aufenthalt in Gebäuden 1,2 mSv).

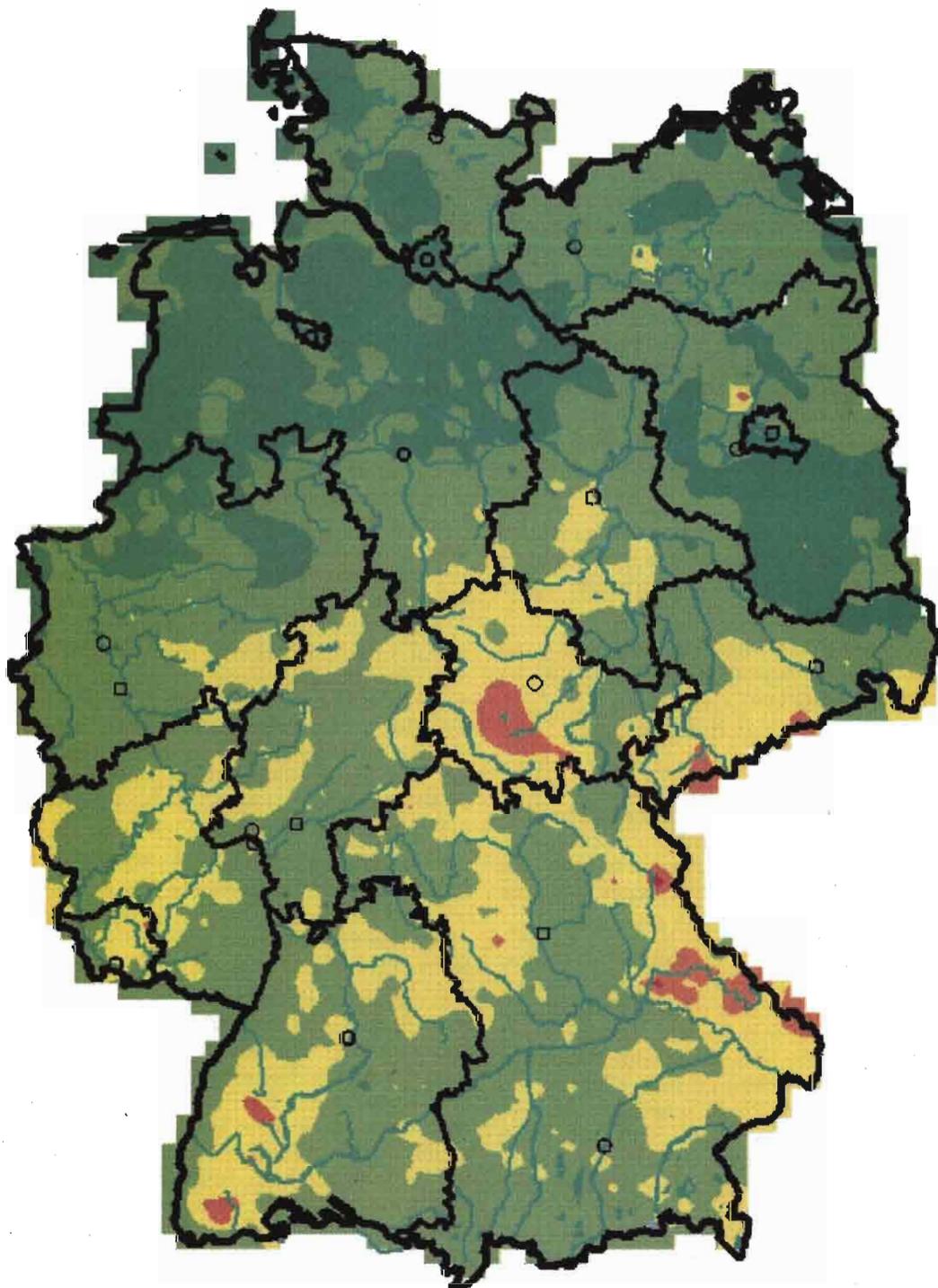
Die bisher für die Einschätzung der Strahlenwirkung des Radons und seiner Zerfallsprodukte benutzten Dosiskoeffizienten beruhen sowohl auf epidemiologischen Studien bei Bergarbeitern als auch auf dosimetrischen Modellen. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat in der 1993 erschienenen Publikation Nr. 65 über den Schutz vor Radon-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz vorgeschlagen, für die Risikoabschätzung nur noch die Ergebnisse der epidemiologischen Bergarbeiterstudien zu verwenden. Anstelle der bisherigen Dosiskoeffizienten wird deshalb von der ICRP eine neue Dosiskonvention vorgeschlagen, bei deren Anwendung sich die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte für die Bevölkerung auf etwa 60 Prozent der angegebenen Werte reduziert.

Den Hauptanteil der Strahlenexposition liefern die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222 (Halbwertszeit 3,8 Tage). Das Radon-222 ist ein Tochterprodukt des Radiums-226 und gelangt vor allem durch Diffusion aus dem Erdboden in die bodennahe Luft.

Das eingeatmete Radon und seine Zerfallsprodukte werden im Atemtrakt und in der Lunge unterschiedlich stark abgeschieden bzw. wieder ausgeatmet. Infolge der kurzen Halbwertszeit bewirken die inhomogen abgeschiedenen Radon-Zerfallsprodukte unter Abgabe der biologisch besonders wirksamen Alphastrahlung im wesentlichen eine Exposition des Atemtraktes. Die mittlere Äquivalentdosis der strahlenempfindlichen Zellen der oberen Bronchien ist etwa fünf bis zehnmal höher als diejenige im Alveolarbereich. Die durch das Edelgas Radon selbst verursachte Strahlenexposition ist um mehr als eine Größenordnung niedriger und wird teils durch das im ganzen Körper gelöst verteilte Radon, teils durch das in der Atemluft befindliche Radon verursacht.

Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 werden über Trinkwasser und Nahrung (Ingestion) aufgenommen und rufen eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,3 mSv hervor.

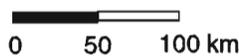
Abbildung II.1



**mSv pro Jahr**

- > 1,8
- 1,5 - 1,8
- 1,2 - 1,5
- 1,0 - 1,2
- 0,7 - 1,0
- < 0,7

- Deutschland
- Bundeshauptstadt
- Gewässer
- Städte
- Bundesländer
- Landeshauptstädte



Mittlere externe Strahlenexposition  
in der Bundesrepublik Deutschland  
im Freien 1995

Datenquelle : BZS

**Daten aus IMIS**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit, Bonn

### III. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenbelastung

#### 1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit ca. 20 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien sowie industriellen Rest- und Abfallstoffen durchgeführt. Es wurde die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in mehr als 1 500 Proben bestimmt.

Der Gehalt an Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 in Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten geht aus Tabelle III.1 hervor. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide weist von Material zu Material große Unterschiede auf und zeigt auch innerhalb der Stoffarten eine große Streuung. Unter den Baustoffen natürlichen Ursprungs weisen kieselsäurereiche Magmasteine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe Gehalte an natürlichen Radionukliden auf. In konventionellen Baustoffen wird eine Radium-226-Konzentration von mehr als 200 Bq/kg nur in Ausnahmefällen gemessen.

In einigen Abfällen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich radioaktive Stoffe an, die bei unkritischer Verwendung, z. B. ihrem Einsatz als Sekundärrohstoffe im Bauwesen, eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung hervorrufen könnten. Deshalb bedürfen diese Materialien einer besonderen Aufmerksamkeit, vor allem unter dem Aspekt der Nutzung von Rohstoffen aus aller Welt und dem gleichzeitigen Gebot, entstehende Abfallstoffe möglichst wieder zu verwenden. Bei der überwiegenden Menge mineralischer Abfallstoffe, z. B. Gips aus der Rauchgasentschwefelung und Rückständen der Kohleverbrennung, wurden jedoch Radionuklidkonzentrationen in dem Niveau gemessen, wie sie in konventionellen Baustoffen vorkommen.

#### 2. Radon in Gebäuden

In ca. 1 bis 2 % (Schätzwerte) der Häuser Deutschlands wird der von der Strahlenschutzkommission definierte Normalbereich der Radonkonzentration in Wohnungen überschritten. Diese Gebäude konzentrieren sich auf Regionen mit erhöhtem Radonpotential im Untergrund.

Es wird derzeit damit gerechnet, daß in den neuen Bundesländern bergbaubedingt auf ca. 1 500 km<sup>2</sup> und geologisch bedingt auf ca. 2 000 km<sup>2</sup> erhöhte Radonkonzentrationen auftreten. Es wird weiterhin geschätzt, daß ca. 3 % der Gesamtfläche Deutschlands Gebieten mit erhöhtem Radonpotential zu-

geordnet werden könnten. Abbildung III.1 verdeutlicht diese Situation. Sie zeigt, in welchen Regionen mit einem erhöhten Angebot an Radon im Gestein zu rechnen ist. Wie weit das Radon aus dem Untergrund in die Häuser gelangen kann, hängt ab von der Durchlässigkeit des Untergrundes für Radon und von den baulichen Merkmalen der Häuser.

In einem speziellen Meßprogramm wird geprüft, welche Radonkonzentrationen an Arbeitsplätzen in Gebäuden (Büros, Werkstätten, soziale und Bildungseinrichtungen) auftreten.

Im Jahr 1995 wurde ein vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördertes Projekt „Modellhafte Sanierung radonbelasteter Häuser“ in Schneeberg abgeschlossen. Die Mehrzahl der 18 sanierten Häuser war stark durch oberflächennahe bergmännische Auffahrungen beeinflusst, d. h. durch Radonquellen, die hinsichtlich ihrer Wirkung und den erforderlichen Sanierungslösungen bisher wissenschaftliches Neuland bedeuteten. Neben der Erprobung sowohl baukonstruktiver als auch lüftungstechnischer Sanierungsmethoden wurden aufgrund der besonders starken Radonquellen spezielle Anforderungen an die Prüfung verwendeter Materialien und deren Verarbeitung notwendig. Die erreichten Konzentrationsreduzierungen lagen dabei bis zum Faktor 100.

Aus dem Projekt lassen sich folgende allgemeine Erfahrungen ableiten:

In jedem Gebäude treten spezielle Probleme verschiedener Art auf, die zur Sicherung eines Sanierungserfolges angepaßte technische Lösungen erfordern. Die Ausführung von Maßnahmen zur Radonsanierung setzt zum Teil spezielle Fachkenntnisse und generell außerordentliche Sorgfalt und einen hohen Qualitätsanspruch voraus.

#### 3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus

##### 3.1 Umgebungsüberwachung an den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH

Die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH ermittelten unter Kontrolle der zuständigen Landesbehörden im Berichtsjahr 1995 die Ableitung radioaktiver Stoffe und die durch die bergbaulichen Tätigkeiten insgesamt verursachte radioaktive Kontamination der Betriebsflächen und des Umlandes.

Für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwettern und Abwässern wurden durch die zuständigen Landesbehörden auch im Jahr 1995 neue Genehmigungswerte festgelegt. Diese Genehmigungswerte

wurden nach Maßgabe des Optimierungsgrundsatzes der aktuellen Sanierungs- und Betriebssituation angepaßt. Sie sind restriktiver als die Werte aus der Zeit des aktiven Bergbaus.

Für den Sanierungsbetrieb Schlema/Alberoda wurden für die Ableitungen mit Abwettern vorläufige Grenzwerte festgelegt. Die für das Jahr 1995 ermittelten Werte der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft bzw. Abwettern und Abwasser zeigen, daß die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe eingehalten wurden (Abbildungen III.2 und III.3).

Die aus den übrigen bergbaulichen Anlagen (vor allem industrielle Absetzanlagen, Halden) freigesetzte Radonaktivität wird aus den Radium-226-Konzentrationen der deponierten Materialien unter Zugrundelegung einer abgeleiteten normierten Freisetzungsrates (1 Bq Rn-222 pro m<sup>2</sup> und sec bezogen auf 1 Bq Ra-226 pro g Material) mit einer theoretisch möglichen Radonfreisetzung von  $2 \cdot 10^{15}$  Bq pro Jahr abgeschätzt. Diese Abschätzung bezieht sich auf die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten; infolge der bereits abgeschlossenen Sanierungsarbeiten hat sich die Radonfreisetzung aber bereits verringert.

Kontrollmessungen in der Umgebung der Betriebe haben gezeigt, daß durch Ableitung von Uran und Radium-226 mit den Abwässern in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Mulde, Weiße Elster und Pleiße) keine oder nur geringfügige Veränderungen der natürlichen Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide verursacht werden. In den unmittelbar durch Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den o. g. Gewässern tritt aufgrund der geringeren Abflußmenge eine im Vergleich zum natürlichen Pegel deutlich erhöhte Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide auf. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht genutzt. Unter der Annahme der Nutzung der großen Vorfluter als Trinkwasser ergibt sich theoretisch eine effektive Jahresdosis von 0,001 bis 0,02 mSv.

Die im Rahmen der Immissionsüberwachung in den Bergbaugebieten ermittelte Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Atemluft im Freien übersteigt häufig die für große Gebiete Mittel- und Norddeutschlands charakteristische Spannweite von 8 bis 23 Bq/m<sup>3</sup>. Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z. B. Inversionen in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 500 Bq/m<sup>3</sup> Radon-222 festgestellt. Wie durch Messungen und Modellrechnungen nachgewiesen wurde, liegen in geringer Entfernung von diesen Objekten die Werte für die Radonkonzentration bereits wieder in der für das Gebiet typischen Spannweite von 25 bis 80 Bq/m<sup>3</sup>. Vergleichbare Werte wurden in bergbaufreien Gebieten im Süden der neuen Bundesländer festgestellt, die ähnliche geologische Verhältnisse wie die Bergbauregionen aufweisen.

Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen der großräumigen Langzeitüberwachung

der Radonkonzentration in der bodennahen Luft im Freien wurden auch im Jahr 1995 fortgesetzt.

### 3.2 Altlastenkataster

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich 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. Als Bewertungsgrundlage stehen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) zur Verfügung.

Das Projekt ist in drei Phasen mit jeweils wachsender Untersuchungstiefe gegliedert. Dieses abgestufte Vorgehen ermöglicht 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 die für die Ergebnisdokumentation entwickelte Datenbank A.LAS.KA (Altlastenkataster) aufgenommen. Der Bericht über die Ergebnisse der 2. Projektphase, die in der Datenbank gespeicherten Informationen sowie thematische Übersichtskarten wurden den für den Vollzug des Strahlenschutzes zuständigen Länderbehörden übergeben. Damit verfügen diese Vollzugsbehörden nunmehr über eine wichtige Erkenntnisgrundlage zur radiologischen Altlastensituation, die auch bei Entscheidungen über Notwendigkeit und Inhalt möglicher expositionsverringender Maßnahmen herangezogen werden kann. Insgesamt lassen die Untersuchungen erkennen, daß großräumige radioaktive Kontaminationen nicht vorliegen.

Für eine Reihe bergbaubedingter Hinterlassenschaften werden vertiefte radiologische Daten benötigt, um eine abschließende Bewertung nach den SSK-Empfehlungen vornehmen zu können. Die hierfür erforderlichen Untersuchungen erfolgen in der 3. Projektphase („Altlastenuntersuchungen“). Ziel ist die genaue Eingrenzung der Flächen, die bergbaubedingt eine erhöhte Umweltradioaktivität aufweisen, sowie die Ermittlung der Ausdehnung und Tiefenverteilung radioaktiv kontaminierter Schichten. Untersuchungen dieser Art wurden bis 1994 an den Standorten Dittrichshütte, Aue/Hakenkrümme und Freital sowie in den Gebieten Gottesberg und Johanngeorgenstadt (Altbergbaugebiete und Uranerzbergbaugebiete der Nachkriegszeit) sowie Hettstedt (Abbaugebiet von uranvererztem Kupferschiefer) durchgeführt.

Im Jahre 1995 wurden weitere Meßprogramme in den Gebieten Johanngeorgenstadt, Annaberg-Buchholz und Mechelgrün-Zobes (Alt- und Uranerzbergbaugebiete) durchgeführt. Außerdem wurden Untersuchungsprogramme zur Ermittlung der Radionuklidkonzentrationen von zur Trinkwasserversorgung genutzten Schacht- und Stollenwässern sowie zur Er-

mittlung des Einflusses des Bergbaus auf die Sedimente und Auenböden von Vorflutern begonnen.

Bis zum Jahr 1997 sollen die Untersuchungen abgeschlossen sein. Es wird dann ein vollständiger Überblick über die bergbaubedingte Umweltradioaktivität vorliegen.

Tabelle III.1

**Bandbreite der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide  
in Baustoffen und Industrieprodukten in Bq/kg Trockenmasse (TM)**

Material	Ra-226 (Bq/kg TM)	Th-232 (Bq/kg TM)	K-40 (Bq/kg TM)
<b>Baustoffe natürlichen Ursprungs</b>			
saure Magmageschiebe . . . . .	30– 500	17– 310	380–4 000
basische Gesteine . . . . .	< 10– 36	< 10– 37	100– 380
Naturgips, Anhydrit . . . . .	2– 70	2– 100	7– 200
Kalkstein, Marmor . . . . .	4– 41	2– 20	< 40– 240
Kies, Sand . . . . .	1– 39	1– 64	3–1 200
Lehm, Ton . . . . .	< 16– 90	18– 200	300–2 000
Bims, Tuff, Lava . . . . .	< 20– 200	25– 300	490–2 000
<b>Finalbaustoffe, Bindemittel</b>			
Ziegel, Klinker . . . . .	10– 200	12– 200	100–2 000
Beton . . . . .	7– 92	4– 80	50–1 600
Kalksandstein, Porenbeton . . . . .	6– 80	1– 60	40– 800
Zement . . . . .	10– 330	10– 200	< 40– 700
Kalk, Kalkhydrat . . . . .	13– 60	2– 93	< 20– 600
<b>Sonstige Industrieprodukte, Rohstoffe</b>			
Düngemittel . . . . .	< 20–1 000	< 20– 30	< 40–8 000
Rohphosphate . . . . .	10–2 000	< 20– 100	< 40– 900
Steinkohle . . . . .	< 20– 30	< 20– < 50	7– 700
Braunkohle . . . . .	1– 51	1– 58	< 4– 220
Koks . . . . .	20– 30	< 20	40– 80
<b>Industrielle Abfallstoffe</b>			
REA-Gips . . . . .	< 5– 25	< 5– 20	24– 80
Bergbauabraum . . . . .	< 30–5 900	27– 100	40–1 200
Braunkohlefilteraschen . . . . .	4– 200	6– 150	12– 610
Schlacke . . . . .	8–2 100	6– 340	10–1 000
Hüttenbims . . . . .	110– 230	24– 62	180– 190
Bauxit, Rotschlamm . . . . .	< 20– 800	< 50–1 000	1–1 000

Abbildung III.1

### Geogenes Radon-Potential in der Bundesrepublik Deutschland

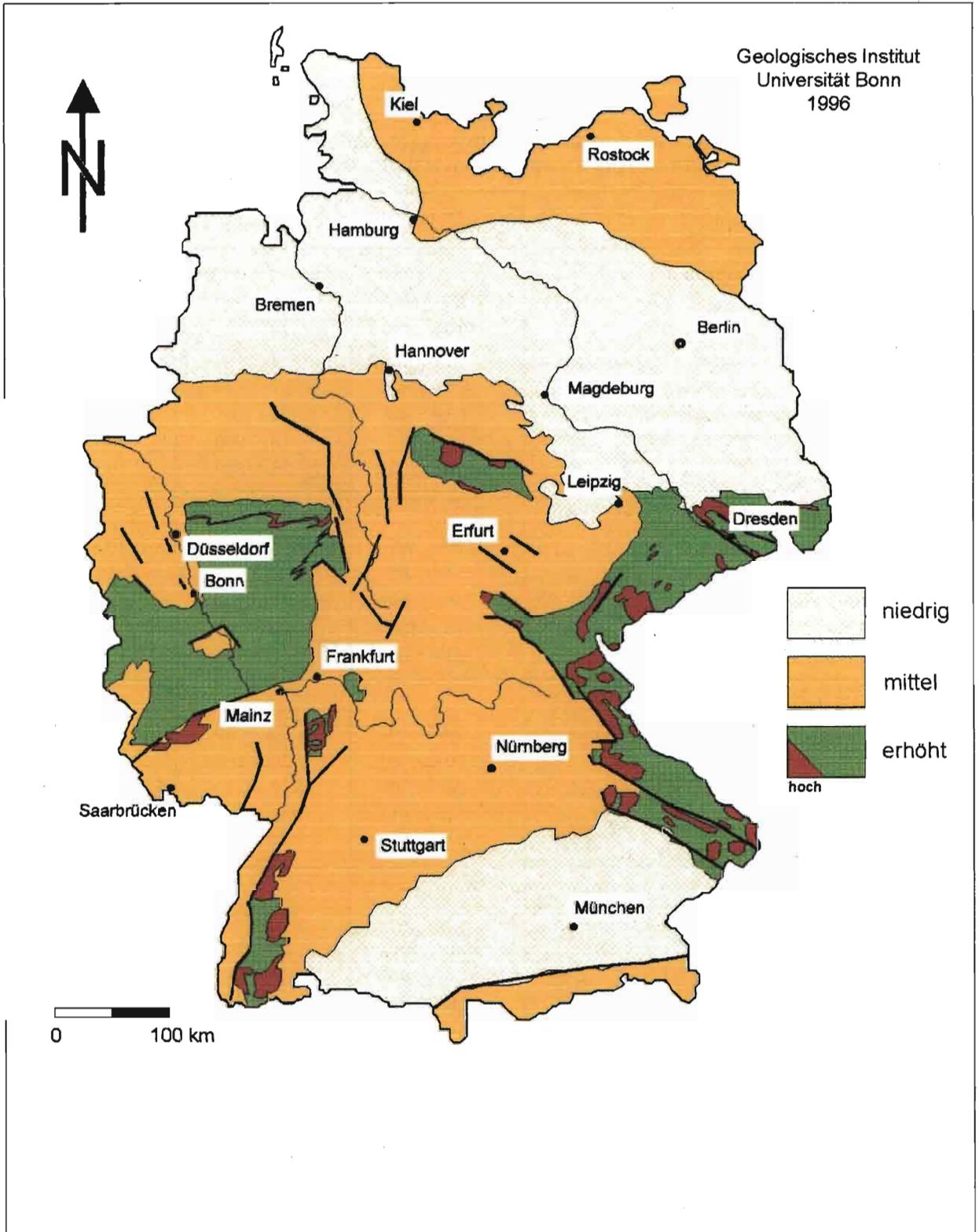


Abbildung III.2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Abluft  
in die Atmosphäre 1995**

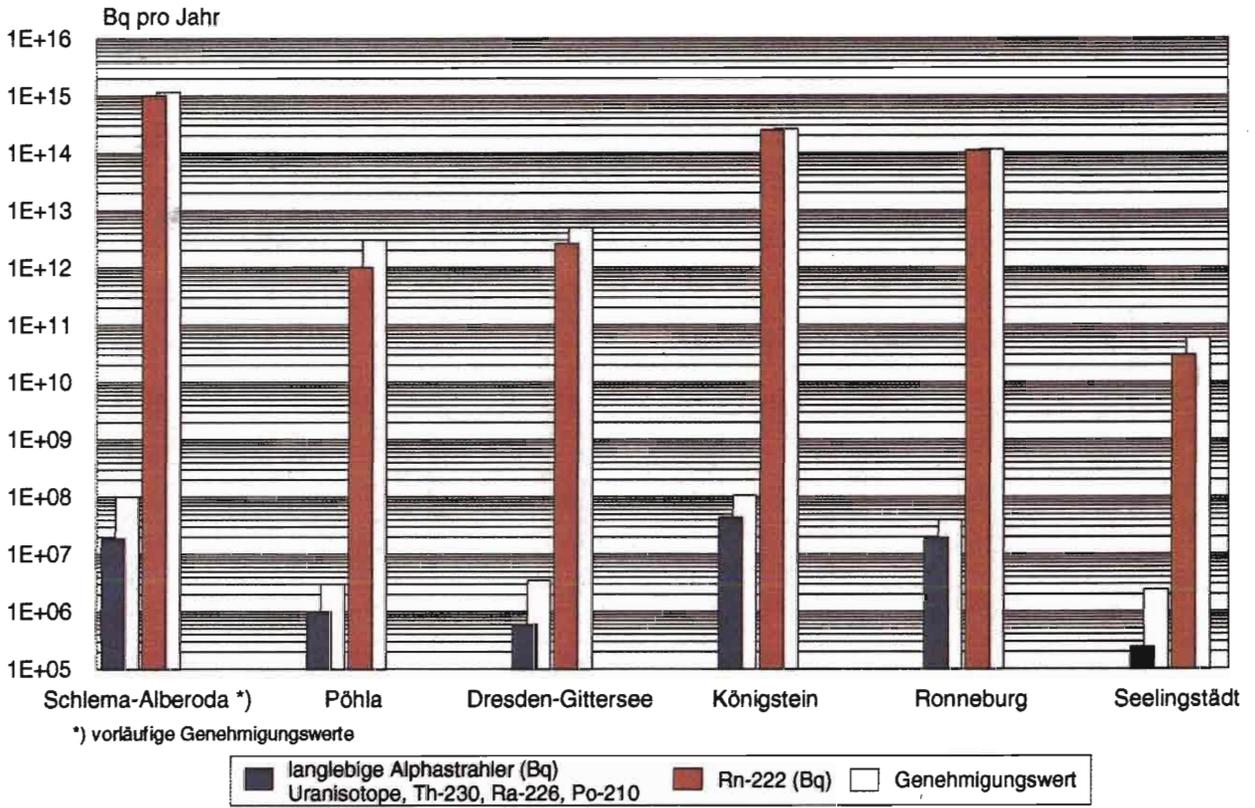
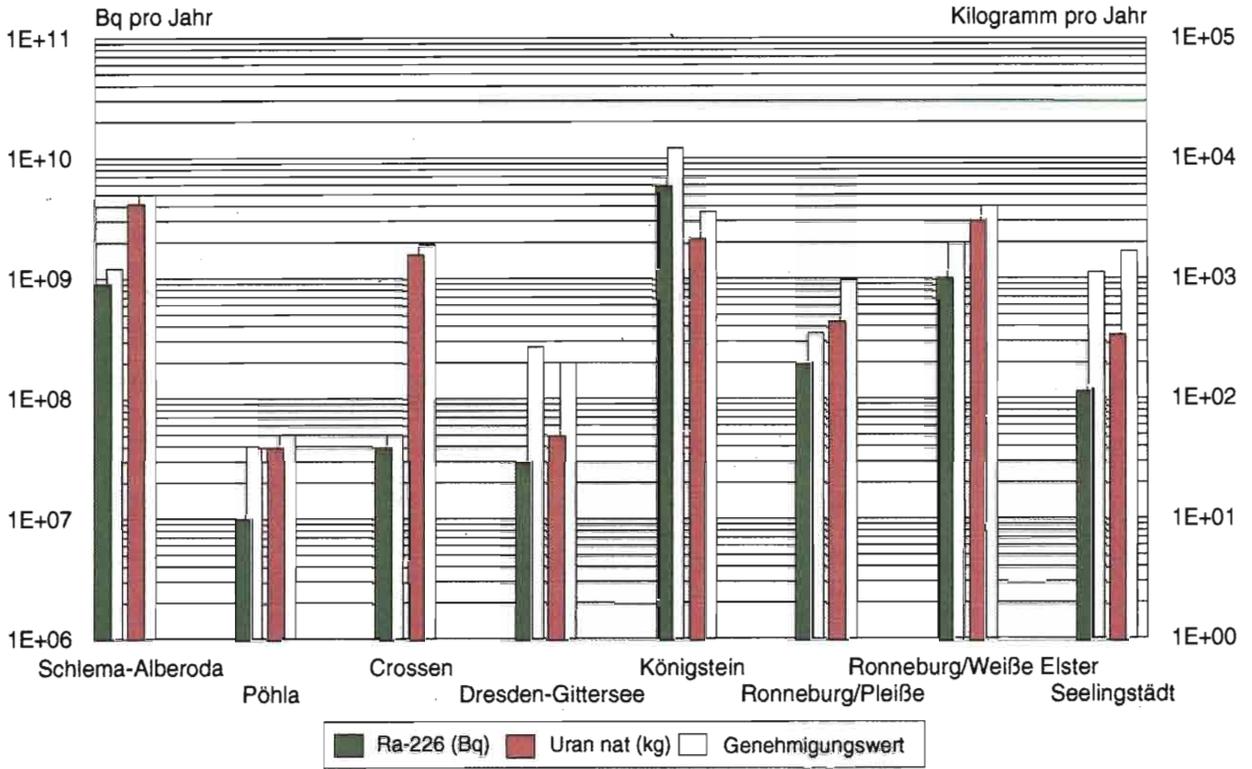


Abbildung III.3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern  
in die Oberflächengewässer 1995**



## IV. Zivilisatorische Strahlenexposition

### 1. Kerntechnische Anlagen

#### 1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 1995 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, daß die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen IV.1 bzw. IV.2 und üblichen Genehmigungswerten von ca.  $10^{15}$  Bq für Edelgase, ca.  $3 \cdot 10^{10}$  Bq für Aerosole und ca.  $10^{10}$  Bq für Jod-131 zeigt.

Die für 1995 aus den Jahresableitungen nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung“ für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organosen weniger als 10 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen 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 1995 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr (Abbildung I.1) und ist damit für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

#### 1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und an die zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Meßverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Meßergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Die für 1995 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser von Kernkraft-

werken sind in den Abbildungen IV.1 bis IV.3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die entsprechenden Genehmigungswerte. In Abbildung IV.4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf und Geesthacht für das Jahr 1995 zusammengefaßt. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung IV.5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 1995 zusammengestellt. Abbildung IV.6 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 1995 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle IV.1 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze mitberücksichtigt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern berichtet die Kommission der EU. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität veröffentlicht.

#### 1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der Strahlenschutzverordnung definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist. Die in den Abbildungen IV.7 bis IV.10 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 45 Abs. 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Bei der Berechnung dieser Werte wurden die in Anlage XI StrlSchV genannten Expositionspfade und die Lebensgewohnheiten der Referenzperson berücksichtigt, die ungünstige Ernährungsgewohnheiten und Aufenthaltszeiten beinhalten.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 1995 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält Abbildung IV.7. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder über sämtliche relevanten Expositionspfade: Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammastrahlung am Boden abgelagerter radioaktiver Stoffe, Inhalation und Ingestion). Abbildung IV.7 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,003 mSv (rund 1 % des Grenzwertes nach StrlSchV) und für Kleinkinder 0,005 mSv (rund 2 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,005 mSv (rund 0,6 % des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In Abbildung IV.8 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 ebenfalls ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flußfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1 000 Stunden am Flußufer oder auf Wiesen in Flußnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,0006 mSv (entsprechend rund 0,2 % des Grenzwertes) beim Standort der Kernkraftwerke Neckar 1 und 2.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,002 mSv für Erwachsene und Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0004 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,0002 mSv, an der Donau bei 0,0004 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

Die in Abbildung IV.9 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 und Geesthacht. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 1995 als höchsten Wert 0,0020 mSv (rund 0,7 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,0033 mSv (rund 1 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,0071 mSv (rund 0,8 % des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergibt die Abschätzung aufgrund

von Meßwerten, die bei radiologischen Untersuchungen ermittelt wurden, einen oberen Wert von 0,02 mSv pro Jahr. Nach Angaben aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich liegen die oberen Werte für die effektive Dosis für diese Forschungszentren im Jahr 1995 bei 0,028, 0,011 bzw. bei 0,002 mSv.

Für die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe in Hanau, Karlstein, Lingen und Gronau sind in Abbildung IV.10 die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die oberen Werte der Lungendosis für Kleinkinder durch die Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft angegeben. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene und Kleinkinder 0,0002 mSv (rund 0,1 % des Grenzwertes), der höchste Wert der Lungendosis 0,0005 mSv für Kleinkinder (rund 0,1 % des Grenzwertes).

Die durch die Ableitung von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung aller kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe liegen wie auch im Vorjahr bei jeweils weniger als 0,0001 mSv.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle IV.4 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 1995 mit der Abluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0008 mSv, für Kleinkinder 0,0013 mSv; dies sind 0,3 % bzw. 0,4 % des Grenzwertes nach der StrlSchV. Die Lungendosis errechnete sich zu 0,0044 mSv für Erwachsene und 0,0085 mSv für Kleinkinder (ca. 0,5 % bzw. 0,9 % des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 1995 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Bei den Kernbrennstoff-Zwischenlagern Ahaus und Gorleben sowie bei Faßlagern wie z. B. Gorleben, Mitterteich oder Faßlagern innerhalb kerntechnischer Anlagen treten im Normalbetrieb keine nennenswerten Emissionen radioaktiver Stoffe auf; daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Meßbar ist im allgemeinen nur die Gammadosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Bei Zwischenlagern wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Abluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfaßt und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle IV.1) führte 1995 unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis von 0,005 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade

pfade errechnet sich ein oberer Wert von 0,01 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsens dosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde im Berichtszeitraum Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

## 2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung durch die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe betrug im Jahr 1995 im Mittel, ausgedrückt als effektive Dosis, ca. 1,5 mSv. Die Röntgendiagnostik bedingt den größten Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung.

Die Röntgendiagnostik hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Zur Optimierung des Strahlenschutzes wurden in der Röntgenverordnung und der StrlSchV die erforderlichen gesetzlichen Grundlagen geschaffen. In der Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze des § 28 StrlSchV und der Vorschriften des § 42 StrlSchV ist jede unnötige Strahlenexposition zu vermeiden. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob nicht Untersuchungen und Behandlungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen oder z. B. Verfahren mit radioaktiven Stoffen ohne Anwendung am Menschen (in-vitro-Verfahren) den gewünschten medizinischen Effekt erfüllen. Die Mehrzahl der angewendeten Untersuchungs- und Therapieverfahren sind mit niedriger Strahlenexposition verbunden. Einige neuere, die einen erheblichen diagnostischen Fortschritt erbracht haben, sind jedoch mit einer höheren Strahlenexposition verbunden. Gleichwohl wird die Bundesregierung am Ziel festhalten, die Strahlenbelastung der Patienten weiter zu verringern. Die Strahlenschutzkommission erarbeitet Empfehlungen zu diesem Bereich.

Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, daß ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen der Anwendung für den Patienten in den Hintergrund tritt. Das Risiko einer nicht (rechtzeitig) erkannten Krankheit z. B. wegen einer unterlassenen Röntgenuntersuchung kann wesentlich höher sein als eine vertretbare Strahlenexposition. Für die strahlenintensiven Maßnahmen wie z. B. bei der interventionellen Radiologie, einer therapeutischen Maßnahme, gilt dies in noch viel höherem Maße, da durch sie Operationen vermieden werden können, die mit höheren Risiken behaftet sind.

Da sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt, und zudem ältere Personen viel stärker betroffen sind als jüngere, ist es nicht zulässig, aus der mittleren Pro-Kopf-Exposition ein Strahlenrisiko für den Durchschnittsbürger abzuleiten. Besonders viele und z. T. auch dosisintensive Röntgenuntersuchungen werden gerade bei Schwer- und Schwerstkranken notwendig. Es ist daher falsch, wenn der aus diesen Untersuchungen resultierende Anteil an der kollektiven

effektiven Dosis in Risikoabschätzungen zur strahlenbedingten Krebsmortalität einbezogen wird. Grundlage für eine genauere Abschätzung des Strahlenrisikos muß die Ermittlung der Individual- und Altersverteilung der Patienten sein, die aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten möglich ist, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordert. Zusätzlich erforderlich ist die Verwendung alters- und geschlechtsspezifischer Risikofaktoren.

Die Erhebung über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz fortgesetzt und auf die neuen Bundesländer ausgedehnt. Aus den vorliegenden Daten ergibt sich die Untersuchungsfrequenz für Deutschland im Jahr 1994 (Tabelle IV.3). Mittlere Werte der effektiven Dosis häufiger Röntgenuntersuchungen sind in Abbildung IV.15 dargestellt. Es handelt sich dabei um Dosen, wie sie bei Patienten in Krankenhäusern und Arztpraxen gemessen wurden.

Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen nimmt weiter geringfügig zu und zwar bei den Aufnahmen des Skeletts sowie insgesamt. Bei den Röntgenuntersuchungen des Magen-Darm-Kanals ist ein erheblicher Rückgang zugunsten der Endoskopie (Magen-Darm-Spiegelung) und der Ultraschalluntersuchungen festzustellen. Dagegen zeigen die modernen Verfahren der Bildgebung, die Computertomographie, die digitale Subtraktionsangiographie und die interventionelle Radiologie eine starke Zunahme. Letztere werden vorwiegend bei älteren Patienten durchgeführt, wodurch sich das Langzeitstrahlenrisiko bezüglich der Tumorentstehung vermindert. Bei der Strahlenexposition des einzelnen untersuchten Patienten kann ein Rückgang je Untersuchung angenommen werden, der auf die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken, z. B. durch den Einsatz von empfindlicheren Röntgenbildverstärkern und verbesserten Film-Folien-Systemen, zurückzuführen ist.

Die Nuklearmedizin liefert im Vergleich zur Röntgendiagnostik wegen der niedrigeren Anwendungshäufigkeit und der zum Teil niedrigen effektiven Dosis je Untersuchung einen wesentlich geringeren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung. Er liegt etwa bei einem Zehntel des Betrages der durch die Röntgendiagnostik verursachten Strahlenexposition (ausgedrückt als mittlere effektive Dosis).

## 3. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt

### 3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Rauch- und Feuermelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen

genehmigungsfreien Umgang, z. B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstand-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung (Anzeigepflicht bei geringer Radioaktivität oder bei bauartzugelassenen Geräten).

Die Strahlenschutzverordnung regelt den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen, um – neben den Arbeitnehmern – die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Anwendung der entsprechenden radioaktiven Stoffe resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

### 3.2 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne daß sie zu diesem Zweck betrieben werden (z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter); sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern eine Bauartzulassung nicht vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung führt zu einer effektiven Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

## 4. Berufliche Tätigkeit

### 4.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von den sechs zuständigen amtlichen Personendosismeßstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Zahl der überwachten Personen betrug im Berichtsjahr insgesamt 341 454, davon im Bereich Medizin 236 980. Abbildung IV.11 zeigt den Verlauf seit 1981 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahlen sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,30 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, daß bei dem größten Teil aller Überwachten (85 %) während des ganzen Jahres die untere Meßbereichsgrenze des Personendosimeters von 0,2 mSv nicht überschritten wird. Dies trifft in den alten Bundesländern im Bereich Medizin auf etwa 89 %, in den nicht-medizinischen Bereichen auf etwa 76 % der Überwachten zu. Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosis-

werten. Bildet man einen Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten, so ergibt sich eine mittlere Jahres-Personendosis von 1,9 mSv.

Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Berichtsjahr betrug 100,6 Personen-Sv.

Die Beiträge typischer Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die Abbildung IV.12. Einige Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den Abbildungen IV.13 und IV.14 enthalten.

### 4.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aktivitätszufuhr oberhalb 10 % der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analysen ihrer Ausscheidungen überwacht. Bei diesen Inkorporationsmessungen wurden nur geringfügige, beruflich bedingte Körpergehalte radioaktiver Stoffe ermittelt. Alle Aktivitätszufuhren, die gemäß Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition aus den ermittelten Körperaktivitätswerten berechnet wurden, liegen unterhalb 1 % der radionuklid-spezifischen Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr.

### 4.3 Berufliche Strahlenexposition durch Radonfolgeprodukte in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wird gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonfolgeprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. 1995 wurde diese Überwachung für 3 100 Personen vorgenommen, von denen über 75 % Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten.

Mehr als ein Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurde 1995 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 wird die Strahlenexposition durch repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen und Ermittlung der unterschiedlichen Aufenthaltszeiten bestimmt.

Die Kollektivdosis der überwachten beruflich durch Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen betrug 1995 einschließlich der Exposition durch langlebige Alphastrahler und äußere Bestrahlung ca. 12 Sv. Bei Berechnung der Dosis gemäß ICRP-65 (s. Kapitel II) würden sich für die Kollektivdosis 7,7 Sv ergeben. Im nachfolgenden Text werden die auf dieser Grundlage berechneten Dosisangaben in Klammern gesetzt. 9 Sv (mehr als 6 Sv) entfielen auf die

Beschäftigten der Wismut GmbH. Bei diesen wurden auch die Expositionen durch langlebige Alphastrahler und durch externe Strahlung meßtechnisch erfaßt. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte liefern diese Komponenten im allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der pauschal mit insgesamt 10 % der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Die mittlere effektive Jahresdosis aller durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten betrug 3,7 mSv (2,4 mSv). Sie lag damit weit unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 50 mSv pro Jahr. Die höchste mittlere effektive Jahresdosis erhielten die Beschäftigten in wissenschaftlichen Einrichtungen mit 9,5 mSv (4,8 mSv), gefolgt von den Beschäftigten in Wasserbetrieben mit 5,2 mSv (2,6 mSv), in Schachtbaubetrieben mit 4,2 mSv (2,1 mSv), in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 4,0 mSv (2,0 mSv), in der Wismut GmbH mit 3,7 mSv (2,6 mSv), bei Förderung und Sanierung im Nichturanbergbau mit 3,6 mSv (1,8 mSv) und in Bergsicherungsbetrieben mit 2,8 mSv (1,4 mSv). Die insgesamt 85 Beschäftigten (2,7 %) mit einer jährlichen effektiven Dosis von mehr als 15 mSv (Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B) lieferten einen Beitrag von 14,1 % zur Kollektivdosis. Nach ICRP-65 würden 14 Personen (0,4 %) eine Dosis größer als 15 mSv erhalten und damit einen Beitrag von 3,0 % zur Kollektivdosis liefern.

Im Jahr 1995 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten.

#### 4.4 Strahlenexposition des Flugpersonals

Die Höhe der Strahlenexposition wird maßgeblich durch Flughöhe, Flugdauer und die geomagnetische Breite bestimmt. Der Strahlenpegel ist im Bereich des Äquators am niedrigsten und steigt mit zunehmender geomagnetischer Breite an. So liegt die Äquivalentdosisleistung bei Flügen in einer Höhe von etwa 10 bis 12 km bei geomagnetischen Breiten vom Äquator bis zu 70° Nord im Bereich von 0,002 mSv/h bis 0,009 mSv/h. Bei Annahme einer über Reiseflughöhen und -routen nördlich 50° Nord gewichteten Äquivalentdosisleistung von 0,006 mSv/h und einer

Flugzeit in Reiseflughöhe von 875 Stunden im Jahr ergibt sich für das Flugpersonal auf diesen Routen eine mittlere jährliche Strahlenexposition von etwa 6 mSv.

### 5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 1995, enthält Tabelle IV.2. 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 bzw. undicht, 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.

### 6. Fall-out von Kernwaffenversuchen

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl von oberirdischen Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nurmehr unterirdische Atomtests. 1995 zündete China zwei unterirdische Kernexplosionen, Frankreich führte fünf Kernwaffenversuche durch. Aus diesen unterirdischen Versuchen resultiert keine zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 30 Jahren ständig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zur Zeit weniger als 0,01 mSv/a.

Tabelle IV.1

**Kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland**

(Stand: Dezember 1995)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz .....	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villingen/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

Tabelle IV.2

**Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern  
und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 1995**

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
November 1993 bis Dezember 1995	Funde radioaktiver Quellen, Anzeigeelemente mit Ra-226-Leuchtfarbe und Nachtvisiereinrichtungen (8 Quellen Sr-90/Y-90 Ges.-Akt. ca. 2 GBq; 11 Pu/Am-Quellen Ges.-Akt. ca. 0,5 GBq; 3 Quellen Cs-137 Ges.-Akt. ca. 100 GBq; 3 Quellen Co-60 Ges.-Akt. 1 MBq; Ra-226 Ges.-Akt. 100 MBq; P-32/Co-60/Ba-133/Eu-152-Präparat Akt. ca. 120 kBq; Pm-147 Ges.-Akt. 7,5 GBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivitäten bzw. Abschirmungen gering	Die radioaktiven Stoffe wurden sichergestellt. Die Strahlenschutzbehörden veranlassen die Überprüfung verdächtiger Bereiche vor Weiternutzung
Januar – Dezember 1995	Auffinden gelagerter radioaktiver Quellen bei Aufräum- und Inventurarbeiten (160 Quellen Sr/Y-90 Ges.-Akt. ca. 320 MBq; 5 Quellen Pu-239 Ges.-Akt. ca. 130 GBq; 4 Quellen Am-241 Ges.-Akt. ca. 46 kBq; 8 Quellen Kr-85 Ges.-Akt. ca. 150 MBq; 12 Quellen Cs-137 Ges.-Akt. 950 kBq)	Fehlerhafte Dokumentation	Keine, da Quellen bestimmungsgemäß gelagert bzw. benutzt wurden	
18. 1. 1995	Verpuffung in einer „heißen“ Zelle	Infolge eines zu geringen Luftwechsels kam es zu einer Aufkonzentrierung von Lösungsmitteldämpfen.	Geringfügige Kontamination des Raums; Grenzwerte der Anlage IX, Spalte 3 der StrlSchV wurden nicht überschritten; vorsorgliche Ausscheidungsmessungen des betroffenen Mitarbeiters	Nachrüstung mit einer Durchflußmeßeinrichtung; Hinweis in Betriebsvorschriften; Inkorporation (Pu, Am) von weniger als 3 % der zulässigen Werte
19. 1. 1995	Verlust von 20 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 555 kBq)	Brand in einer Fabrik	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Brandschutt wurde entsorgt
24. 1. 1995	Fund eines Meßgerätes mit zwei Prüfstrahlern (Pu-239 100 kBq; Cs-137 120 kBq) und zwei Strahlern (Pu-239 60 MBq) für Kampfstoffmeßgeräte	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Die radioaktiven Stoffe wurden sichergestellt

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
26. 1. 1995	Fehlbestrahlung eines Patienten bei einer Behandlung mit einer Afterloadingeinrichtung; während dieses Vorfalls befand sich die Ir-192-Strahlenquelle (282 GBq) ca. 20 Sekunden neben dem Patienten	Defekte Klebeverbindung zwischen einem Kupplungselement und dem Führungsschlauch des Bronchialkatheders	Die zusätzliche Dosis des Patienten betrug 20 mSv.	Kathedertyp ausgesondert; Hersteller leitet geeignete Maßnahmen ein, die ähnliche Vorfälle ausschließen
Februar 1995	Erhöhte Strahlenexposition beim Ausbau einer eingeklemmten Co-60-Quelle (1 TBq) einer Brunnenbestrahlungsanlage (nicht am Wassernetz angeschlossen)	Eingedrücktes Führungsrohr	Die Strahlenexpositionen der mit dem Ausbau beauftragten Personen betragen 19 bzw. 8,6 mSv.	Die Strahlenexpositionen liegen unterhalb der geltenden Dosisgrenzwerte (50 mSv/Jahr)
Februar 1995	Verlust von zwei Schulquellen (Cs-137 185 kBq; Kr-85 185 kBq)	Im Rahmen einer Bau-sanierung beseitigt	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	
7. 2. 1995	Verkehrsunfall eines Lkw mit radioaktiven Versandstücken (Tl-201 380 MBq; Mo-99 27 GBq)	Fahrfehler	Keine; Versandstücke blieben unversehrt	
9. 2. 1995	Störung bei der Strahlerrückführung an einem Afterloading-Gerät (Ir-192 200 GBq)	Störung in der elektronischen Steuerung des Rückzugmotors	Geringfügige Personendosis des beteiligten Personals (maximal 0,4 mSv)	Keine radiologische Auswirkung auf den Patienten; Fehler umgehend behoben
11. 2. 1995	Fund eines Cs-137-Strahlers (3,7 MBq) im Abschirmbehälter	Einbruchdiebstahl in einer Arztpraxis	Keine, der Strahler war unversehrt und abgeschirmt	Der Strahler wurde an den Arzt zurückgegeben
17. 2. 1995	Fund eines alten Radium-Emanationsapparats in einem Recyclingzentrum (Ra-226 0,37 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Geringfügige Kontamination von mehreren Mitarbeitern an den Händen	Ordnungsgemäße Entsorgung veranlaßt
20. 2. 1995	Fund von 2 g abgereichertem Uran in einem Schließfach	Vermutlich Diebstahl	Keine	
24. 2. 1995	Kontamination eines Arztes bei der Injektion einer Y-90-Lösung	Unachtsamkeit	Nicht zu erwarten; Dekontamination sofort eingeleitet	Verbesserungen durch Gewerbeaufsichtsamt angeordnet
2. 3. 1995	Bei der Inbetriebnahme eines medizinischen Beschleunigers befand sich eine Person zum Zwecke der Wartung im Bestrahlungsraum und war ca. 1 Minute einer Strahlenexposition durch Streustrahlung ausgesetzt.	Verletzung der Aufsichtspflicht, Nichteinhaltung von Festlegungen der Strahlenschutzanweisung	Geringfügige Personendosis (0,002 mSv)	Zur Überwachung des Bestrahlungsraumes wurde der Einbau eines dritten Fernsehsystems angeordnet

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
5. 3. 1995	Absturz eines Kleinflugzeugs, das als Transportgut ein Analysegerät mitführte, dessen Strahlerkopf einen Fe-55-Strahler (1,67 GBq) und einen Cd-109-Strahler (185 MBq) enthielt	Unbekannt	Keine; Strahler blieben unversehrt	Strahler wurden geborgen und an die Herstellerfirma zurückgegeben
10. 3. 1995	Fund von 4 g Natururan in einem Abfallfaß auf einem öffentlichen Weg	Unzulässige Entsorgung	Keine	
14. 3. 1995	Verlust eines Ta-182-Strahlers (185 MBq) innerhalb einer Unterwasser-Pipeline bei Kontroll- und Reinigungsarbeiten	Vermutlich Zusammenstoß von zwei Kontrollgeräten in der Pipeline	Kein Gefährdungspotential aufgrund geringer Halbwertszeit und Aktivität sehr gering	Suche nach dem Strahler blieb ergebnislos
23. 3. 1995	Fund von zwei Schulquellen (Na-22 3,7 kBq; Co-60 100 kBq) sowie 143 g Uranoxid in einem Analytiklabor	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivitäten sehr gering	Quellen wurden sichergestellt
24. 3. 1995	Diebstahl von zwei Schulquellen (Cs-137 kBq; Kr-85 185 kBq)	Bei Einbruch in eine Schule entwendet	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Cs-137 Quelle wurde sichergestellt und zurückgegeben
30. 3. 1995	Fund eines Prüfstrahlers (Am-241, 25 kBq)	Kauf eines Werkstattwagens der NVA	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Prüfstrahler wurde sichergestellt
12. 4. 1995	Anonyme Zusendung eines Cd-109-Strahlers (370 MBq) an einen Strahlerlieferanten	Unbekannt	Keine; Strahler war abgeschirmt	Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen wurden eingeleitet
12. 4. 1995	Fund von 3 Glasröhrchen mit radioaktiven Stoffen (Ra-226 Ges.-Akt. 9 MBq) in einem Bleicontainer	Röhrchen befanden sich in einem Nachlaß	Keine; Präparate waren abgeschirmt	Ordnungsgemäße Entsorgung wurde veranlaßt
13. 4. 1995	Brand eines Servicefahrzeuges, das u. a. 4 Ionisationsrauchmelder (Am-241 Ges.-Akt. 90 kBq) mitgeführt hatte		Keine Kontamination festgestellt	
18. 4. 1995	Fund einer Pb-210-Schulquelle (ca. 10 kBq) in einem Schließfach eines Bahnhofs	Vermutlich Protestaktion	Keine; Strahler war original verpackt	Kriminalpolizeiliche Ermittlungen wurden eingeleitet und sind ohne Ergebnis eingestellt worden
19. 4. 1995	Verlust von 5 Ionisationsrauchmeldern (Am-241), Restaktivität im Brandschutt 14 MBq	Brand	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Beseitigung des höher kontaminierten Brandschutts als radioaktiver Abfall

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
19. 4. 1995	Bei Durchstrahlungsarbeiten löste sich der Strahlerhalter vom Fernbedienungskabel, der Strahler (Ir-192 1,7 TBq) ließ sich nicht in den Arbeitsbehälter zurückführen	Mechanische Beschädigung der Kugelkupplung	Die an der Bergung des Strahlers beteiligte Person erhielt eine geringe Dosis (0,4 mSv)	Maßnahmen zur Vermeidung einer Wiederholung eines derartigen Vorfalles wurden getroffen
24. 4. 1995	Fund eines Prüfstrahlers (Sr-90 80 kBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Quelle wurde ordnungsgemäß entsorgt
4. 5. 1995	Fund einer Schulquelle Kr-85 (ca. 90 kBq) und einer Schulquelle Cs-137 (ca. 180 kBq) in einer Schule	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivitäten sehr gering	Quellen wurden sichergestellt
5. 5. 1995	Durchtrennung eines medizinischen Präparates (I-125-Seed 256 MBq)	Durchtrennung des Katheters mit dem Präparat während einer Operation	Keine, da keine Kontamination aufgetreten ist	Die Teilstücke wurden mit dem radioaktiven Abfall entsorgt
15. 5. 1995	Fund von 25 Ionisationsrauchmeldern mit je 4 MBq Pu-239 in einem Betrieb bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Lagerung	Kein Gefährdungspotential bei intakten Rauchmeldern	Ionisationsrauchmelder wurden sichergestellt
16. 5. 1995	Beruflicher Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen (S-35) durch eine Schwangere	Umgang wurde nicht – wie vorgeschrieben – zu Beginn der Schwangerschaft, sondern erst einige Zeit später eingestellt	Vermutung eines Zusammenhangs mit einer Mißbildung bei dem Kind	Ein Gutachten ergab keine Kausalität zwischen Mißbildung und Strahlenexposition
24. 5. 1995	Nach Durchstrahlungsarbeiten ließ sich der Strahler (Co-60 0,37 TBq) nicht in das Gerät zurückführen	Defekt am Ausfahr-schlauch	Keine	Behebung des Defektes durch Servicefirma
2. 6. 1995	Fund von 159 Ionisationsrauchmeldern mit je 200 MBq Kr-85 in einem Betrieb bei Abbrucharbeiten	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität und des Radionuklids sehr gering	Ionisationsrauchmelder wurden sichergestellt
6. 6. 1995	Verlust eines Am-241-Strahlers (1,67 GBq) einer Füllstandsmeßeinrichtung	Füllstandsmeßeinrichtung gelangte bei Abbau einer Flaschenabfüllanlage höchstwahrscheinlich in die Schrottverarbeitung (Einschmelzen)	Die Aktivitätskonzentration der deponierten Ofenschlacke, die das Am-241 enthält, liegt unterhalb der zulässigen Werte	Lagerung der Schlacke auf Deponie und radiologische Überwachung der Deponie angeordnet; staatsanwaltschaftliche Ermittlungen gegen beteiligte Personen eingeleitet
10. 6. 1995	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 30 kBq)	Diebstahl	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
12. 6. 1995	Fund von zwei Schulquellen (Kr-85 185; Cs-137 kBq) durch einen Schüler	Diebstahl	Quellen unversehrt, aber geringere äußere Strahlenexposition nicht ausgeschlossen	Quellen wurden sichergestellt
29. 6. 1995	Zerstörung eines Am-241-Strahlers (3,7 GBq) beim Ausbau aus einer Meßeinrichtung	Abschirmung verklemmt, unsachgemäße Handhabung	Raum- und Personenkontamination; Inkorporationen bei zwei Personen	Keine Gefährdung der Umwelt; Raumdekontamination erfolgreich abgeschlossen; Arbeitsanweisung verbessert; Bußgeld festgesetzt
4. 7. 1995	Störung an einem Afterloadinggerät (Cs-137; 1,5 GBq); nicht alle Quellen konnten ausgefahren werden	Deformierter Führungsschlauch	Die zusätzliche Exposition des Patienten betrug 40 mSv.	
10. 7. 1995	Freisetzung von markiertem Motorenöl (Br-82 1 MBq) bei Tracerversuchen	Herausschleudern eines Verschlußstopfens durch Druckaufbau im Versuchsaufbau	Kontamination des Versuchsaufbaus, keine Kontamination von Personen	Absperren des Versuchsraumes bis zum Abklingen der Aktivität, danach Änderung am Versuchsaufbau zur Verhinderung des Druckaufbaus
12. 7. 1995	Kontamination eines Wandtresors in einem Gymnasium	Undichte Radium 226-Schulquelle (Aktivität durch Sachverständigen auf 1,3 MBq geschätzt)	Vorsorgliche Ausscheidungsanalysen bei betroffenen Lehrern und einem Mitarbeiter der Aufsichtsbehörde ergaben keine Inkorporationen.	Tresor und Präparat an Landessammelstelle übergeben; weitere Messungen in den betroffenen Schulräumen ergaben keine erhöhte Radioaktivität
13. 7. 1995	Entsorgung radioaktiven Restmaterials, 5 leere Elutionsfläschchen (Tc-99 m mit Restakt. 1 MBq)	Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung durch Reinigungspersonal	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität und Halbwertszeit sehr gering	Entsprechende Belehrungen wurden erneut vorgenommen
14. 7. 1995	Verlust eines Ni-63-Präparates (555 MBq) bei einem Transportunternehmen	Unbekannt	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Ermittlungen wurden eingeleitet
19. 7. 1995	Feststellung von zwei undichten Cs-137-Strahlenquellen (je ca. 300 MBq) bei einer Dichtheitsprüfung	Quellen älter als 20 Jahre	Keine	Strahler als radioaktiver Abfall entsorgt
26. 7. 1995	Verlust einer Fe-55-Quelle (740 MBq) zur Werkstoffanalyse	Diebstahl	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Ermittlungsverfahren wurde eingeleitet
27. 7. 1995	Beförderung radioaktiver Stoffe auf der Schiene ohne atomrechtliches Beförderungsgenehmigung (§ 8 StrlSchV)	Der ausländische Absender hat weder den Beförderer über die Beförderung informiert noch § 8 StrlSchV beachtet	Keine	

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
August 1995	Verlust von 2 Sr-90/ Y-90-Quellen (Ges.-Akt. 7 MBq)	Fehlerhafte Bestandsliste	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	
7. 8. 1995	Wassereintrich in die Sicherheitswanne der Abklinganlage einer Jod-131-Therapie- station	Technischer Defekt an einem WC auf der Jod- 131-Therapiestation	Keine; zulässige Werte des § 46 Abs. 4 StrlSchV wurden nicht überschritten	
17. 8. 1995	Verlust eines Ni-63- Präparates (300 MBq) während des Stückgut- versandes	Unbekannt, Sendung wurde ordnungsgemäß verpackt, deklariert und aufgegeben	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Staatsanwaltliche Ermittlungen wurden eingeleitet
17. 8. 1995	Verlust von 2 Schul- quellen (Cs-137 185 kBq; Kr-85 185 kBq)	Diebstahl	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Kriminalpolizeiliche Ermittlungen wurden eingeleitet
18. 8. 1995	Verkehrsunfall bei einem genehmigungs- pflichtigen Transport eines Typ B (U) Ver- sandstücks mit Ir-192	Geplatzter Reifen	Keine, Versandstück unversehrt	
19. 8. 1995	Unerlaubter Besitz von zwei Ferngläsern (EDF 7 x 40) mit eingebauten Tritiumgasquellen (je 100 GBq) für die Ska- lenbeleuchtung	Keine Genehmigung bzw. Bauartzulassung	Gefährdungspotential bei Zerstörung der Tritiumgasquelle vor- handen	
21. 8. 1995	Verlust eines Ra-226- Strahlers (370 MBq) in einem Krankenhaus	Strahler ist möglicher- weise zusammen mit dem hausmüllähn- lichen Krankenhaus- abfall entsorgt worden	Eine geringfügige äußere Bestrahlung der mit der Müllentsor- gung beschäftigten Personen kann nicht ausgeschlossen werden	Ermittlungen wurden eingeleitet
22. 8. 1995	Brand eines Militärlast- wagens, der u. a. Kampfstoffdetektoren mit insges. 3 Am-241- Quellen transportierte	Reifenbrand	Keine; die drei Geräte blieben unbeschädigt	
2. 9. 1995	Halterungsbruch einer Co-60-Füllstandsmeß- einrichtung (16 MBq) in einem Verdampfer	Korrosion von Schweißnähten durch falsches Schweißelektro- denmaterial	Keine; Quelle nicht zerstört	Strahler geborgen und entsorgt, Arbeits- flächen und Behälter kontaminationsfrei
8. 9. 1995	Fund von 24 Ionisa- tionsrauchmeldern mit Kr-85 (je 18,5 MBq) und uran- bzw. tho- riumhaltiger Verbin- dungen auf dem Re- cyclinghof einer Stadt- reinigung	Unzulässige Beseiti- gung	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	ordnungsgemäße Ent- sorgung

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
8. 9. 1995	Verlust von Versandstücken mit insges. 100 MBq H-3 und 520 MBq C-14 bei der Beförderung	Unbekannt	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Ermittlungen bislang ohne Ergebnis
14. 9. 1995	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 15 kBq)	Sanierungsarbeiten	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Rauchmelder wurden mit dem Sanierungsmaterial auf Sondermülldeponie entsorgt
21. 9. 1995	Fund eines eingemauerten kontaminierten Tresors mit zwei Ra-226-Nadeln (Ges.-Akt. 740 MBq) in einem Krankenhaus	Vorhandensein der Strahler war nicht bekannt	Keine; Strahler durch Tresor abgeschirmt und keine Ausbreitung der Kontamination	Strahler und Tresor wurden entsorgt
26. 9. 1995	Feststellung des Verlustes von offenen radioaktiven Stoffen aus einem Laborgebäude (Co-60 2,5 MBq; Sr-90 12 MBq; Cs-137 37,2 MBq; Th-232 2 MBq)	Vermutlich Diebstahl	Bei Zerstörung der Behältnisse besteht Inkorporationsgefahr	Information der Bevölkerung über abhandengekommene Stoffe; Nachforschungen blieben bisher ergebnislos; kriminalpolizeiliche Ermittlungen eingeleitet
27. 9. 1995	Bei Durchstrahlungsarbeiten (Ir-192 240 GBq) kam es durch Drahtriß des Ferngebers am Kugelkopf zu einer Störung	Ermüdungsbruch der Außendrähte	Die an der Bergung des Strahlers beteiligten 3 Personen erhielten geringe Dosen (0,05 mSv, 0,1 mSv und 0,3 mSv)	Maßnahmen zur Vermeidung einer Wiederholung eines derartigen Vorfalles wurden getroffen
28. 9. 1995	Kontaminationsereignis in einem Lageraum eines Spaltstofflagers	Beschädigte Folienumhüllung eines Lagerbehälters	Raumluft-, Oberflächen- und Personenkontaminationen	Dekontamination wurde durchgeführt und der Lagerbehälter mit neuer Folie umhüllt
29. 9. 1995	Bei der Überprüfung einer Afterloadingeinrichtung ließ sich der Strahler (Ir 192 370 GBq) durch den „NOT-AUS“-Taster nicht in die Abschirmung zurückführen. Der Strahler wurde mit der Handkurbel zurückgeführt	Ausfall des Quellenrückholmotors	Geringfügige Personendosis der mit der Rückführung betrauten Person (0,05 mSv)	Austausch des Quellenrückholmotors
2. 10. 1995	Fund einer mit Ra-226 festhaftend kontaminierten (Ges.-Akt. 18 MBq) Schraube bei einer Eingangskontrolle von Metallschrott	Vermutlich unsachgemäß entsorgte Teile eines Kalibrierstrahlers oder Markierungsknopfes	Nicht zu erwarten, da festhaftende Kontamination	Herkunft konnte nicht mehr ermittelt werden
5. 10. 1995	Durchtrennung eines medizinischen Präparates (I-125-Seed 256 MBq)	Durchtrennung des Katheters mit dem Präparat während einer Operation	Keine, da keine Kontamination aufgetreten ist	Die Teilstücke wurden mit dem radioaktiven Abfall entsorgt

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
10. 10. 1995	Unerlaubter Besitz eines Fernglases (EDF 7 x 40) mit eingebauter Tritiumgasquelle (100 GBq) für die Skalenbeleuchtung	Keine Genehmigung bzw. Bauartzulassung	Gefährdungspotential bei Zerstörung der Tritiumgasquelle vorhanden	
10. 10. 1995	Fund von 50 Stück Schulstrahlenquellen im Rahmen eines Entsorgungsauftrages für Chemikalien (davon 25 Quellen Co-60 je 167 kBq; 25 Quellen Na-24 je 30 kBq)	Mangelnde Buchführung (Verstoß gegen § 78 StrlSchV)	Gefährdungspotential gering aufgrund der Aktivität	
18. 10. 1995	Fund eines Ir-192-Strahlers (185 MBq) bei der Eingangskontrolle in einem Stahlwerk	Der Strahler war in einem Schamottestein eingesintert und stammte aus der Abbrandmessung in einem ausländischen Stahlwerk	Strahler war unversehrt, aber äußere Strahlenexposition bei früherer Handhabung nicht auszuschließen	Der Stein wurde mit dem Strahler entsorgt. Künftig werden die Steine vom Absender kontrolliert
26. 10. 1995	Feststellung von zwei undichten Cs-137-Strahlenquellen (20 MBq und 1 GBq)	Quellen älter als 20 Jahre	Keine	Strahler als radioaktiver Abfall entsorgt
27. 10. 1995	Verkauf von nicht bauartzugelassenen Ionisationsrauchmeldern (Am-241 37 kBq) in einem Baumarkt	Unkenntnis des Lieferanten und der Verkaufsstelle	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Erlaß einer Ordnungsverfügung, Einstellung des Verkaufs und Rückgabe der noch vorhandenen Ionisationsrauchmeldern an den Lieferanten
30. 10. 1995	Verlust eines Meßgerätes Am-241 (3,7 GBq) bei Bilanzierung entdeckt	Vermutlich in Metallschrott gelangt	Am-241 wandert beim Einschmelzen in die Schlacke, Gefährdungspotential gering	Ermittlungen blieben ohne Ergebnis
30. 10. 1995	Verkehrsunfall eines Kleinlasters mit radioaktiven Versandstücken	Fahrfehler	Keine, die Versandstücke blieben unversehrt	
1. 11. 1995	Freisetzung von 6,8 GBq Kr-85 aus einem radiochemischen Labor über den Abluftkamin	Undichtigkeit einer Gasflasche	Keine	Ableitungsgrenzwert wurde nicht überschritten
6. 11. 1995	Verlust eines P-33 Präparates (9,3 MBq)	Unbekannt	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität und Halbwertszeit sehr gering	
17. 11. 1995	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers, als sich der Medizinphysiker noch im Bestrahlungsraum befand	Menschliches Versagen	Keine; der „Not-Aus“-Taster wurde vom Medizinphysiker sofort betätigt (keine meßbare Personendosis)	Sonderbelehrung über das Verhalten beim Betrieb eines Beschleunigers wurde veranlaßt

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
19. 11. 1995	Funktionsstörung an einer medizinischen Gammabestrahlungseinrichtung (Verschluß und Blende ließen sich nicht schließen)	Mechanische Veränderungen zwischen Zylinder und Abschirmung; Getrieberitzel defekt	Zusätzliche Exposition des Patienten im Bestrahlungskonzept berücksichtigt	Gerät bis zum Abschluß der Reparatur stillgelegt
21. 11. 1995	Bei Durchstrahlungsarbeiten ließ sich der Strahler (Ir-192 440 GBq) eines Gerätes für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung nicht in den abgeschirmten Behälter zurückfahren	Versagen der Magnethalterung, dadurch Absturz des Behälters und Knick in der Strahlerführung	Geringfügige Strahlenexposition der beteiligten Personen (unterhalb 0,2 mSv)	Halterung der Behälter wurde verbessert
30. 11. 1995	Verlustanzeige eines Strahlers aus einem Dickenmeßgerät (Am-241 9,25 GBq)	Diebstahl	Gefährdungspotential bei unsachgemäßer Handhabung vorhanden	Kriminalpolizeiliche Ermittlungen wurden eingeleitet; vermutlich illegale Ausfuhr
1. 12. 1995	Fund von ca. 500 g Thoriumnitrat in einem Sonderabfallzwischenlager	Unzulässige Beseitigung	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivitätskonzentration gering	Thoriumnitrat wurde sichergestellt
1. 12. 1995	Feststellung von zwei undichten Strahlenquellen: Am-241 (Prüfquelle, Alter und Aktivität unbekannt) und Co-60 (160 MBq)	Quellen älter als 20 Jahre	Keine	Strahler als radioaktiver Abfall entsorgt
1. 12. 1995	Vorübergehendes Abhandenkommen von ca. 170 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 37 kBq) auf einer Liegenschaft des Bundes	Ungeordnetes Aufbewahren	Keine	Melder wurden ca. 14 Tage später an anderer Lagerstelle aufgefunden
6. 12. 1995	Bei einer Kalibrierungsmessung an einer Afterloadingeinrichtung (Ir-192 280 GBq) konnte der Strahler erst nach mehreren Versuchen in den Abschirmbehälter zurückgezogen werden	Führungsschlauch geknickt und innen eingerissen	Keine, da fernbediente Handhabung	Führungsschlauch ersetzt
12. 12. 1995	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 30 kBq) in einer Schule	Diebstahl	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Entsprechende Aufklärung in der Schule wurde veranlaßt
12. 12. 1995	Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 je 555 kBq)	Brand in einem Werk	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	Brandschutt als Sondermüll beseitigt
19. 12. 1995	Feststellung einer undichten Am-241-Strahlenquelle (14 kBq) sowie der Kontamination einer Glasampulle mit Neptuniumoxid	Unbekannt	Keine	Strahler und Ampulle als radioaktiver Abfall entsorgt

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
19. 12. 1995	Feststellung von zwei undichten Cs-137-Strahlenquellen (5 und 2 GBq)	Quelle älter als 10 Jahre bzw. 30 Jahre	Keine	Strahler als radioaktiver Abfall entsorgt
20. 12. 1995	Verkehrsunfall beim Transport von zwei Containern mit radioaktiven Abfällen	Unachtsamkeit	Keine; Container nicht beschädigt	
21. 12. 1995	Verkehrsunfall bei Beförderung von 3 Containern mit radioaktiven Reststoffen und Abfällen (Ges.-Akt. ca. 70 GBq)	Verkehrsunfall	Keine; Transportgut nicht beschädigt	
22. 12. 1995	Fehlen einer Tritiumgasquelle (13 GBq) zur Notausstiegsbeleuchtung in einem Hubschrauber	Unbemerkttes Lösen der Befestigung	Gefährdungspotential bei Zerstörung der Tritiumgasquelle vorhanden	
22. 12. 1995	Verlust eines Prüfstrahlers (C-14 3,7 MBq), der sich in einem PKW befand	Diebstahl des PKW	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität sehr gering	Strahler konnte sichergestellt werden

Tabelle IV.3

**Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland (81,44 Mio Einwohner),  
in Absolutzahlen und in relativer Häufigkeit je 1 000 Einwohner im Jahr 1994**

Organ/Untersuchung	Anzahl in Tausend				je 1000 Einwohner
	Ambulant	Stationär	Sonstige	Gesamt	
Brustkorb .....	11 050	10 600		21 650	266
Gliedmaßen .....	21 630	3 350		24 980	307
Wirbelsäule .....	11 110	1 200		12 310	151
Becken .....	3 210	570		3 780	46
Hüfte .....	3 830	480		4 310	53
Schädel .....	10 200	1 050		11 250	138
Bauchraum (leer) .....	1 870	720		2 590	32
Speiseröhre/Magen ...	750	110		860	11
Dünndarm .....	140	10		150	2
Dickdarm .....	210	80		290	4
Galle .....	120	100		220	3
Harntrakt .....	1 600	680		2 280	28
Arteriendarstellung ...	410	1 030		1 440	18
Venendarstellung .....	420	260		680	8
Mammographie .....	5 240	300		5 540	68 <sup>1)</sup>
CT-Schädel .....	850	810		1 660	20
CT-Sonstige .....	2 150	1 420		3 570	44
Knochendichtemessung	1 090	???		1 090	13 <sup>2)</sup>
Sonstige .....	1 380	250	1 990 <sup>3)</sup>	3 620	44
Zwischensumme .....	77 260	23 020	1 990	102 270	1 256
Zahnuntersuchungen .	22 510	10		22 520	277
<b>Gesamt .....</b>	<b>99 770</b>	<b>23 030</b>	<b>1 990</b>	<b>124 790</b>	<b>1 533</b>

<sup>1)</sup> Entspricht 157 je 1 000 Frauen älter als 15 Jahre.

<sup>2)</sup> Nur Ambulanz.

<sup>3)</sup> Nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen.

CT: Computertomographie

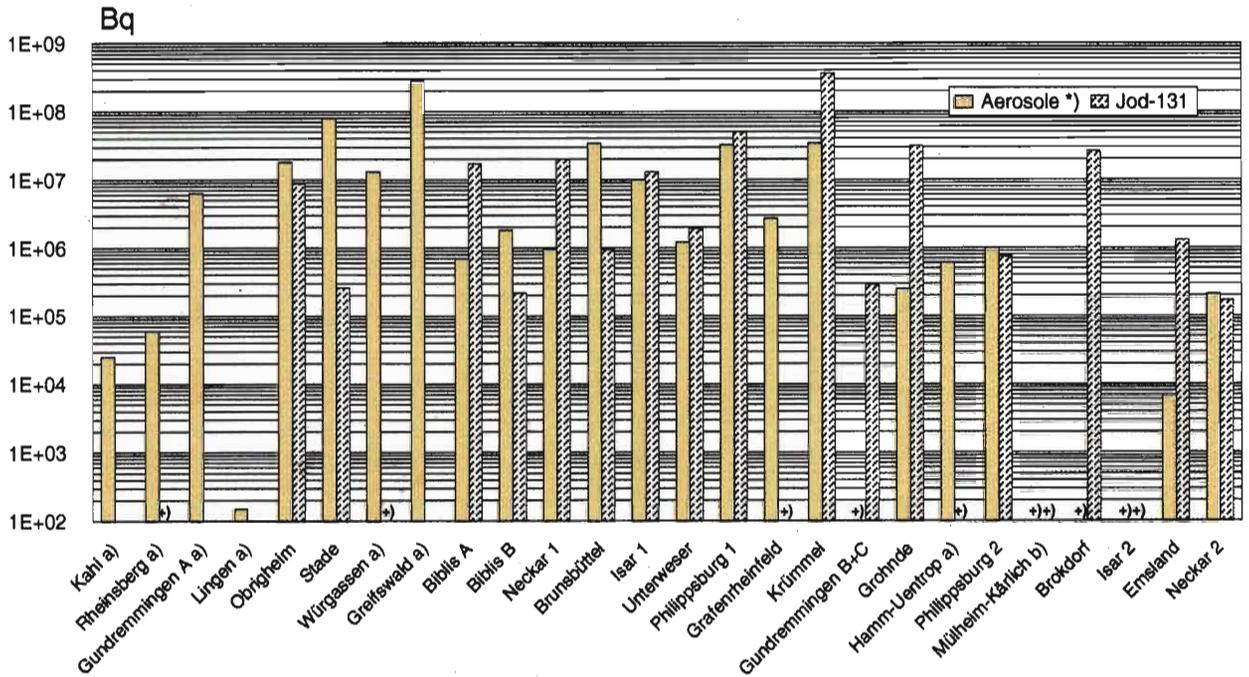
Tabelle IV.4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben  
im Jahr 1995**

	Abluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium .....	4,8 E+11	2,0 E+05
Kohlenstoff-14 .....	2,7 E+09	-
langlebige Aerosole .....	3,5 E+06	-
Radon-Folgeprodukte .....	2,8 E+10	-
Nuklidgemisch außer Tritium .....	-	9,1 E+03

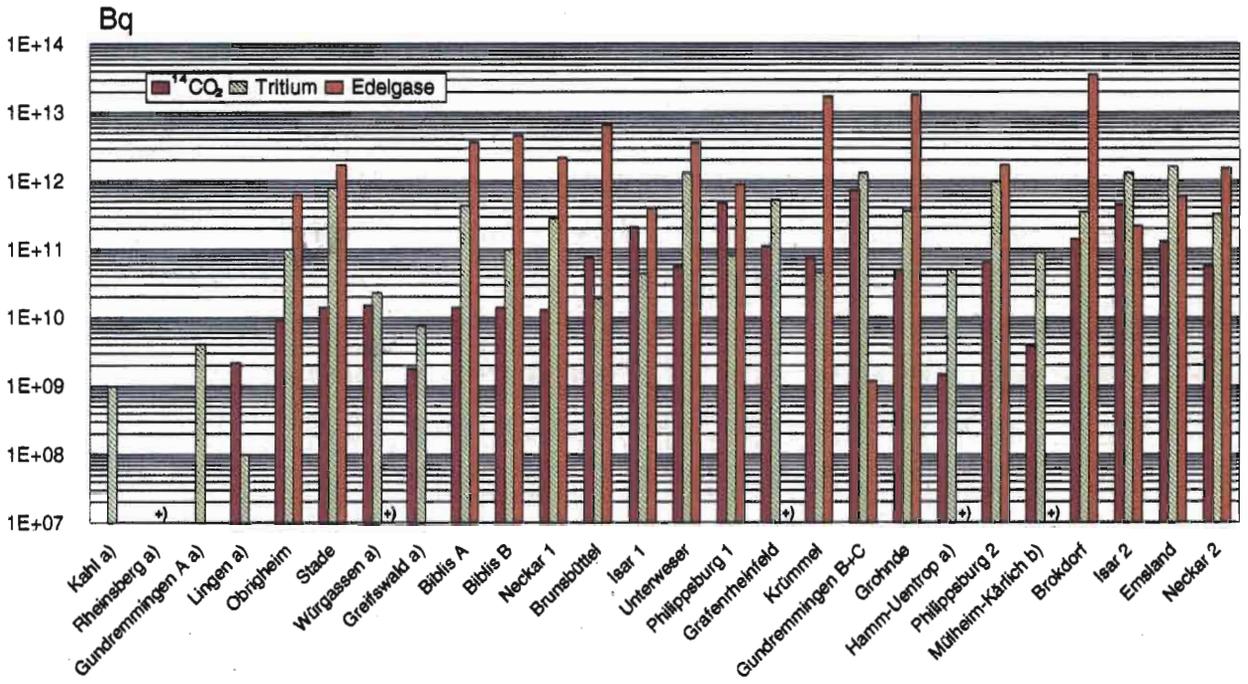
Abbildung IV.1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1995**



- a) Betrieb beendet.
- b) 1995 nicht in Betrieb.
- \*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alpha-Strahler.
- + ) Kleiner oder gleich Nachweisgrenze.

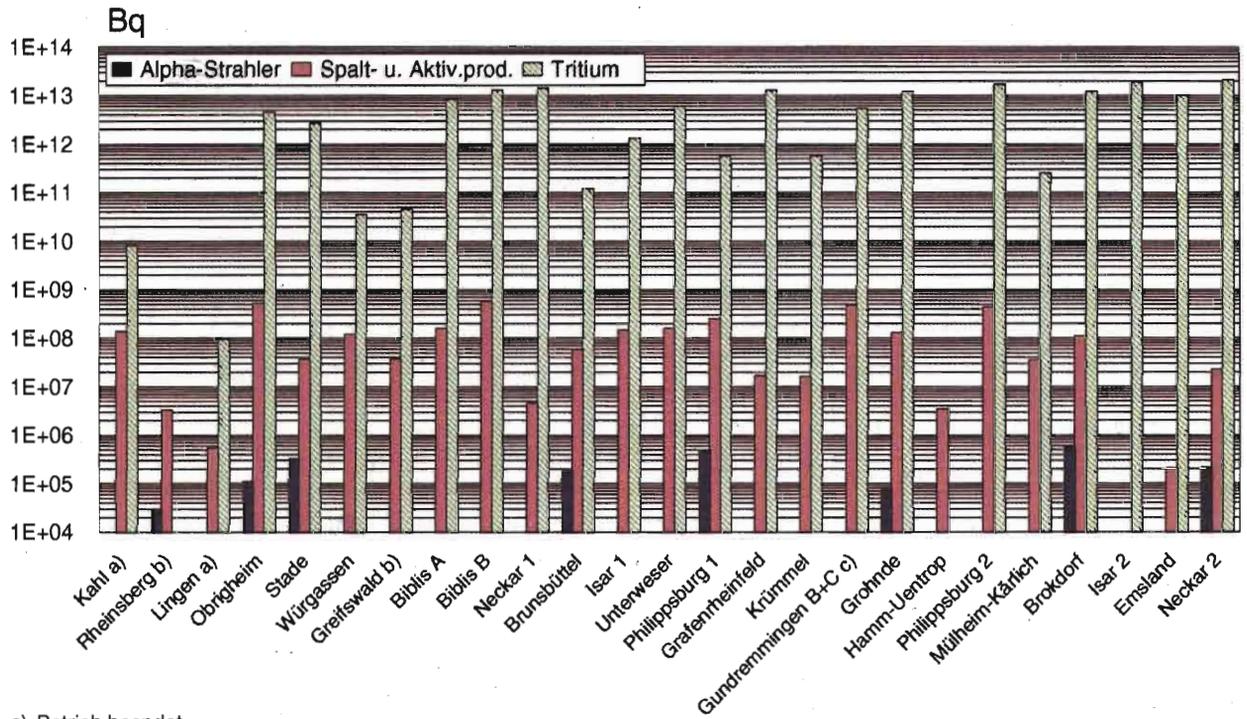
**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1995**



- a) Betrieb beendet.
- b) 1995 nicht in Betrieb.
- +) Kleiner oder gleich Nachweisgrenze.

Abbildung IV.3

### Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 1995 (Summenwerte, Tritium und Alphastrahler)



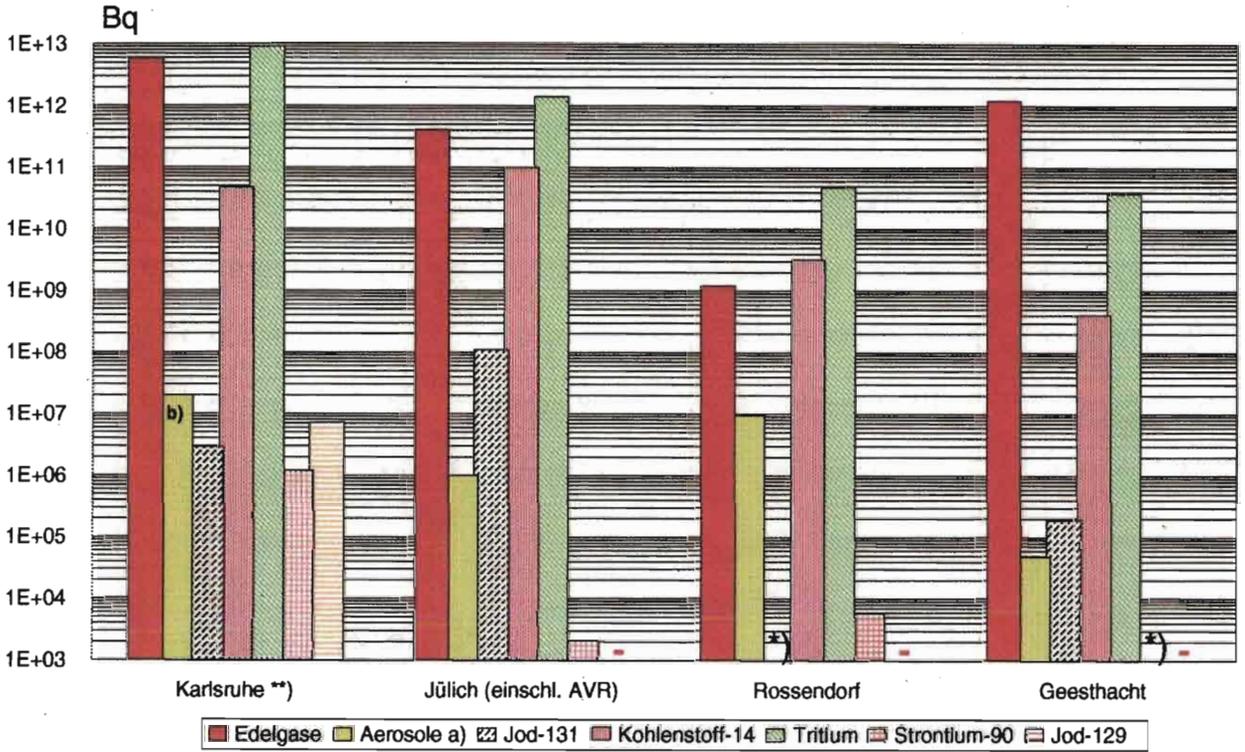
a) Betrieb beendet.

b) Anlage seit 1990 außer Betrieb.

c) Block A stillgelegt.

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

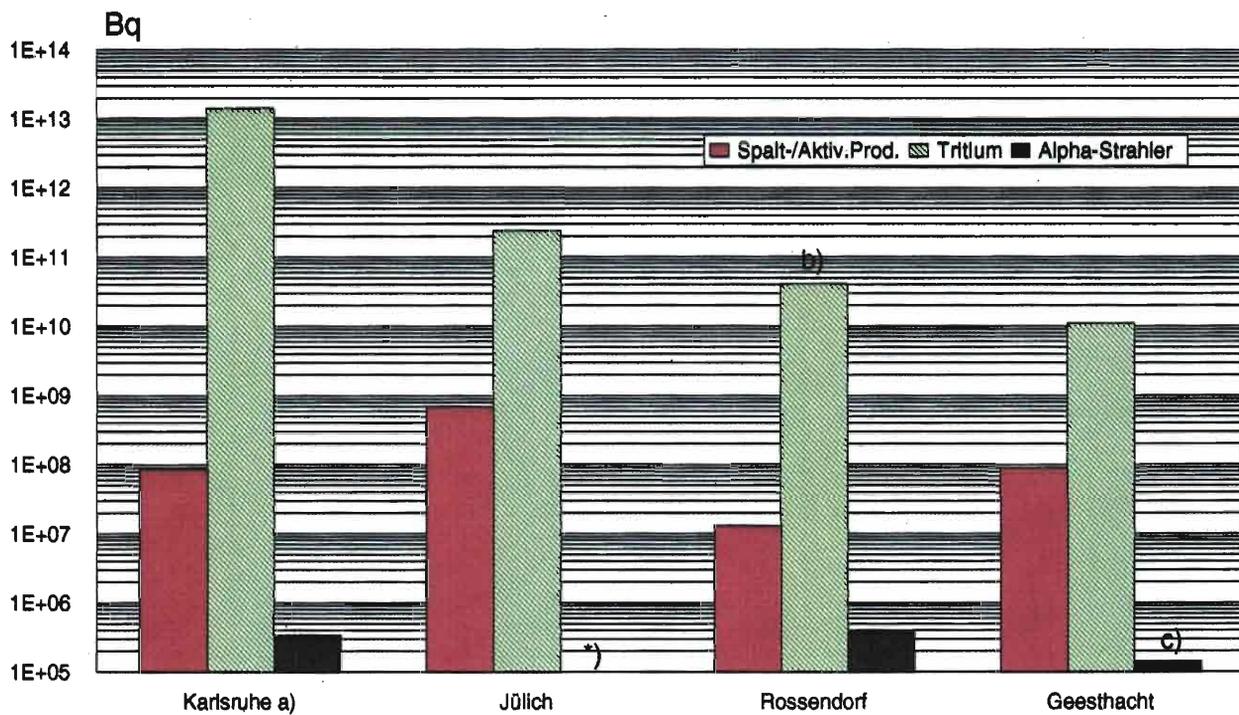
**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 1995**



a) HWZ > 8 Tage.  
 b) Davon Alphastrahler: 6,1 E05 Bq.  
 \*) Nicht nachgewiesen (kleiner oder gleich Nachweisgrenze).  
 \*\*) Einschl. Wiederaufarbeitungsanlage.

Abbildung IV.5

## Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 1995



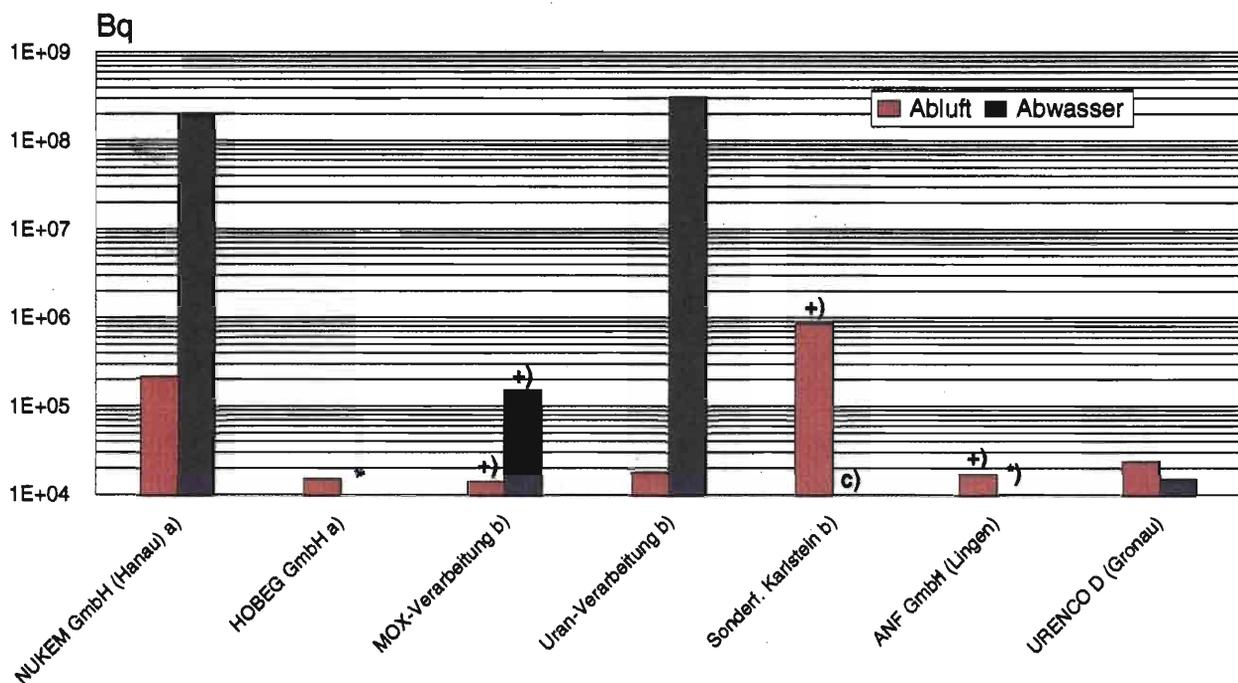
a) Einschl. Wiederaufbereitungsanlage.

b) Einschl. der Radionuklide aus der Isotopenproduktion und Forschungseinrichtung.

c) Pu-239.

\*) Kleiner Nachweisgrenze.

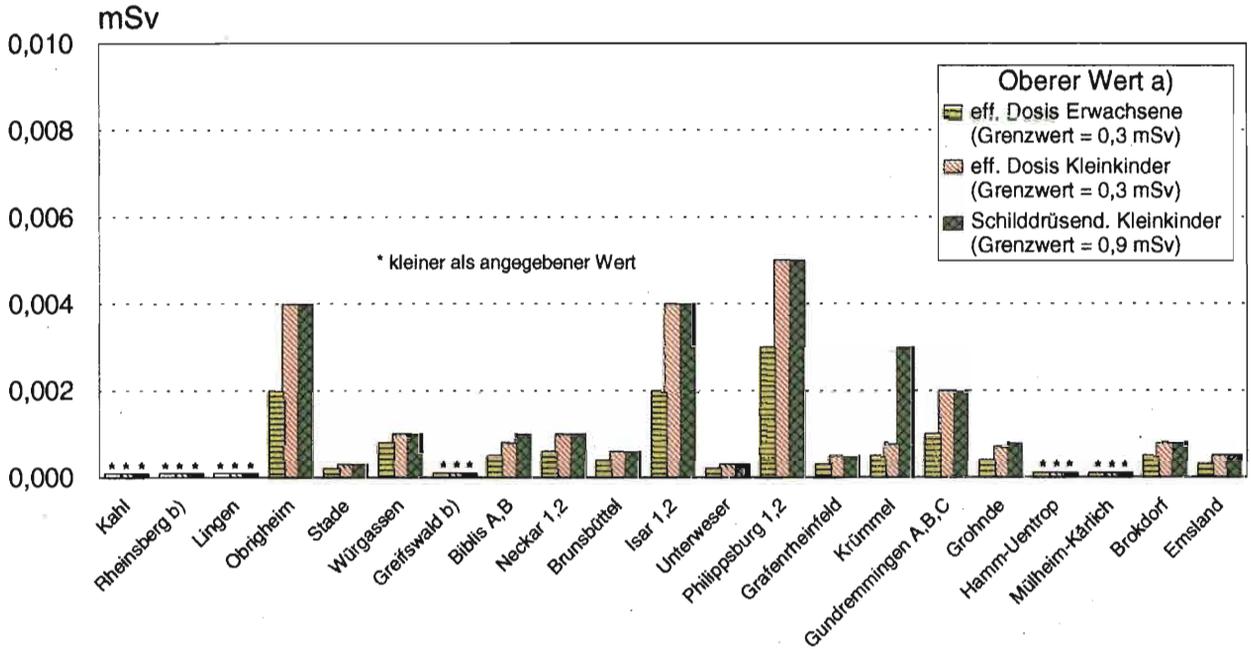
**Ableitung radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität)  
aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1995**



- a) Brennelementproduktion 1988 eingestellt.
- b) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau.
- c) Abgabewert liegt nicht vor.
- + ) Kleiner als angegebener Wert.
- \* ) Aktivitätsabgabe unterhalb Nachweisgrenze.

Abbildung IV.7

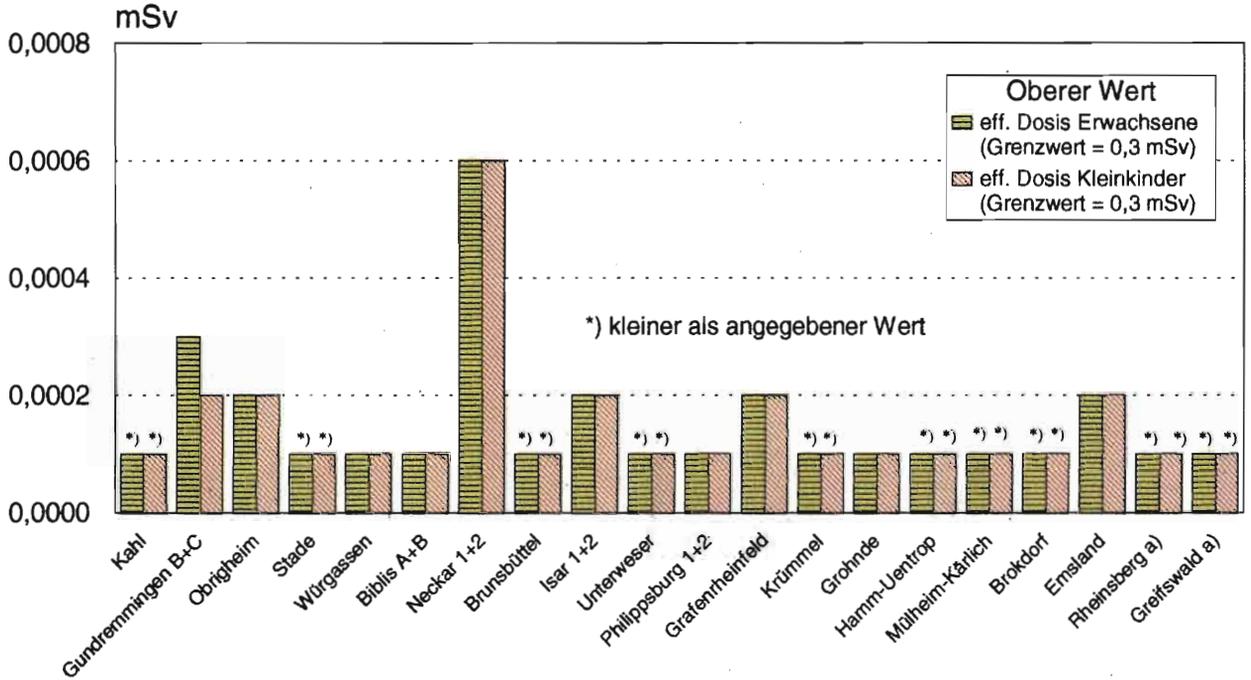
### Strahlenexposition im Jahr 1995 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft



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.

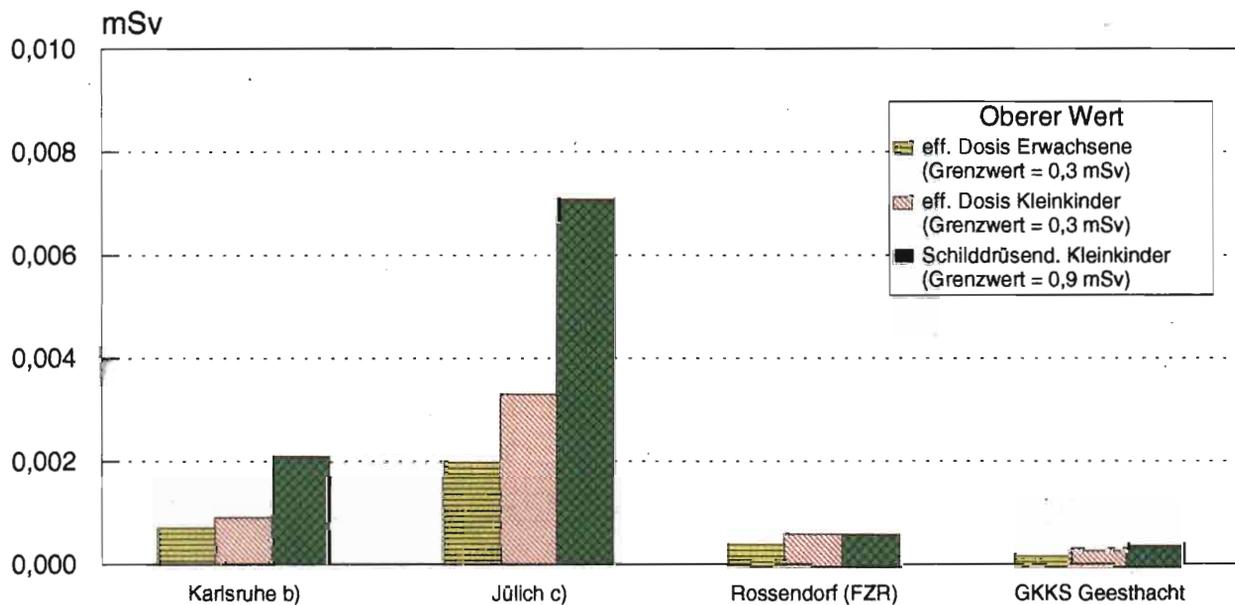
**Strahlenexposition im Jahr 1995 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser**



a) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Jahren vor 1990 nicht vorliegen.

Abbildung IV.9

**Strahlenexposition im Jahr 1995 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft a)**

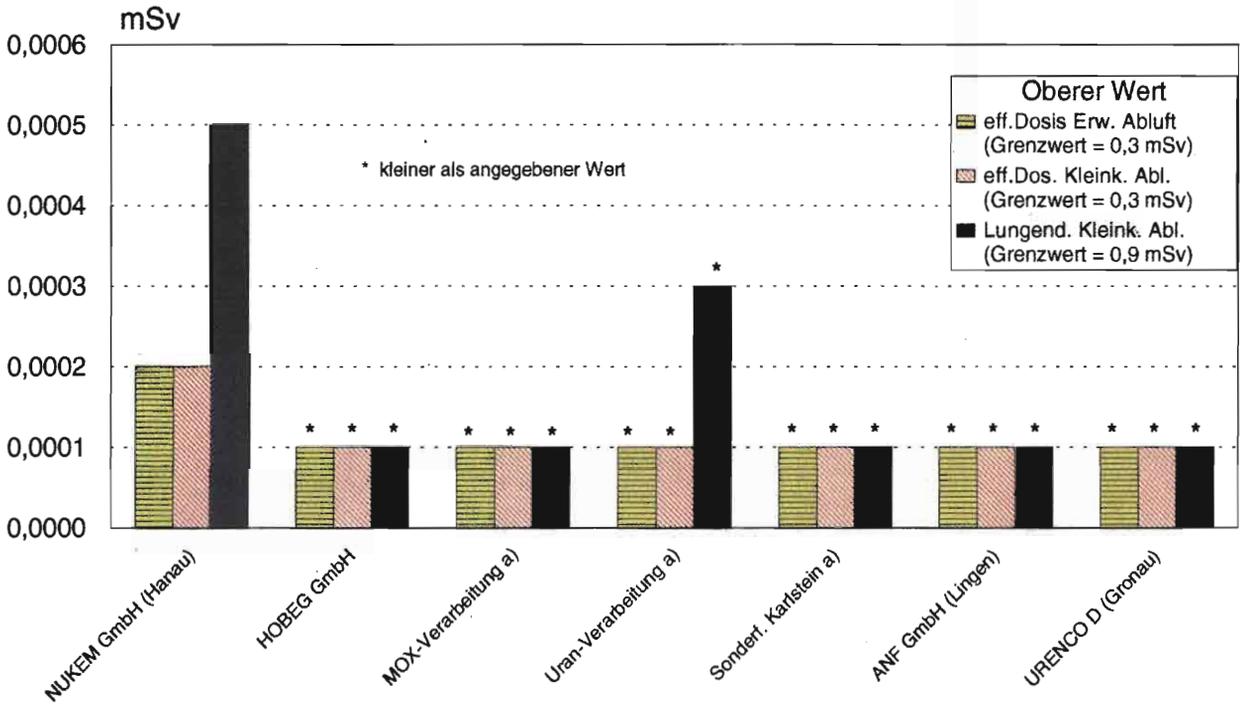


a) Entnommen aus den Jahresberichten 1995 sowie nach Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf und Geesthacht.

b) Einschl. Wiederaufarbeitungsanlage.

c) Einschl. Versuchsreaktor AVR.

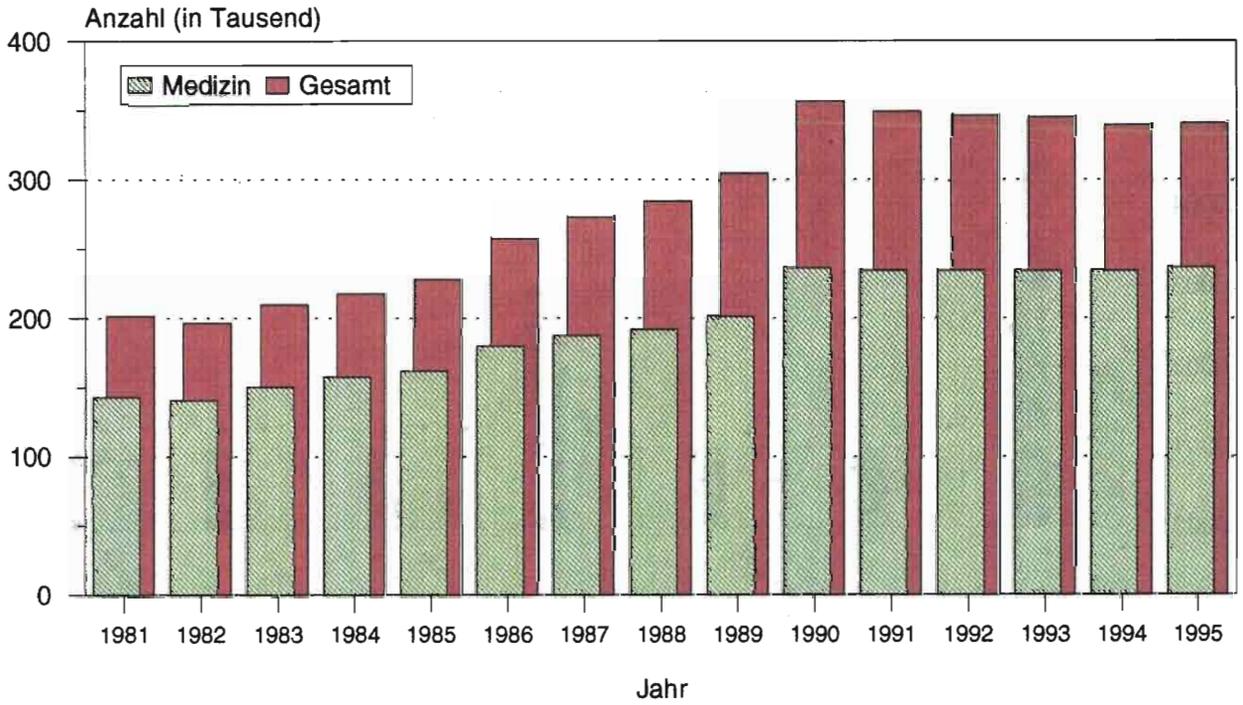
**Strahlenexposition im Jahr 1995 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft**



a) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau.

Abbildung IV.11

**Mit Personendosimetern überwachte Personen insgesamt und in der Medizin  
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)**



**Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis und Verteilung auf Strahlenanwendungsbereiche  
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)**

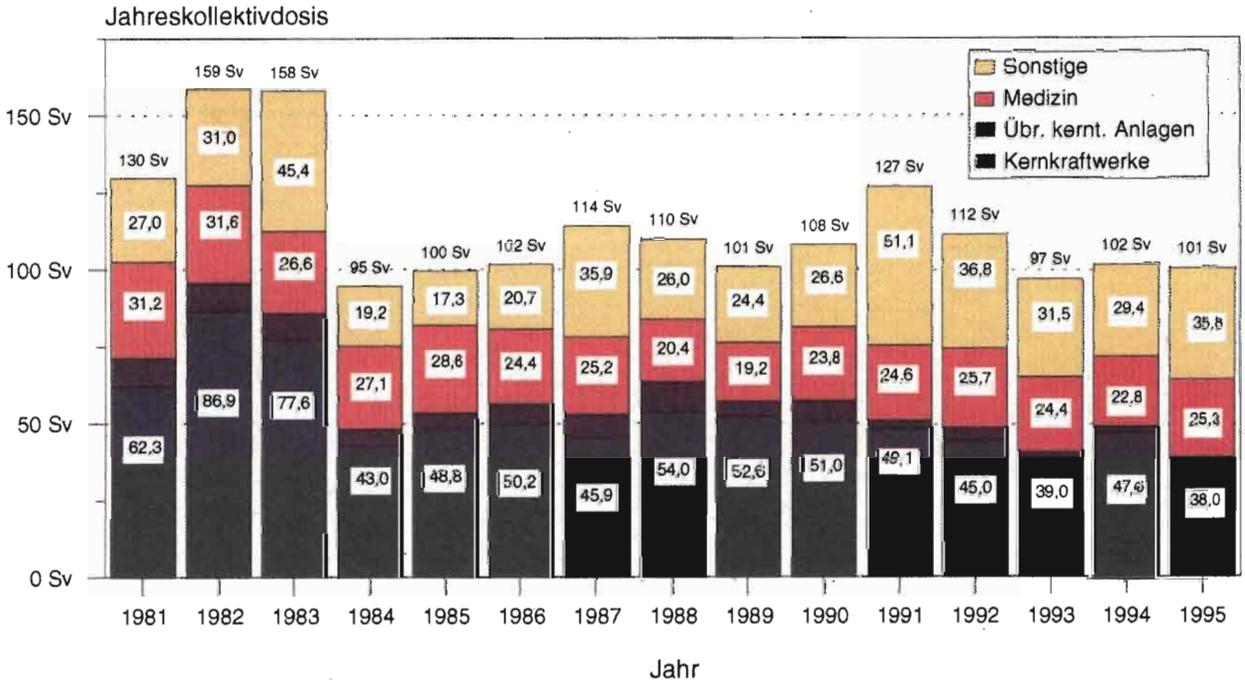


Abbildung IV.13

## Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

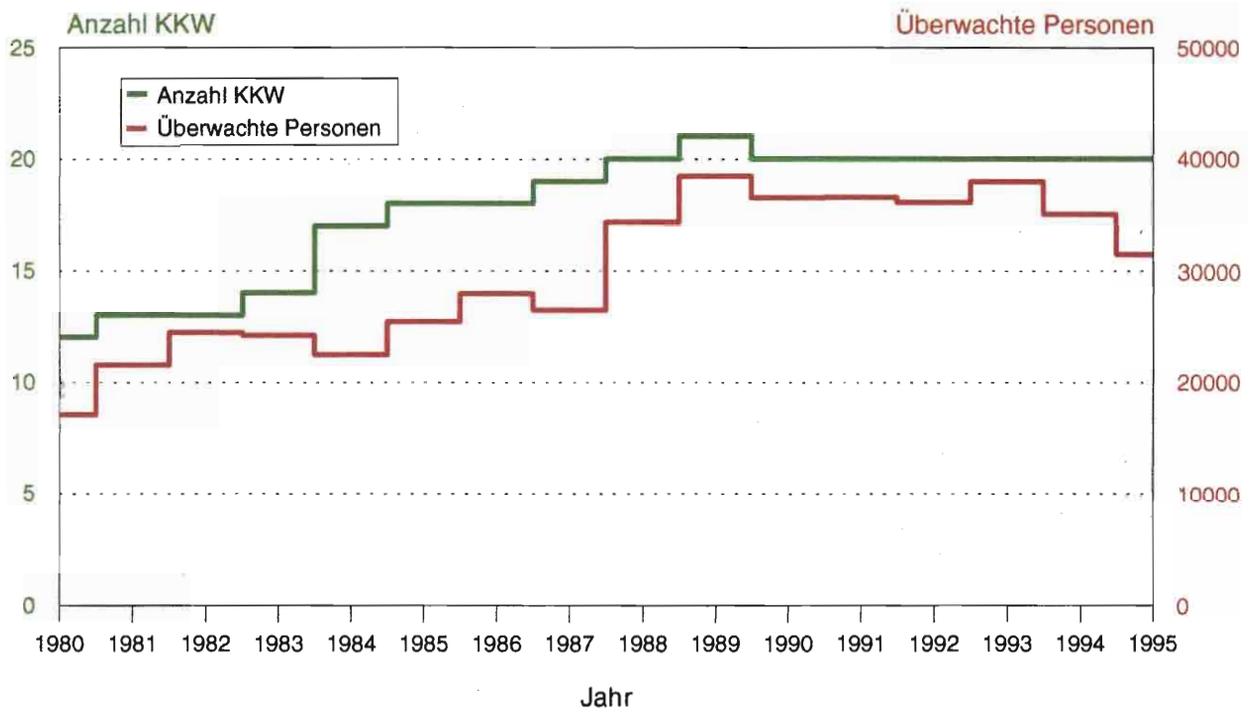


Abbildung IV.14

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

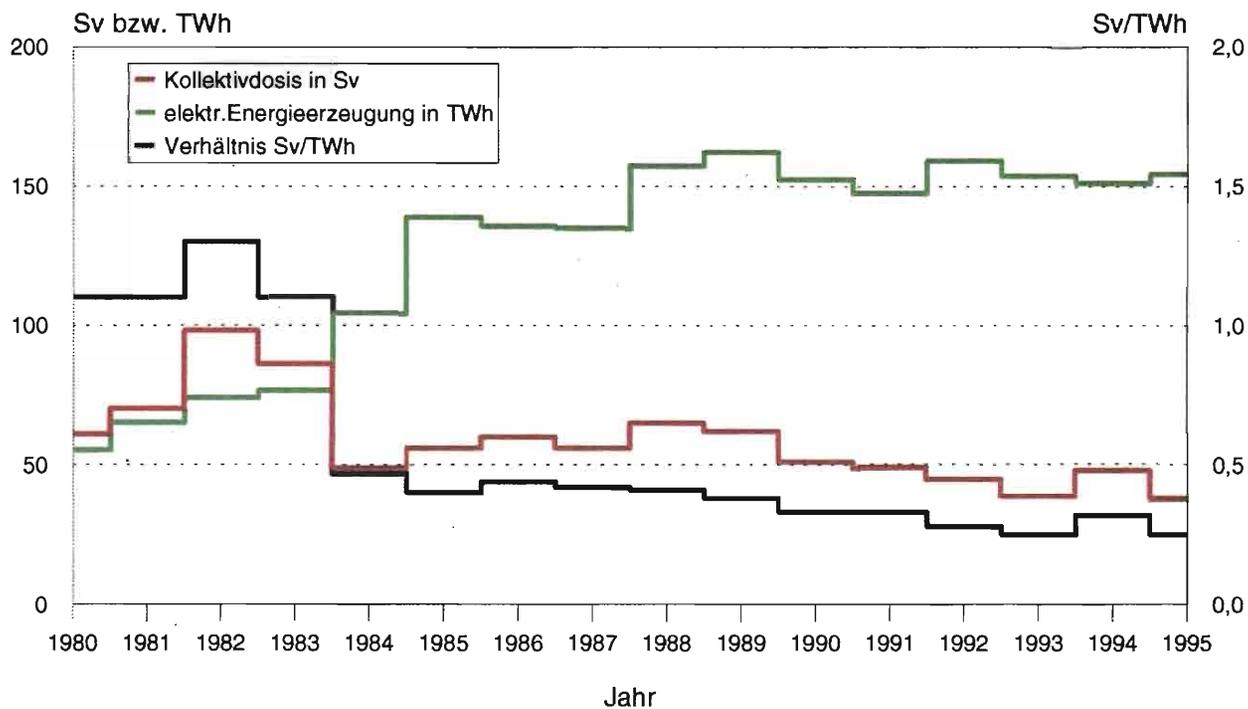
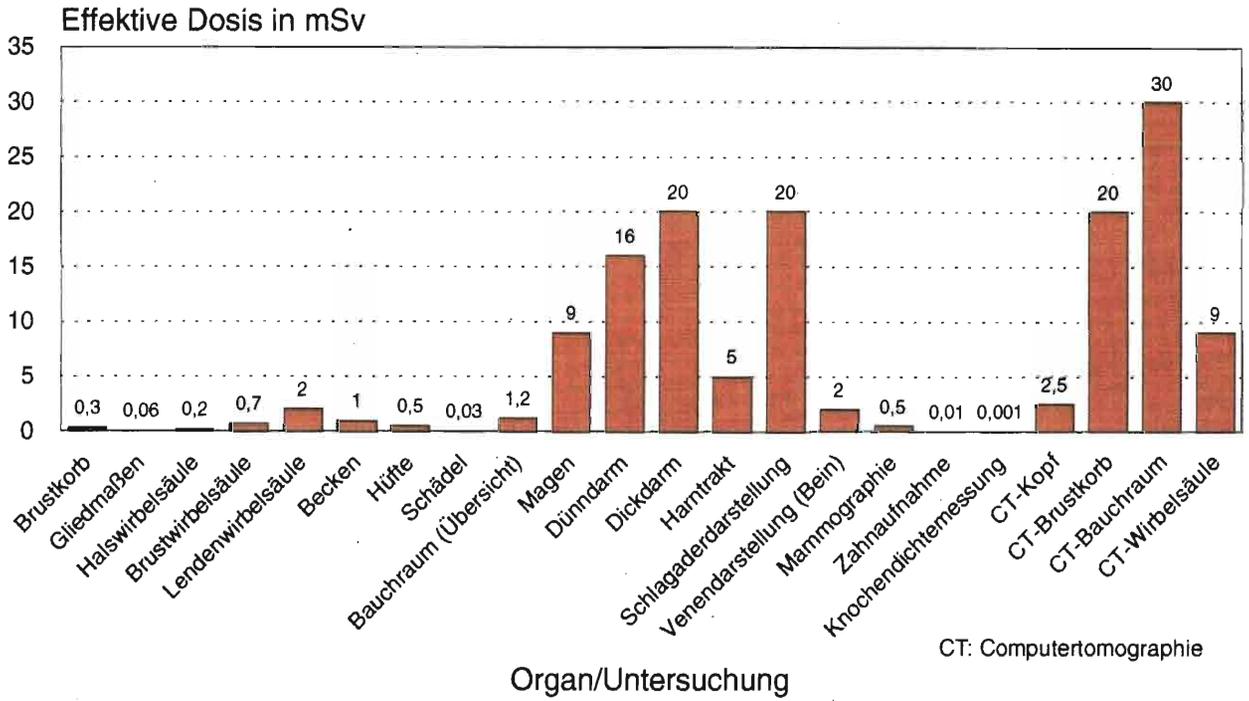


Abbildung IV.15

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

## V. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 1995 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Radiocäsium verursacht, andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Dabei verursachte Cäsium-137 mehr als 90% der Bodenstrahlung, da aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren noch 81% der 1986 deponierten Aktivität vorliegen. Cäsium-134 hingegen ist auf weniger als 5% des Ausgangswertes zurückgegangen. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die externe Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um ca. 5% ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten, die durch die Rauigkeit des Bodens sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden bedingt sind, ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,015 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv). Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere externe Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung

von außen ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die Meßwerte der spezifischen Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,2 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert, die gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) vernachlässigbar klein ist.

In Nahrungsmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq/kg Frischmasse zu verzeichnen, weshalb besondere Ernährungsgewohnheiten Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr über Ingestion bedingen können. Ein Verzehr von z. B. 200 g Maronenröhrlingen mit einer spezifischen Cäsium-137-Aktivität von 3 500 Bq/kg Frischmasse führt zu einer effektiven Dosis von 0,01 mSv



## Anhang

### A. Strahlendosis und Strahlenwirkung

(Quelle: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14)

#### 1. Strahlendosis und ihre Einheiten

Beim radioaktiven Zerfall von instabilen Nukliden werden energiereiche Teilchen emittiert. Bei Radionukliden, die aus kerntechnischen Anlagen freigesetzt werden, sind dies vor allem Alpha- und Beta-Teilchen sowie die Photonen der Gamma-Strahlung. Durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung erzeugen Photonen im bestrahlten Material energiereiche Elektronen und Positronen. Beim Durchgang der elektrisch geladenen Teilchen (Alpha- und Beta-Teilchen, Elektronen und Positronen) durch Materie wird die kinetische Energie der Teilchen diskontinuierlich in vielen Teilbeträgen auf die Materie übertragen. Es kommt dabei zur Ionisation und Anregung von Atomen und Molekülen und als deren Folge zur Radikalbildung. Die Dichte dieser Ionisations- und Anregungsereignisse längs der Teilchenbahn hängt von Strahlenart und Strahlenenergie ab. Man unterscheidet daher locker ionisierende Strahlung (z. B. Beta- und Gamma-Strahlung) und dicht ionisierende Strahlung (z. B. Alpha-Teilchen). Die in Wasser als Referenzmaterial längs eines kurzen Teilstücks der Teilchenbahn durch Ionisation und Anregung auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Länge dieses Wegstückes, wird als linearer Energietransfer (LET) bezeichnet.

Da Ionisations- und Anregungsprozesse zu molekularen Veränderungen führen, die den Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen bilden, bezieht sich der für ionisierende Strahlungen geltende Dosisbegriff auf die Energiedeposition in Materie durch Ionisation und Anregung. Die Energiedosis ist definiert als die in einem kleinen Volumenelement auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Masse in diesem Volumenelement. Die verwendete Doseinheit ist das Gray (Gy), es entspricht einer Energieabsorption von einem Joule pro Kilogramm, z. B. einem Kilogramm Gewebe. Früher wurde für die Energiedosis das Rad (rd) als Doseinheit benutzt; 1 Gy ist gleich 100 rd. Zur quantitativen Dosisangabe bei strahlenbiologischen Dosiswirkungsbeziehungen dient die Energiedosis.

Schon relativ frühzeitig wurde allerdings erkannt, daß das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis abhängt. Beim Vergleich verschiedener Strahlenarten miteinander zeigte sich, daß ionisierende Strahlen mit hohem LET (dicht ionisierende Strahlen, z. B. Alpha-Teilchen) wesentlich wirksamer sein können als ionisierende Strahlen mit niedrigem LET (locker ionisierende Strahlen, z. B. Beta- und Gamma-Strahlung) bei gleicher Energiedosis. Dies gilt für die einzelnen biologischen Effekte in unterschied-

lichem Maße. Für die Abschätzung von Strahlenrisiken, für Grenzwertfestlegungen und für Strahlenschutzmessungen erschien es daher notwendig, neben der Energiedosis auch die Strahlenqualität, d. h. die Strahlenart und -energie, zu berücksichtigen. Der lineare Energietransfer gilt vereinbarungsgemäß als physikalische Kenngröße der Strahlenqualität. Er kennzeichnet die vom Dosisbegriff nicht erfaßte Konzentration der auf die Materie übertragenen Energie längs der Teilchenbahnen. Aus diesen Gründen ist neben der Energiedosis  $D$  die Äquivalentdosis  $H$  für Strahlenschutz zwecke eingeführt worden. Die Äquivalentdosis ergibt sich aus der gemessenen oder berechneten Energiedosis durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Bewertungsfaktor  $Q$ .

$$H = Q \cdot D$$

Der Bewertungsfaktor  $Q$  berücksichtigt die Unterschiede des biologischen Risikos bei den verschiedenen Strahlenqualitäten.

Zur Festlegung der Bewertungsfaktoren für die einzelnen Strahlenqualitäten sind experimentelle biologische Daten und klinische Erfahrungen zusammengefaßt worden. Um einen exakten Vergleich der biologischen Wirkungen bei verschiedenen Strahlenqualitäten vorzunehmen, wird zunächst die relative biologische Wirksamkeit (RBW) bestimmt. Die RBW ist definiert als der Quotient aus der Energiedosis einer Referenzstrahlung ( $D_{\text{Ref}}$ ) und der Energiedosis der zu untersuchenden Strahlenqualität ( $D_{\text{Test}}$ ), wobei in den Quotienten diejenigen Strahlendosen eingesetzt werden, die das gleiche Ausmaß der untersuchten biologischen Wirkung herbeiführen.

$$RBW = \frac{D_{\text{Ref}}}{D_{\text{Test}}} \text{ (bei gleicher biologischer Wirkung)}$$

Die Untersuchung der relativen biologischen Wirksamkeit hat ergeben, daß die resultierenden RBW-Werte nicht nur von der Strahlenqualität abhängig sind, sondern auch von dem gemessenen biologischen Endpunkt (z. B. Zelltod, Tumorbildung usw.), sowie von der Strahlendosis und anderen Faktoren. Ein biologisch exakt gemessener RBW-Wert gilt daher nur für sehr gut definierte experimentelle Bedingungen. Unter verschiedenen Bedingungen können bei gegebener Strahlenqualität auch unterschiedliche RBW-Werte resultieren.

Für den praktischen Strahlenschutz sind aus diesen Gründen die gemessenen RBW-Werte nicht unmittelbar verwendbar, sondern man hat auf der Grundlage der experimentellen RBW-Werte für die einzelnen Strahlenqualitäten Bewertungsfaktoren  $Q$  zur Ermittlung der Äquivalentdosis festgelegt. Sie beziehen sich ebenso wie die RBW-Werte auf harte Rönt-

genstrahlung als Referenzstrahlung. Die Zahlenwerte der Bewertungsfaktoren orientieren sich aus Sicherheitsgründen am oberen Wertebereich der experimentell erhaltenen RBW-Werte für die jeweilige Strahlenqualität. Nach der Strahlenschutzverordnung gilt für die Berechnung der Äquivalentdosis der in Anlage VII der Verordnung angegebene LET-abhängige Bewertungsfaktor  $Q(L)$ , der je nach Strahlenqualität Werte zwischen 1 und 20 besitzt. Ist das LET-Spektrum nicht genau bekannt, so darf näherungsweise der Bewertungsfaktor 1 für Beta- und Gamma-Strahlung, der Bewertungsfaktor 10 für Neutronen und der Bewertungsfaktor 20 für Alpha-Teilchen verwendet werden.

Die Einheit für die Äquivalentdosis ist heute das Sievert (Sv), früher wurde die Äquivalentdosis in Rem (rem) angegeben. Es gilt  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ . Beispiel:  $D = 0,1 \text{ mGy}$ ;  $Q = 20$ ;  $H = 2 \text{ mSv}$ .

## 2. Externe und interne Bestrahlung

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gamma-Strahlung hat wie Röntgen-Strahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Beta-Teilchen relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alpha-Strahlung ist die Eindringtiefe so gering, daß nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellenergieung stattfindet, liegt bei äußerer Alpha-Bestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alpha-Teilchen. Bei Beta-Strahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so daß es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Beta-Strahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung. Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Beta-Strahlung entsteht, sind jedoch dann für das Strahlenrisiko relevant, wenn sie mit der Nahrung, dem Trinkwasser oder durch Atmung dem Körper zugeführt werden und die Bestrahlung von innen erfolgt. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus und in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Die Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muß bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben zahlreichen, u. a. altersabhängigen biokinetischen Parametern gehen in die Dosiermittlung die physikalischen Eigenschaften der Strahlung und die physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, daß bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Prämissen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen in einem kurzen Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci).  $1 \text{ Ci}$  ist gleich  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ . Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Äquivalentdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen (s. Kennzeichnung der Strahlenqualität durch den linearen Energietransfer) hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von  $10 \text{ mGy}$  erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts  $60 \mu\text{m}^2$  den Durchgang eines Alpha-Teilchens der Anfangsenergie  $5 \text{ MeV}$ . Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alpha-Teilchen bei etwa  $50 \text{ mGy}$  – kommt es ebensooft vor, daß ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alpha-Teilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa  $8 \mu\text{m}$ ) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem LET liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen

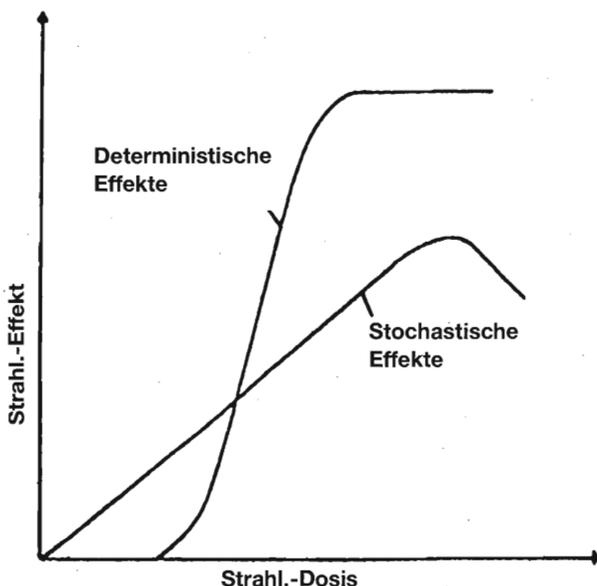
bei Röntgen- und Gamma-Strahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alpha-Strahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelt Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen. Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Aerosole) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alpha-Teilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

### 3. Stochastische und deterministische Strahlenwirkung

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosiswirkungsbeziehungen. Bei den deterministischen Strahlenwirkungen muß zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abbildung A-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Effekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.

Abbildung A 1

#### Schematische Darstellung der Dosiswirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte



Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, daß keine Schwellendosis besteht und daß die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abbildung A-1). Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; den Quotienten Risiko/Äquivalentdosis nennt man „Risikoeffizient“.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, daß es sich hier um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbaren Defekten muß nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, daß die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen. Man geht also davon aus, daß Leukämie oder Krebs mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch eine einzige maligne transformierte Zelle hervorgerufen werden kann (monoklonales Wachstum).

### 4. Genetisch vererbare Defekte

Beim Menschen sind bisher keine genetischen Mutationen durch ionisierende Strahlen beobachtet worden, die zu einer quantitativen Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos führen können. Auch bei Untersuchungen von Nachkommen der Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki sind bisher derartige Effekte nicht statistisch signifikant nachgewiesen worden. Man hat in diesem Zusammenhang bei der Untersuchung von mehr als 70 000 Kindern, deren Väter oder Mütter bzw. beide Elternteile bei den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki exponiert worden sind, lediglich einen angedeuteten, statistisch nicht ausreichend gesicherten Trend zu erhöhten Raten an genetischen Mutationen festgestellt.

Die quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos beruht daher auf tierexperimentellen Untersuchungen, die vor allem an Mäusen durchgeführt worden sind. Bei diesen Untersuchungen werden lokale Bestrahlungen der Gonaden vorgenommen und nach Möglichkeit leicht diagnostizierbare Merkmale wie die Fellfarbe, Form der Ohren, Form des Schwanzes, die Bildung von Katarakten usw. analysiert. Diesen Veränderungen liegen dominante, aber auch rezessive Mutationen zugrunde. Es werden sehr häufig lineare Dosiswirkungsbeziehungen für diese Effekte

ermittelt, so daß aus der Steigung derartiger Dosis-wirkungsbeziehungen die Mutationsrate pro Gray bzw. Sievert errechnet werden kann.

Die Versuchsergebnisse an Mäusen sind in überwie-gendem Maße nach Strahlendosen im Bereich von einem Gy und höher gewonnen worden, im allge-meinen hat eine Bestrahlung mit hoher Dosisleistung stattgefunden. Um diese Versuchsergebnisse für die Ab-schätzung des Strahlenrisikos beim Menschen ver-wenden zu können, sind zwei Annahmen notwendig:

1. Bei locker ionisierenden Strahlen und relativ klei-nen Dosen und Dosisleistungen besteht zwischen Dosis und Zahl der induzierten Mutationen eine lineare Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellen-wert. Diese Form der Dosiswirkungsbeziehung ist bereits bei den stochastischen Strahlenwirkungen besprochen worden.
2. Die Mutationshäufigkeit in Keimzellen des Men-schen und der Maus ist nach identischen Bestrah-lungsbedingungen und Strahlendosen etwa gleich groß.

Aufgrund der vorhandenen Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus ionisierender Strahlung und der Entstehung der Mutationen in Keimzellen, die zu vererbaren Defekten führen, steht es in der wissen-schaftlichen Diskussion heute weitgehend außer Zweifel, daß eine Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellendosis existiert und damit auch bei niedri-gen Dosen und niedriger Dosisleistung mit entspre-chend geringer Wahrscheinlichkeit Mutationen auf-treten können. Es ist gezeigt worden, daß bei einer chronischen Bestrahlung über 300 Tage mit Gamma-Strahlen und einer Dosisleistung von 0,01 Gy pro Tag, ebenso wie nach einer fraktionierten Bestrah-lung von 0,1 Gy pro Tag über 60 Tage, Mutationen bei Mäusen induziert werden können.

## 5. Induktion von Leukämie und Krebs

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Ab-schätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersu-chungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositio-nen.

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer „spontanen“ malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Ein-zelfall nicht allein aufgrund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Perso-

nengruppen müssen dabei nicht-exponierten Perso-nengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Ra-ten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf in-dividueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine in-dividuelle Krebserkrankung durch die vorausgegan-gene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, daß die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (fünf bis zehn Jahre bei Leukämie und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnis-mäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, daß vor allem myeloische Leuk-ämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Be-strahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chro-nisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beob-achtet worden. Die Untersuchungen an den Überle-benden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z. B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopula-tion, daß nach Strahlendosen im Bereich von 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die un-ter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologi-schen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbe-völkerung nicht zu einer statistisch signifikant er-höhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dieses nicht, daß geringere Strahlendosen als 0,5 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, daß andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko über-lagern, so daß letzteres sich aus den Schwankungen der „spontanen“ Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki ist das Leukämierisiko nach einer Strahlen-dosis von 4 Gy etwa um den Faktor 15 erhöht. Dage-gen ist das Risiko für alle Krebsformen außer Leuk-ämien bei der gleichen Strahlendosis nur etwa um den Faktor 2 angestiegen. Dieser Zuwachsfaktor wird als „relatives Risiko“ bezeichnet; die „spontanen“ Raten an Leukämie und Krebs (Raten ohne Bestrahlung) ent-sprechen einem relativen Risiko von 1,0.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindli-chen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumo-ren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwer-ken mit hohem Radongehalt tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atem-

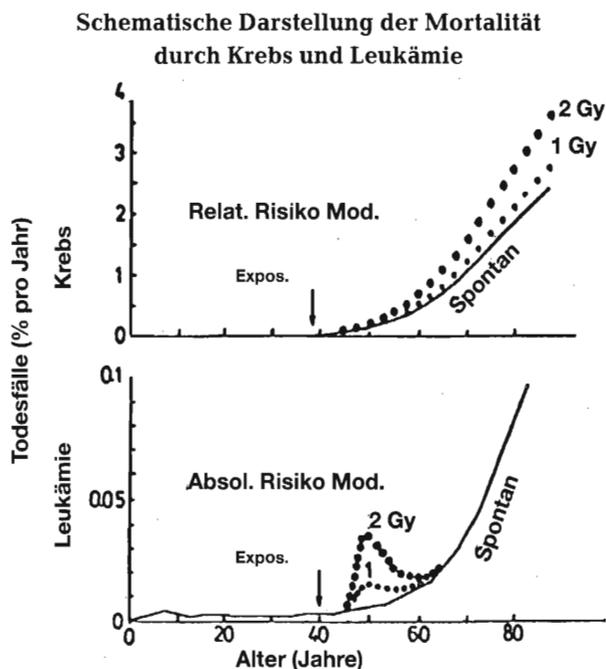
luft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alpha-Strahlung hervorgerufen. Auch bei der Induktion von Knochentumoren liegen Erfahrungen nach Exposition durch Alpha-Strahlen vor. In diesem Falle sind Untersuchungen nach Behandlung mit Radiumpräparaten durchgeführt worden. Das Radium wurde injiziert und hat sich vor allem im Knochengewebe abgelagert.

## 6. Risikoabschätzung

Für die Risikoabschätzung wird außer bei Leukämie und Knochentumoren von einem sogenannten relativen Risikomodell ausgegangen. Für Leukämien und Knochentumoren dagegen wird das absolute Risikomodell zur Risikoabschätzung eingesetzt. Bei dem letzteren Risikomodell geht man davon aus, daß nach einer Latenzzeit die Rate an Erkrankungen über der „spontanen“ Rate liegt, nach einer weiteren Periode aber keine zusätzlichen strahlenbedingten Erkrankungen auftreten (Abbildung A-2). Offensichtlich haben sich dann alle strahlenbedingten Erkrankungen manifestiert. Beim relativen Risikomodell liegt die Rate an malignen Erkrankungen in der bestrahlten Personengruppe ebenfalls nach einer Latenzzeit über der „spontanen“ Rate, aber diese Erhöhung bleibt bis zum Lebensende erhalten. Das „relative Risiko“, d. h. die relative Zunahme der strahlenbedingten Rate im Vergleich zur „spontanen“ Rate, wird dabei als über die Lebenszeit konstant angenommen (Abbildung A-2). Das bedeutet, daß auch die strahlenbedingten Tumoren vorwiegend erst in einem Alter beobachtet werden, in dem die „spontanen“ Tumoren ohne Bestrahlung manifest werden. Die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos auf der Basis des relativen Risikomodells stellt eine maximale Risikoabschätzung dar.

Die vielfältigen epidemiologischen Untersuchungen haben ergeben, daß eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung maligner Erkrankungen im allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. In niedrigeren Dosisbereichen, die für die berufliche Strahlenexposition (einige mSv/a bis einige 10 mSv/a) und vor allem für Expositionen der Bevölkerung etwa in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (einige 10  $\mu$ Sv/a) von Bedeutung sind, müssen daher die Strahlenrisiken durch rechnerische Extrapolation, ausgehend von diesen höheren Strahlendosen, ermittelt werden. Ferner sind die statistisch signifikanten epidemiologischen Daten der Leukämie- und Krebserhöhung nicht nur nach Exposition mit hohen Strahlendosen, sondern häufig auch nach Bestrahlung mit hoher Dosisleistung erhalten worden. Da die Exposition am Arbeitsplatz und in noch stärkerem Maße in der Umwelt bei niedriger Dosisleistung stattfindet, ergeben sich hier zusätzliche Schwierigkeiten bei der Extrapolation zur Ermittlung der Risikoeffizienten.

Abbildung A 2



Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane“ Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition entsprechend dem „Relativen Risikomodell“ und dem „Absoluten Risikomodell“ an.

Für die Extrapolation wird angenommen, daß eine Schwellendosis nicht existiert und daß die Dosiswirkungsbeziehung für die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auch in diesem niedrigen Dosisbereich linear mit der Strahlendosis verläuft. Aufgrund unserer wissenschaftlichen Kenntnisse ist eine solche Annahme für den Strahlenschutz sinnvoll, der Beweis dafür steht aber noch aus. Um der niedrigen Dosisleistung im niedrigen Dosisbereich Rechnung zu tragen, werden für den Risikoeffizienten häufig Reduktionsfaktoren von 2 bis 3 eingesetzt. Für die Induktion von Leukämie und Krebs hat sich in einer Reihe von Fällen ergeben, daß sowohl eine lineare als auch eine linear-quadratische Dosiswirkungsbeziehung angenommen werden kann. Für die Zwecke des Strahlenschutzes wird jedoch häufig der Einfachheit halber, und um Unterschätzungen auszuschließen, eine lineare Dosiswirkungskurve zugrunde gelegt.

Unter dieser Annahme ist eine Risikoabschätzung durch Extrapolation, ausgehend von den Daten bei hohen Strahlendosen, zu geringen Strahlendosen hin möglich. Es ergeben sich dann Risikoeffizienten, die im Bereich von 200 bis 1 000 Todesfällen durch Leukämie und Krebs nach Ganzkörperexposition einer Million Menschen mit 10 mSv (1 rem) liegen (Risikoeffizient:  $2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  bis  $1 \cdot 10^{-1}$  pro Sv). Bei Berücksichtigung dieses Bereiches des Risikoeffizienten ergibt eine Strahlendosis von 10 mSv eine Erhöhung der Leukämie- und Krebstodesrate, die im Bereich von einem bis einigen Promille der „spontanen“ Leukämie- und Krebstodesrate unserer Bevölkerung liegt. Die Exposition der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer

scher Anlagen der Bundesrepublik Deutschland liegt beim bestimmungsgemäßen Betrieb einschließlich von Auslegungsfällen im Bereich von einigen 10  $\mu\text{Sv}$ . Es müssen also Extrapolationen über mehrere Größenordnungen der Dosis (etwa um den Faktor  $10^4$ ) vorgenommen werden, um von dem Dosisbereich mit epidemiologisch ermittelten Daten in den Dosisbereich dieser Exposition zu kommen.

Wiederholte Berichte, daß die Zahl der Leukämieerkrankungen bei Kindern in der Umgebung von Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland erhöht sei, sind bisher mit epidemiologischen Methoden nicht bestätigt worden. Allerdings werden in Großbritannien in der Umgebung von Wiederaufarbeitungsanlagen und älteren Anlagen erhöhte Raten an Leukämien bei Kindern beobachtet. Die Strahlenexposition der Bevölkerung ist jedoch so gering, daß durch sie diese Erhöhung nicht erklärt werden kann. Andere Erklärungsansätze (etwa berufliche Strahlenexposition der Eltern; Umweltfaktoren, die an den Standorten vorhanden, aber unabhängig von der Anlage sind) wurden entwickelt, können aber nicht als gesichert gelten.

In der Bundesrepublik Deutschland werden derzeit Studien<sup>1)</sup> zum Thema „Kindliche Leukämie in der Umgebung Kerntechnischer Anlagen“ durchgeführt.

Die Breite des Schätzintervalls für den Risikoeffizienten spiegelt die in den Abschätzungen liegende Ungenauigkeit nur bedingt wider. Sie ergibt sich u. a. daraus, daß die neueren Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan zu höheren Risikofaktoren führen. Die höheren Risikofaktoren bei der japanischen Population ergeben sich aus drei Gründen:

1. Neue Rechnungen zur Dosimetrie nach den Atombombenexplosionen haben zu neuen Dosisabschätzungen geführt.
2. In den letzten Jahren sind neue Daten zu den Leukämie- und Krebsraten erhoben worden. Es sind vor allem neue Erkrankungen bzw. Todesfälle bei den im jungen Alter exponierten Personen beobachtet worden.
3. Diese Befunde haben zu dem Konzept des relativen Risikos geführt. Damit wird das Strahlenrisiko für die noch lebenden exponierten Personen in die Zukunft projiziert. Die noch zu erwartenden Krebstodesfälle werden mit Hilfe der Altersabhängigkeit des Krebsrisikos nicht exponierter Personen unter Annahme eines zeitlich konstanten strahlenbedingten relativen Risikos

ermittelt.

Während der erste Umstand den Risikoeffizienten nicht erheblich beeinflusst hat, tragen die Gründe 2 und 3 in erheblichem Maße zur Erhöhung bei. Der Risikoeffizient liegt dann etwa um den Faktor 3 bis 5 höher als früher angenommen.

<sup>1)</sup> Studie des Instituts für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz (Autor: Professor Jörg Michaelis) „Untersuchungen der Häufigkeit von Krebserkrankungen im Kindesalter in der Umgebung westdeutscher kerntechnischer Anlagen 1980–1990“ Mainz 1992. Diese Studie kann beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit angefordert werden.

## 7. Effektive Dosis<sup>2)</sup>

Für die Erfassung des Gesamtstrahlenrisikos bei kleinen Dosen ist die sogenannte effektive Dosis eingeführt worden. Sie enthält Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung des gesamten stochastischen Strahlenrisikos und bezieht infolgedessen sowohl die vererbaren Defekte als auch die Induktion von Leukämie und Krebs ein. Aufgrund der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeiten in einzelnen Geweben und Organsystemen für die Induktion maligner Erkrankungen sind von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) Bewertungsfaktoren (Wichtungsfaktoren) für die verschiedenen Gewebe und Organe festgelegt worden. Die Summe aller Wichtungsfaktoren beträgt 1,0. Zur Ermittlung der effektiven Dosis werden die Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben mit den Wichtungsfaktoren multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert. Ein erheblicher Vorteil der effektiven Dosis liegt darin, daß das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung, z. B. einer selektiven Strahlenexposition einzelner Organe nach Inkorporation radioaktiver Stoffe, bewertet werden kann.

Kritisch eingewendet wird, daß die Wichtungsfaktoren auf das Mortalitätsrisiko und nicht auf das Morbiditätsrisiko durch Leukämie und Krebs abstellen. Für einzelne Organe, z. B. die Schilddrüse, bei denen die Therapie der betreffenden Tumoren gute Erfolge erzielt, würden die Wichtungsfaktoren für die Morbidität größer als für die Mortalität sein. Für Organe und Gewebe mit ungünstiger Therapieprognose der Tumoren wäre diese Situation umgekehrt. Allerdings würde auch bei Berücksichtigung des Morbiditätsrisikos definitionsgemäß die Summe aller Wichtungsfaktoren 1,0 betragen. Der Risikoeffizient insgesamt (Morbiditätsrate pro Dosis) würde jedoch höher als bei der Berücksichtigung der Mortalitätsraten liegen. Orientiert man die Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen und das damit verbundene Strahlenrisiko am Risiko anderer Berufe, so erhält man strengere Maßstäbe für die Dosisgrenzwerte, wenn man das Mortalitätsrisiko zugrunde legt.

Es wird ferner eingewendet, daß die Wichtungsfaktoren für einzelne Gewebe und Organe aufgrund neuerer epidemiologischer Daten verändert werden müssen. Da die Summe der Wichtungsfaktoren gleich 1,0 ist, ergibt sich bei einer homogenen Ganzkörperbestrahlung, daß die Ganzkörperdosis mit der effektiven Dosis identisch ist. Bei einer inhomogenen Bestrahlung, bei der einige Organe bzw. Gewebe besonders hoch belastet werden, schlagen dagegen diese hohen lokalen Bestrahlungen auf die effektive Dosis besonders durch. Dieses tritt u. a. auch für die natürliche Strahlenexposition zu, da in diesem Falle die Lunge und die Epithelien der Bronchien eine besonders hohe Strahlenexposition durch das Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte erhalten. Die effektive Dosis wird heute anstelle der Ganzkörperdosis zur Angabe der Dosisgrenzwerte in Gesetzen, Verordnungen und Empfehlungen verwendet.

<sup>2)</sup> Gemäß ICRP-60 tritt anstelle des Begriffs „effektive Äquivalentdosis“ der Begriff „effektive Dosis“.

**B. Erläuterung der benutzten Fachausdrücke**

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
anthropogen	durch den Menschen beeinflusst, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und einem u. a. von der Strahlenart abhängigen Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Computertomographie	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
Deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch)
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht.
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 100 Rad
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung von Gasen Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper

Interventionelle Radiologie	Therapeutischer Eingriff am Kranken, ohne eine Körperhöhle zu eröffnen, wobei das Behandlungsinstrument unter Durchleuchtungskontrolle über ein Blutgefäß oder einen anderen Zugang eingeführt wird.
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlen, welche die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Median	Siehe Zentralwert
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	In einem kurzen Zeitintervall erzeugte Ortsdosis, geteilt durch die Länge des Zeitintervalls
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmeßwesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 13. Dezember 1985 (BGBl. I S. 2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis. 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert = 1 000 000 Mikrosievert
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mit der Dosis variiert, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
Zentralwert	Mittelwert, unterhalb dessen ebensoviel kleinere Werte wie oberhalb größere Werte liegen



