

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1978“

Inhalt	Seite
Einleitung	2
I. Natürliche Strahlenexposition	2
1 Strahlenexposition von außen	2
2 Strahlenexposition von innen	2
Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen	3
II. Künstliche Strahlenexposition	4
1 Kerntechnische Anlagen	4
1.1 Allgemeines	4
1.2 Abgabedaten kerntechnischer Anlagen	4
1.3 Berechnete Höchst- und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevöl- kerung	4
1.4 Ergebnis	5
2 Verwendung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung, Technik und Haushalten	6
2.1 Industrieerzeugnisse	6
2.2 Störstrahler	7
3 Berufliche Tätigkeit	7
4 Medizinische Anwendung	8
5 Radioaktive Abfälle	9
6 Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	9
7 Kernwaffenversuche	10
III. Wirkung kleiner Strahlendosen	10
IV. Zusammenfassung der Ergebnisse	11
V. Maßnahmen	12

Einleitung

Gemäß dem Ersuchen des Deutschen Bundestages vom 14. März 1975 legt die Bundesregierung jährlich einen Bericht über „Umweltradioaktivität und Strahlenaktivität“ vor. Dieser Bericht berücksichtigt auch die künstliche Strahlenexposition

- aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen
- aus der Verwendung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung und Technik
- aus beruflicher Tätigkeit
- aus medizinischer Anwendung
- aus Strahlenunfällen und besonderen Vorkommnissen und
- aus Kernwaffenversuchen.

Der hier vorgelegte Bericht über das Jahr 1978 stützt sich auf die Ergebnisse zahlreicher Messungen, Erhebungen und Berechnungen sowie auf Forschungsergebnisse der letzten Jahre. Die Berechnung der Strahlenexposition und die Bewertung ihrer Wirkung auf den Menschen erfolgt aufgrund der Strahlenschutzverordnung und der zu ihr erlassenen Richtlinien; diese Vorschriften berücksichtigen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) und des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkung von Atomstrahlen (UNSCEAR).

Die Wirkungen der Strahlenexposition auf die Erbsubstanz werden durch die genetisch signifikante Dosis erfaßt. Tabelle 1 bringt eine Zusammenstellung der genetisch signifikanten Strahlenexposition aus den verschiedenen Strahlenquellen. Dieser Bericht enthält darüber hinaus eine Reihe von Angaben über die Strahlenexposition von Ganzkörper, Haut, Knochen, Lunge und Schilddrüse. Für die Beurteilung des Strahlenrisikos sind auch diese Werte von Bedeutung.

1. Natürliche Strahlenexposition

Der Mensch und seine Umwelt sind seit jeher den Wirkungen von natürlichen Strahlenquellen, die ionisierende Strahlung aussenden, ausgesetzt. Hierbei unterscheidet man zwischen der Strahlenexposition von außen durch die kosmische und durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlung sowie zwischen der Strahlenexposition von innen durch Aufnahme (Inkorporation) natürlicher radioaktiver Stoffe in den Körper.

1 Strahlenexposition von außen

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition ist von der erdmagnetischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel abhängig. Sie beträgt in der Bundesrepublik Deutschland in Meereshöhe etwa 30 Millirem (300 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Bei dauerndem Aufenthalt in 1 000 m Höhe über dem Meeresspiegel ist die Strahlenexposition durch kosmi-

sche Strahlung um etwa 10 Millirem (100 Mikrojoule/kg) pro Jahr größer.

Die kosmische Strahlung erzeugt in der hohen Atmosphäre auch Radionuklide wie Tritium und Kohlenstoff 14. Ihr Anteil an der natürlichen Strahlenexposition von außen ist nur sehr gering und kann daher vernachlässigt werden.

Die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen ist auf den Gehalt der Umwelt an Kalium 40 sowie den Radionukliden der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallsreihe zurückzuführen. Je nach dem Gehalt an natürlichen radioaktiven Stoffen schwankt auch die Strahlenexposition von außen. Im Freien ist die Strahlenexposition über natürlichem Grund von dem Gehalt des geologischen Untergrundes und vor allem der obersten Bodenschicht an natürlichen radioaktiven Stoffen abhängig. In Gebäuden wird die Strahlenexposition vorwiegend vom Gehalt der verwendeten Baustoffe an natürlichen radioaktiven Stoffen bestimmt. Zahlenwerte über den Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe in verschiedenen Gesteinen und im Boden enthält Tabelle 2, entsprechende Daten für Baustoffe Tabelle 3.

Die unter Verwendung eines von Bennett (1970) angegebenen Umrechnungsfaktors berechneten Werte der Keimdrüsendosis durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen im Freien und in Wohnungen in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland enthält Tabelle 4.

Die Keimdrüsendosis beträgt im Bundesgebiet im Freien in Wohngebieten im Mittel 43 Millirem (430 Mikrojoule/kg) pro Jahr, in Wohnungen 57 Millirem (570 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Außerhalb von Wohngebieten sind dagegen an einigen örtlichen Bereichen der Bundesrepublik Deutschland im Freien Werte gemessen worden, die bei ständigem Aufenthalt von Menschen zu Strahlenexpositionen in der Größenordnung von bis zu 500 Millirem (5 000 Mikrojoule/kg) führen würden.

In Abbildung 1 ist der Anteil der Bevölkerung angegeben, der einer bestimmten Ortsdosisleistung durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen ausgesetzt ist. Für die Berechnung wurde angenommen, daß die Messungen in bezug auf die Bevölkerungsdichte repräsentativ sind und sich jede Person entsprechend den Annahmen in den Empfehlungen des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) zu 80 Prozent des Tages im Haus und zu 20 Prozent im Freien aufhält.

2 Strahlenexposition von innen

Die Keimdrüsendosis durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe beträgt im Mittel etwa 30 Millirem (300 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Sie ist zu rd. 50 Prozent auf den Gehalt des menschlichen Körpers

an Kalium, und zwar auf dessen Isotop Kalium 40, zurückzuführen. Kalium ist vor allem in Weichteilen, insbesondere im Muskelgewebe, enthalten. Eine Zusammenstellung der mittleren Keimdrüsendosis und anderer Organdosen durch verschiedene inkorporierte Stoffe enthält Tabelle 5.

In Ergänzung zu wissenschaftlichen Untersuchungen der fünfziger Jahre werden z. Z. im Rahmen eines Forschungsvorhabens Wasservorkommen, insbesondere Trinkwässer, auf ihren Gehalt an natürlichen radioaktiven Stoffen, vor allem Radium 226, untersucht. In Tabelle 6 sind die bisher vorliegenden Meßwerte zusammenfassend dargestellt. Die Zentralwerte (Medianwerte) von 0,1 Pikocurie (0,0037 Becquerel) pro Liter für Trink- und Oberflächengewässer und von mehr als 1 Pikocurie (0,037 Becquerel) pro Liter für handelsübliche Mineralwässer (Maximalwert 15 Pikocurie bzw. 0,55 Becquerel) bestätigen die Ergebnisse anderer Untersuchungen in und außerhalb Deutschlands.

In letzter Zeit wird der Strahlenexposition der Lunge durch Inhalation natürlicher radioaktiver Stoffe, die von den Baustoffen emittiert werden, weltweit besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Auch in der Bundesrepublik Deutschland wird im Rahmen eines Forschungsprogramms z. Z. die Strahlenexposition der Lunge durch Inhalation natürlicher radioaktiver Stoffe im Freien und in Wohnungen ermittelt. Die bisherigen Ergebnisse lassen eine zuverlässige Angabe der mittleren Strahlenexposition der Lunge in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht zu. Sie beträgt jedoch sicher mehr als 200 Millirem (2 000 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Die Lungendosis durch inhalierte natürliche radioaktive Stoffe, die von den Baustoffen emittiert werden, hängt u. a. von der Ventilationsrate unserer Häuser ab.

Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen

Technische Entwicklungen haben zu einer unbeabsichtigten Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen geführt. Beispiele für erhöhte Strahlenexpositionen, die ohne die technische Entwicklung nicht in diesem Maße auf den Menschen einwirken würden, sind u. a.

- die Strahlenexposition durch das Fliegen in großen Höhen
- die Strahlenexposition durch Emissionen von Kohlekraftwerken
- die Strahlenexposition durch die industrielle und landwirtschaftliche Nutzung von Phosphatprodukten und
- die Strahlenexposition durch die Verwendung von Baustoffen, die einen erhöhten Gehalt an natürlichen radioaktiven Stoffen haben.

Als Folge der Entwicklung von Düsen- und Überschallverkehrsflugzeugen hat sich die Flughöhe bei Langstreckenflügen auf 10 000 bis 20 000 m verlagert. Die Flugreisenden werden bei diesen Flügen einer gegenüber der Erdoberfläche erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Diese kann bis zu 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Flugstunde betragen.

Kohle hat zwar im Mittel einen niedrigeren Gehalt an natürlichen radioaktiven Stoffen als viele Gesteine der Erdkruste, bei der Verbrennung von Kohle werden jedoch natürliche radioaktive Stoffe mit der Abluft in die Atmosphäre abgegeben. Durch die Verbrennung großer Mengen von Kohle gibt ein Steinkohlekraftwerk mit einer Leistung von 600 Megawatt jährlich etwa 200 Millicurie (einige 10^9 Becquerel) natürlicher radioaktiver Stoffe ab, und zwar vor allem Polonium, Radium, Thorium, Uran und Blei 210 (vgl. Tabelle 8). Die Frage der Strahlenexposition durch Emissionen natürlicher radioaktiver Stoffe aus Kohlekraftwerken hat in den letzten Jahren im Zusammenhang mit der Emission radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen weltweites Interesse gefunden. Verschiedene Untersuchungen sind zu dem Ergebnis gekommen, daß jeweils an der ungünstigsten Einwirkungsstelle die Strahlenexposition durch ein Steinkohlekraftwerk höher zu bewerten ist als die Strahlenexposition durch ein Kernkraftwerk gleicher Leistung. In der Bundesrepublik Deutschland hat die Strahlenschutzkommission beim Bundesminister des Innern eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die noch offene Fragen klären soll. Dazu gehören:

- Spezifische Aktivität und Radionuklidzusammensetzung des emittierten Reingasstaubes (die älteren Meßergebnisse beziehen sich meist auf Flugstaubproben der Elektrofilter)
- Partikelgrößenverteilung der emittierten Staubteilchen
- Löslichkeit der natürlichen radioaktiven Stoffe in den emittierten Staubteilchen

Die Arbeitsgruppe wird voraussichtlich Mitte 1980 der Strahlenschutzkommission ihren Bericht vorlegen. Mittelwerte des Gehaltes der Flugasche eines modernen Steinkohle- und eines modernen Braunkohlekraftwerkes an natürlichen radioaktiven Stoffen sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Aus diesen Daten lassen sich die in Tabelle 8 angegebenen mittleren jährlichen Aktivitätsemissionen der beiden Kraftwerkstypen berechnen.

In dem Fluß Lippe wurden nach Untersuchungen der Landesanstalt für Wasser und Abfall, Nordrhein-Westfalen, in den letzten Jahren für Radium 226 und 228 mittlere Konzentrationen von 1 bis 3 Pikocurie (0,037 bis 0,111 Becquerel) pro Liter gemessen, die überwiegend auf Ableitungen von Grubengewässern aus Steinkohlebergwerken in der Größenordnung von einigen Curie (rd. 10^{11} Becquerel) pro Jahr zurückzuführen sind.

Seit längerem ist bekannt, daß Rohphosphate je nach Herkunft einen gegenüber der mittleren spezifischen Aktivität der Erdkruste bis auf das Fünffache erhöhten Gehalt an Uran und Radium haben. Mit der jährlichen Einfuhr von rd. 3 Millionen Tonnen Rohphosphat in die Bundesrepublik Deutschland werden auch etwa 150 Tonnen im Rohphosphat enthaltenes Uran und damit etwa 100 Curie ($3,7 \cdot 10^{12}$ Becquerel) Radium 226 eingeführt. Bei der Herstellung und Lagerung von Phosphatdüngemitteln wird eine kleine Gruppe der damit beschäftigten Personen einer zusätzlichen Strahlenexposition von etwa 40 Millirem (400 Mikrojoule/kg) pro Jahr ausgesetzt.

Die maximale zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen in der Landwirtschaft (Verwender) beträgt demgegenüber 0,4 Millirem (4 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Ermittlung der Schwankungsbreite der Strahlenexposition von außen im Freien und in Wohnungen wurde auch der Einfluß der Baustoffe untersucht. Tabelle 3 gibt den Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe (Kalium 40, Radium 226 und Thorium 232) in verschiedenen Baustoffen an. Die höhere Strahlenexposition in Wohnungen, die Tabelle 4 zeigt, wird durch diese natürlichen radioaktiven Stoffe verursacht. Weitere Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens enthält der Bericht des Bundesministers des Innern „Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen“.

II. Künstliche Strahlenexposition

1 Kerntechnische Anlagen

1.1 Allgemeines

Der Bericht enthält Angaben über Kernkraftwerke (Stand 31. Dezember 1978), die Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich, die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe der Firma NUKEM GmbH in Hanau, der Reaktor-Brennelement Union GmbH in Hanau und in Karlstein und der ALKEM GmbH in Hanau und die Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland.

Tabelle 9 gibt die im Jahre 1978 bestehenden Kernkraftwerke an, Tabelle 10 die Forschungsreaktoren.

1.2 Abgabedaten kerntechnischer Anlagen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen werden durch ständige Messung in Abluft und Abwasser ermittelt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich eingeschalteter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie des Bundesministers des Innern über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft (vgl. Tabelle 30).

Die für 1978 ermittelten Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Tabellen 11 und 12 angegeben. Die Tabellen beruhen auf amtlichen Meldungen und ergänzenden Erhebungen und Messungen des Bundesgesundheitsamtes. Einzelheiten der Durchführung der Messungen und der Berichterstattung sind in Richtlinien des Bundesministers des Innern sowie in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt.

Die zeitliche Entwicklung der Jahresabgabe radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus Kernkraftwerken seit ihrer Inbetriebnahme zeigt Tabelle 13. In Abbildung 2 sind die Abgabedaten an Edelgasen und Jod 131, bezogen auf die Bruttostromerzeugung,

für die Jahre 1967 bis 1978 graphisch dargestellt.

In Tabelle 14 sind die Angaben über die Ableitungen radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich im Jahre 1978 zusammengefaßt. Sie sind den Jahresberichten der Strahlenschutzabteilungen dieser Forschungszentren entnommen. Tabelle 15 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben. Ergänzende Messungen der Nuklidzusammensetzung in Abluft und Abwasser hat das Bundesgesundheitsamt durchgeführt. Die Ableitungen der Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland (Tabelle 16) betragen im Mittel nur etwa 5 Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken.

1.3 Berechnete Höchst- und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevölkerung

Die Ermittlung der Jahresabgaben der radioaktiven Stoffe dient als Grundlage für die Berechnung der Strahlenexposition der Menschen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen. Diese Berechnung wurde auf der Basis der gemessenen Abgabedaten unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse und unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission empfohlenen „Allgemeinen Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern“ (vgl. Tabelle 30) durchgeführt. Dieser Berechnungsgrundlage liegen unter pessimistischen Annahmen ausgewählte Daten zugrunde, so daß die damit berechneten Strahlenexpositionswerte die tatsächlichen Strahlenexpositionen bis zum Zehnfachen übersteigen.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahre 1978 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält Tabelle 17. Angegeben ist die Strahlenexposition für den Ganzkörper eines Erwachsenen, und zwar durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammastrahlung) und durch Gammastrahlung aus der Ablagerung radioaktiver Stoffe am Boden, weiterhin die Strahlenexposition durch innere Bestrahlung aus Ingestion und Inhalation radioaktiver Stoffe für den Ganzkörper eines Erwachsenen und für die Schilddrüse eines Kleinkindes.

Die Ganzkörperdosis durch äußere Bestrahlung aus der Abluftfahne wird hierbei durch die während des Jahres emittierten radioaktiven Edelgase bestimmt. Die Ganzkörperdosis durch äußere Bestrahlung aus der Ablagerung radioaktiver Stoffe am Boden wurde für das Berichtsjahr berechnet unter Berücksichtigung der in den Vorjahren emittierten Aktivität der langlebigen radioaktiven Aerosole und ihrer Akkumulation im Boden.

Bei der Berechnung der inneren Bestrahlung des Ganzkörpers aus Ingestion und Inhalation der emittierten radioaktiven Stoffe sind sämtliche relevanten Expositionspfade und alle abgegebenen Radionuklide berücksichtigt.

Für die Strahlenexposition der Schilddrüse eines Kleinkindes ist der Expositionsweg Weide — Kuh — Milch für Jod 131 bestimmend. Wie in den Vorjahren wird sie unter der Annahme eines Verzehrs von 0,8 l Milch pro Tag aus dem Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle unter Berücksichtigung der Abgabe von Radiojod während der Weidezeit berechnet.

Tabelle 18 gibt die maximale Ganzkörperdosis eines Erwachsenen an der ungünstigsten Einwirkungsstelle, summiert über sämtliche relevanten Expositionspfade, und die mittlere Ganzkörperdosis der Bevölkerung im Umkreis von 0 bis 3 km und 0 bis 20 km um die einzelnen Anlagen für Erwachsene an.

Für die Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser sind wie im Vorjahr in Tabelle 19 die maximalen Jahresdosen für den Ganzkörper und die Knochen von Einzelpersonen angegeben und in Tabelle 20 die Ganzkörperdosiswerte für Einzelpersonen und für die Gruppen aus der Bevölkerung gegenübergestellt, für die eine Nutzung der Vorfluter in Betracht zu ziehen ist. Während bei Einzelpersonen extreme Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen wurden, sind bei Gruppen aus der Bevölkerung für die zu berücksichtigenden Nutzungen durchschnittliche Gewohnheiten zugrunde gelegt.

Die Strahlenexposition wurde ausgehend von den Emissionen von Spalt- und Aktivierungsprodukten, Tritium und Alphastrahlern berechnet. Zusätzlich wurde die Strahlenexposition durch Phosphor 32, Eisen 55 und Nickel 63 abgeschätzt und in Tabelle 19 aufgenommen.

Die in Tabelle 21 angegebenen Werte für die Strahlenexposition durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernforschungszentren sind den Jahresberichten der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich entnommen. Für das Abwasser kann aufgrund der Emissionsdaten und der Meßwerte der Umgebungsüberwachung abgeschätzt werden, daß die maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers von Einzelpersonen 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr nicht überschreitet.

Für die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe in Hanau und Karlsruhe sind in Tabelle 22 die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten Inhalationsdosen der Lunge eines Kleinkindes durch die Emission von Alphastrahlern in der Abluft angegeben. Aus den Berechnungen ergibt sich, daß für die abgegebenen Radionuklide dies der wesentliche Expositionspfad ist.

Tabelle 23 gibt die für Einzelpersonen und Gruppen der Bevölkerung berechnete Strahlenexposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser an.

1.4 Ergebnis

Die Anwendung der Strahlenschutzvorschriften und entsprechende technische Maßnahmen in den kerntechnischen Anlagen haben auch 1978 sichergestellt, daß die in Abluft und Abwasser dieser Anla-

gen in geringen Mengen enthaltenen radioaktiven Stoffe die Strahlenexposition der Bevölkerung nur ganz geringfügig erhöhen.

Die Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen zeigen für 1978 keine wesentlichen Abweichungen von den Werten der vorhergehenden Jahre.

Die aus den Abgaben unter pessimistischen Annahmen berechneten Höchstwerte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Gegenüber 1977 zeigen die berechneten Höchst- und Mittelwerte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede. Die berechneten Höchstwerte der Ganzkörperdosis in der unmittelbaren Umgebung der kerntechnischen Anlagen sind wesentlich kleiner als die Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Bei den Kernkraftwerken hat sich im Vergleich zu 1977 die Gesamtabgabe an radioaktiven Edelgasen sowie an Jod 131 kaum verändert. Die höchste Abgabe von radioaktiven Edelgasen wurde beim Kernkraftwerk Brunsbüttel, die höchste Abgabe von Radiojod beim Kernkraftwerk Würgassen gemessen. Bei den Jahresabgaben mit Abwasser (Tabelle 12) sind neben den routinemäßig durch die Betreiber zu bestimmenden Radionuklidgruppen, nämlich Spalt- und Aktivierungsprodukte außer Tritium (Gammastrahler und Strontiumisotope), Tritium, Alphastrahler (als Gesamt-Alpha-Aktivität) und einige Sondernuklide (Phosphor 32, Eisen 55 und Nickel 63) zusammengefaßt aufgeführt, die im Rahmen eines vom Bundesminister des Innen geförderten Forschungsvorhabens durch das Bundesgesundheitsamt bestimmt wurden. Die Ableitungen ohne Tritium lagen nur beim Kernkraftwerk Brunsbüttel über 1 Curie ($3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerel). Beim Kernkraftwerk Isar, das 1977 in Betrieb ging, stammen die Abgaben von 10 Millicurie ($3,7 \cdot 10^8$ Becquerel) Phosphor 32 aus der Anfahrphase; die Abgaben von 120 Millicurie ($44,4 \cdot 10^8$ Becquerel) Nickel 63 beim Kernkraftwerk Gundremmingen resultieren aus der Reparaturphase nach dem Störfall vom 13. Januar 1977 (vgl. Bericht über das Jahr 1977).

Die Tabellen der berechneten maximalen Strahlenexposition weisen im Falle der äußeren Bestrahlung als Höchstwerte an den ungünstigsten Einwirkungsstellen beim Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Ganzkörperdosis von 10,5 Millirem (105 Mikrojoule/kg) pro Jahr durch Gammastrahlung aus der Abluffahne auf. Im Jahr 1977 lag der entsprechende Wert bei 13 Millirem (130 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Bei den Kernkraftwerken zeigen die Tabellen 18 und 19 als Höchstwerte der Ganzkörperdosis durch Gammastrahlung aus der Abluffahne, Ablagerung am Boden, Ingestion und Inhalation 0,9 Millirem (9 Mikrojoule/kg) pro Jahr; im Jahr 1977 waren es 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Der Beitrag der durch Ablagerung am Boden verursachten Gammastrahlung ist vernachlässigbar niedrig.

Bei der inneren Bestrahlung ergibt sich für die Schilddrüsensdosis eines Kleinkindes aus der gesamten Ingestion und Inhalation rechnerisch ein Höchstwert von 50 Millirem (500 Mikrojoule/kg) pro Jahr beim Kernkraftwerk Würzgassen. Demgegenüber wird durch eine Vielzahl von Messungen von Jod 131 in Milch aus der unmittelbaren Umgebung des Kernkraftwerkes Würzgassen belegt, daß realistisch höchstens ein Wert von 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Jahr aufgetreten ist. 1977 lag der Wert rechnerisch bei 10 Millirem (100 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Bei den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben liegt der Höchstwert der Lungendosis durch Inhalation wie 1977 bei 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Eine Belastung der Schilddrüse erfolgt in der Umgebung dieser Betriebe nicht, da kein Jod abgegeben wird.

Bei der Strahlenexposition von Einzelpersonen durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abwasser resultiert rechnerisch wie in den Vorjahren der wesentliche Beitrag aus dem mit 39 kg pro Jahr sehr hoch angenommenen Verzehr von Fischen, die im Kühlwasserauslauf gefangen werden. Erhöhungen gegenüber dem Vorjahr bei gleichgebliebenen Emissionen ergaben sich teilweise aus der Anwendung der neuen Berechnungsgrundlage, in der ein größerer Anreicherungsfaktor im Fischfleisch für Cäsium-Isotope angenommen wird, der nach den vorliegenden Meßwerten aus deutschen Gewässern weit auf der sicheren Seite liegt. Die höchsten Werte werden für die Kernkraftwerke Brunsbüttel und Lingen mit 0,4 Millirem (4 Mikrojoule/kg) Ganzkörperdosis pro Jahr abgeschätzt.

Die Strahlenexposition des Ganzkörpers für Gruppen aus der Bevölkerung, für welche die Nutzung der Flüsse unterhalb der Kernkraftwerke nicht auszuschließen ist, wurde zu maximal 0,02 Millirem (0,2 Mikrojoule/kg) pro Jahr beim Kernkraftwerk Gundremmingen berechnet. Sie lag bei diesem Kernkraftwerk nach dem relativ hohen Wert des Jahres 1977 von 0,1 Millirem (1 Mikrojoule/kg) pro Jahr im Jahre 1978 wie bei allen anderen Kernkraftwerken in der Größenordnung von 0,01 Millirem (0,1 Mikrojoule/kg). Die im Rahmen eines vom Bundesministerium des Innern geförderten Vorhabens des Bundesgesundheitsamtes ermittelten Emissionen von Phosphor 32, Eisen 55 und Nickel 63 führen nur in Ausnahmefällen zu erwähnenswerten Dosisbeiträgen.

Die durch Abwasserableitungen aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben bedingte Strahlenexposition des Ganzkörpers ist mit maximal 0,06 Millirem (0,6 Mikrojoule/kg) pro Jahr für Einzelpersonen nicht höher als bei den meisten Kernkraftwerken.

Die in den Tabellen angegebenen Werte der Strahlenexposition für Einzelpersonen und die Bevölkerung sind unter pessimistischen Annahmen berechnet worden. Die tatsächliche durch die Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen verursachte Strahlenexposition dürfte selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zumeist im Bereich von Bruchteilen eines Millirem (einigen Mikrojoule/kg) pro Jahr ge-

legen haben. Die Summierung aller Beiträge von kerntechnischen Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auch 1978 zu deutlich weniger als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr genetisch signifikanter Dosis in der Bundesrepublik Deutschland.

2 Verwendung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung, Technik und Haushalten

2.1 Industrieerzeugnisse

Zahlreiche Industrieerzeugnisse, wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Rauch- und Feuermelder, keramische Gegenstände u. a. enthalten radioaktive Stoffe verschiedenster Art und Menge. Tabelle 24 gibt einen Überblick über das Anwendungsgebiet dieser Industrieerzeugnisse und die Art der verwendeten Radionuklide.

Der Nutzen der radioaktiven Stoffe in diesen Erzeugnissen ist von unterschiedlichem Wert für den Benutzer bzw. Verbraucher.

Gas- und Aerosoldetektoren mit radioaktiven Stoffen garantieren ein jederzeit zuverlässiges Funktionieren von Rauchmeldern, die unter Umständen lebensrettende Einrichtungen in Theatern, Hotels, Kinos u. a. sind. Notbeleuchtungen, die einen radioaktiven Zusatz enthalten, funktionieren auch dann, wenn andere Energiequellen zum Betrieb dieser Beleuchtungskörper ausfallen. Technische Geräte, wie Prüfstrahler und Eichstrahler, dienen der Kalibrierung und Funktionskontrolle von Strahlungsmeßgeräten; sie sind für diesen Zweck unersetzlich. Radioaktive Stoffe in wissenschaftlichen Geräten tragen dazu bei, die Leistungsfähigkeit dieser Geräte zu erhöhen bzw. machen den Einsatz dieser Geräte überhaupt erst möglich. Radioaktive Stoffe in elektronischen Bauteilen, wie Elektronenröhren, lassen diese Geräteteile energiesparender und funktionssicherer arbeiten als ohne diese Zusätze. Bei manchen Herstellungsverfahren, wie z. B. bei schnellaufenden Druckereipressen, bei Verpackungsmaschinen, bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen kommt es zur Entstehung starker elektrostatischer Aufladungen, die erhebliche Gefahrenquellen darstellen können. In Antistatika enthaltene radioaktive Stoffe helfen, diese Gefahren zu beseitigen.

Leuchtfarben werden in Gegenwart eines radioaktiven Stoffes zur Lumineszenz angeregt. Auf Skalen und Zeigern finden diese Leuchtmassen in Instrumenten der Schiff- und Luftfahrt sowie in Armbanduhren Verwendung; sie erlauben ein Ablesen dieser Instrumente auch in der Dunkelheit.

In manchen metallischen, aber auch anderen Werkstoffen sind radioaktive Stoffe enthalten, weil sie als sogenannte „Radioindikatoren“ absichtlich zugegeben wurden, um den Produktionsablauf zu überwachen oder gleichbleibende Qualität der Endprodukte sicherzustellen, oder weil sie die Qualität des Endproduktes verbessern.

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen hängt

nicht nur von der Art und Menge der enthaltenen Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der allgemeinen Verbreitung dieser radioaktiven Industrieerzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung, wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, bei dem auch ein unter bestimmten Voraussetzungen genehmigungsfreier Umgang ermöglicht wird. Eine Umgangsgenehmigung ist z. B. nicht erforderlich für Geräte, Instrumente oder andere Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Landesbehörde zugelassen worden sind.

Aufgrund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen und der Anwendung des Grundsatzes, daß mit der Anwendung ein echter Vorteil verbunden sein muß, ist gewährleistet, daß der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr ist.

2.2 Störstrahler

Störstrahler sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlen erzeugt werden, ohne daß sie zu diesem Zweck betrieben werden. Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyatronen, Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen solche Störstrahler nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen beruflich mit diesen Geräten umgehen.

Auch normale Fernsehgeräte gehören nach den Bestimmungen der Röntgenverordnung zu den Störstrahlern. Allerdings wird bei den meisten Geräten die nach der Röntgenverordnung höchstzulässige Ortsdosisleistung von 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Stunde in 5 cm Abstand von der Oberfläche in der Praxis beträchtlich unterschritten. Eine Abschätzung der mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung durch Fernsehgeräte, die den technologischen Fortschritten der letzten Jahre bei der Bildröhrenherstellung entsprechen, ergibt sich deutlich weniger als 0,1 Millirem (1 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

3 Berufliche Tätigkeit

Beruflich strahlenexponierte Personen gelten als spezielle Bevölkerungsgruppe, für die durch die Strahlenschutzverordnung bzw. die Röntgenverordnung höhere Expositionsgrenzwerte zugelassen sind als für die übrige Bevölkerung. Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen das Risiko einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von den fünf nach Landesrecht zuständigen amtlichen Personendosismeßstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Ergebnisse dieser Personen-

dosismessung werden gemäß den Vorschriften der Strahlenschutz- bzw. der Röntgenverordnung bei den Meßstellen aufbewahrt. Die Zahl der Personen, die im Jahr 1978 von amtlichen Meßstellen mit Personendosimetern überwacht wurden, betrug 153 559 (davon 107 027 im Bereich Medizin) gegenüber 144 430 im Jahr 1977 (davon 99 213 im Bereich Medizin). Bei weniger als 1 Promille der überwachten Personen wurden Überschreitungen des Dosisgrenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 5 Rem (50 Millijoule/kg) festgestellt.

Die Höhe der mittleren Strahlenexposition der überwachten Personen lag im Jahre 1978 bei rund 80 mrem (800 Mikrojoule/kg). Im Rahmen der Genauigkeit dieser Abschätzung ist der Mittelwert gegenüber dem Vorjahr unverändert geblieben.

Röntgenanlagen und Störstrahler, bei deren Benutzung eine Überwachung der beschäftigten Personen mit Personendosimetern aufgrund der Röntgenverordnung erforderlich ist, wurden 1978 in 16 674 Betrieben verwendet. Bei 15 381 dieser Betriebe handelt es sich um Röntgengeräte für die Anwendung in der Medizin. In den übrigen 1 293 Betrieben wurden Röntgenanlagen bzw. Störstrahler zu technischen oder Forschungszwecken betrieben.

Ferner benutzten 1978 insgesamt 8 335 Verwender mit 17 370 Genehmigungen und Zulassungen nach der Strahlenschutzverordnung (einschließlich der Genehmigungen zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen, Beförderungsgenehmigungen und Bauartzulassungen) radioaktive Stoffe; davon waren 3 615 Verwender in der Medizin und Forschung und 4 720 Verwender in der gewerblichen Wirtschaft tätig. Der größte Teil der Verwender (2 462) in Medizin und Forschung benutzte offene radioaktive Stoffe, während im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und sonstiger Verwender nur 567 Genehmigungsinhaber mit offenen radioaktiven Stoffen umgingen. Es gab 722 Betriebe, die radioaktive Leuchtfarben verwendeten (Streichereien, Montagebetriebe und Uhrmacher).

Personen, bei denen aufgrund ihres Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen eine Inkorporation nicht ausgeschlossen werden kann, werden durch Messungen im Ganzkörperzähler oder durch Untersuchungen der Ausscheidungen überwacht. Mit der „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 Strahlenschutzverordnung)“ (vgl. Tabelle 30) wurden einheitliche Grundlagen für die Gestaltung der Anforderungen an die Inkorporationsüberwachung geschaffen. Die Auswertung der Meßergebnisse hat ergeben, daß trotz Zunahme der Zahl der Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, die Inkorporationen abgenommen haben. Überschreitungen der zugelassenen Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr bzw. der zugelassenen Dosisgrenzwerte wurden nicht festgestellt.

Der Beitrag der durch Personendosis- bzw. Ganzkörpermessungen und bei Messungen der Ausscheidungen überwachten beruflich strahlenexponierten Personen zur genetisch signifikanten Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung ist kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) im Jahr.

4 Medizinische Anwendung

Die Röntgendiagnostik verursacht den größten Teil der künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung, jedoch kann auf diagnostische Maßnahmen bei der Krankheitserkennung und Krankheitsverfolgung des Patienten nicht verzichtet werden. Unbedingtes Erfordernis sind hierbei strenge Indikationsstellung zur Untersuchung, optimale Untersuchungstechnik, Auswahl geeigneter Untersuchungsverfahren und ausreichende Fachkunde des Untersuchers. Jede unnötige Strahlenexposition muß vermieden werden.

In Tabelle 25 werden Hautoberflächen-, Keimdrüsen- und Knochenmarkdosen für dosisrelevante Röntgenuntersuchungen angegeben, die sowohl Dosiswerte des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) als auch das Bundesgesundheitsamtes enthalten.

Untersuchungen des Bundesgesundheitsamtes im Jahre 1978 über die Häufigkeit röntgendiagnostischer Maßnahmen lassen die Aussage zu, daß eine weitere Zunahme von Röntgenuntersuchungen im Vergleich zum Jahre 1976 nicht zu verzeichnen ist (1976: rd. 1 700 Röntgenuntersuchungen pro 1 000 Personen der Bevölkerung; der darin enthaltene Schätzwert von 300 Zahnaufnahmen pro 1 000 Personen wird derzeit überprüft).

Tabelle 26 gibt einen Überblick über die prozentuale Verteilung der für das Jahr 1978 ermittelten röntgendiagnostischen Untersuchungsarten sowie Vergleichswerte für die Jahre 1976 und 1958.

In der Nuklearmedizin wurden in der Bundesrepublik Deutschland 1978 etwa 38 Anwendungen offener radioaktiver Stoffe direkt am Menschen (in-vivo-Untersuchungen) pro 1 000 Personen der Bevölkerung durchgeführt. Diese Werte beruhen auf Hochrechnungen aus Erhebungen für Berlin aus dem Jahre 1978. Die aus diesen Anwendungen abgeschätzte genetisch signifikante Dosis beträgt etwa 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Person und Jahr. Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der jährlichen Zahl von Anwendungen offener radioaktiver Stoffe am Menschen während der letzten zehn Jahre. Diese Zahlen gelten für Berlin. Darüber hinaus sind die jährlichen Zuwachsraten der Anwendungen dargestellt. Während für den Zeitraum von 1968 bis 1970 noch eine durchschnittliche jährliche Zuwachsrate von 20 Prozent festzustellen war, fiel diese bis 1975 auf 16 Prozent und bis 1978 auf 5 Prozent.

Die Anzahl der jährlich in Berlin durchgeführten Schilddrüsentests mit Radiojod ist für die Jahre 1955 bis 1978 in Abbildung 4 dargestellt. Während im Jahr 1955 etwa 650 Schilddrüsentests durchgeführt wurden, stieg diese Zahl bis auf mehr als 18 000 im Jahr 1975, fiel dann jedoch auf 4 500 für das Jahr 1978 ab. Diesem Verlauf entsprechen durchschnittliche Zuwachsraten, die in der gleichen Abbildung wiedergegeben sind: Von 1955 bis 1960 stieg die Anzahl der Schilddrüsentests um 41 Prozent, von 1970 bis 1975 um 7 Prozent; danach nahm die Anzahl um fast 40 Prozent ab. Die stark rückläufige Tendenz der Anzahl der Schilddrüsentests mit Radiojod ist zu

begrüßen, da die hiermit verbundene Strahlenexposition der Schilddrüse des Patienten im Bereich von 50 bis 150 Rad (0,5 bis 1,5 Gray) heute für eine diagnostische Routinemethode als sehr hoch angesehen wird. Als Ersatz für Jod 131 lassen sich für den Fall, daß ein in-vivo-Schilddrüsentest notwendig ist, kurzlebige Radionuklide wie Technetium 99m und Jod 123 verwenden. Diese radioaktiven Stoffe lassen im allgemeinen eine gleichwertige diagnostische Aussage zu. In den weitaus meisten Fällen lassen sich die gleichen diagnostischen Erkenntnisse heute mit Methoden erlangen, die keine Anwendung offener radioaktiver Stoffe am Menschen erfordern. Hierzu werden Labormethoden angewendet, sogenannte in-vitro-Untersuchungen, bei denen die radioaktiven Stoffe Körperflüssigkeiten der Patienten, z. B. Blut, außerhalb des Organismus zugefügt werden.

Die „Richtlinie für den Strahlenschutz bei Verwendung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Bestrahlungseinrichtungen mit radioaktiven Quellen in der Medizin (Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin)“ (vgl. Tabelle 30) wird einen weitergehenden Schutz von Patienten und Personal in der Medizin gewährleisten. Diese Richtlinie soll auch dazu dienen, die Strahlenexposition des Patienten unter Berücksichtigung der medizinischen Notwendigkeit so gering wie möglich zu halten.

Auch auf anderen Teilgebieten der Nuklearmedizin hat sich ein erfreulicher Wandel vollzogen. Langlebige, mit einer unnötig hohen Strahlenexposition des Patienten verbundene Radionuklide wie Strontium 85 oder Quecksilber 203 wurden in Berlin 1978 im Gegensatz zu 1975 praktisch nicht mehr eingesetzt.

Die gegenwärtigen Bemühungen, die zur Verfügung stehenden begrenzten Geldmittel in der Medizin für Diagnostik und Therapie möglichst rationell einzusetzen, werden beispielsweise durch Erarbeitung diagnostischer Schemata auch in der Nuklearmedizin zu einer weiteren Verbesserung des Verhältnisses von diagnostischer Information zu damit verbundenen Strahlenexposition des Patienten führen.

In der Strahlentherapie haben sich gegenüber den Aussagen im Bericht über das Jahr 1977 keine Änderungen ergeben.

Nachdem in den letzten Jahren nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Betriebsdauer bis zu zehn Jahren entwickelt wurden, sind 1977 und 1978 Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien nicht mehr implantiert worden. Trotz der mit dem Tragen eines Radionuklid-Herzschrittmachers verbundenen Strahlenexposition bestehen keine Gründe, die restlichen Herzschrittmacher mit Radionuklidquelle zu explantieren, da das Risiko des operativen Eingriffes größer ist als das Risiko einer Schädigung durch die Strahlenexposition des betreffenden Herzschrittmacherträgers. Von den 1978 gemeldeten 24 Explantationen erfolgten sechs wegen Tod des Patienten und 18 aus medizinischer Indikation.

Am 31. Dezember 1978 waren von 346 bisher insgesamt implantierten Herzschrittmachern mit Radio-

nuklidbatterie noch 213 implantiert, davon 200 länger als drei Jahre und 131 länger als fünf Jahre.

Der Bundesminister des Innern hat im Jahre 1978 „Grundsätze für die ärztliche Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen“ veröffentlicht (Band 9 der Schriftenreihe des Bundesministeriums des Innern). Diese Grundsätze wurden unter Mitwirkung der Behörden des Bundes, der Strahlenschutzkommission und ihres Ausschusses „Medizin und Strahlenschutz“, des Länderausschusses für Atomkernenergie — Strahlenschutz — sowie Sachverständigen aus Medizin und Technik erarbeitet. Sie gewährleisten eine Gesundheitskontrolle der beruflich strahlenexponierten Personen nach allgemeinen arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung des durch ionisierende Strahlen bedingten Risikos.

Im Jahr 1978 wurden vom Bundesgesundheitsamt vier Gutachten zur Genehmigung klinischer Prüfungen von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln an gesunden Testpersonen bearbeitet. Es handelt sich ausschließlich um die Anwendung von mit Kohlenstoff 14 markierten Substanzen (Tabelle 27). Die vier Anträge wurden vom Bundesgesundheitsamt befürwortet.

5 Radioaktive Abfälle

Seit 1967 wurden in dem von der bundeseigenen Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (GSF) betriebenen ehemaligen Salzbergwerk Asse bei Wolfenbüttel radioaktive Abfälle eingelagert, bis zum Auslaufen der atomrechtlichen Genehmigung Ende 1978 insgesamt rd. 124 500 Gebinde mit schwachradioaktiven Abfällen, verpackt in 200-Liter- oder 400-Liter-Normfässern sowie armierten Betonabschirmungen mit eingesetztem Metallbehälter (sog. verlorene Betonabschirmungen). Eine Gesamtübersicht über Herkunft und Mengen der 1975 bis 1978 im ehemaligen Salzbergwerk Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle enthält Tabelle 28. An mittelaktiven Abfällen wurden von 1972 bis zum Frühjahr 1977 rd. 1 300 Fässer zu 200 Liter eingelagert. Bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse wurden Verfahren und Techniken für die Endlagerung solcher Abfälle entwickelt und erprobt und Erfahrungen im Umgang mit größeren radioaktiven Abfallmengen gesammelt.

Die Strahlenschutzmaßnahmen im Bereich der Asse umfassen die Umgebungsüberwachung sowie die Überwachung der betrieblichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und der Bevölkerung in der Umgebung. Zur Vorsorge wurden in der Umgebung der Asse laufend Proben der Luft, von Grundwasser, Oberflächenwasser und Trinkwasser sowie vom Bewuchs genommen. Diese Messungen haben keinerlei Erhöhungen oder Abweichungen gegenüber Meßwerten der Umweltradioaktivität an anderen Orten der Bundesrepublik Deutschland ergeben.

Die Emissionsüberwachung der Asse ergab, daß im Jahr 1978 mit der Abluft rd. 9 Curie Tritium, 0,2 Curie Kohlenstoff 14 und 3 Mikrocurie Jod 129 abgegeben worden sind. Die dadurch bedingte Strahlenex-

position betrug an der ungünstigsten Einwirkungsstelle etwa 2 Millirem pro Jahr für den Ganzkörper eines Erwachsenen über Inhalation und Ingestion.

6 Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Im Berichtsjahr wurden folgende Arbeitsunfälle durch die Einwirkung ionisierender Strahlen gemeldet:

Nach einer Schweißnahtprüfung mit einer Iridium-192-Quelle wurde durch Abknickung des Fernbedienungskabels der Strahler nicht korrekt eingefahren. Der Beschäftigte überprüfte im Rohr den Standort des Gammaographiegerätes. Da das mitgeführte Warngerät (Dosisschreiber) nicht funktionsfähig war, erhielt er eine Ganzkörperdosis von 4 Rem (40 Millijoule/kg). Folgerungen: Es ist regelmäßig zu prüfen, ob die Strahlenquelle in den Abschirmbehälter zurückgefahren ist. Strahlenmeßgeräte einschließlich Warngeräte sind wöchentlich auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Die Fachkunde des Beschäftigten muß gewährleistet sein.

Bei der Werkstoffprüfung mittels Röntgenstrahlen klemmte die Blende des Röntgengerätes. Es existiert sowohl eine mechanische als auch eine elektrische Sicherung, die beide verhindern sollen, daß die Hochspannung eingeschaltet wird, wenn die Blende nicht geschlossen ist. In diesem Falle war die mechanische Sicherung blockiert, die elektrische Sicherung wegen Umbauarbeiten ausgeschaltet. Der Beschäftigte erhielt eine Ganzkörperdosis von rund 6 Rem (60 Millijoule/kg).

Während einer Werkstoffprüfung mittels Röntgenstrahlen geriet ein Beschäftigter in den Nutzstrahlenbereich.

Es war kein ordnungsgemäßer Röntgenraum mit fest installierten Abschirmungen vorhanden. Belehrungen wurden nicht durchgeführt. Der Beschäftigte erhielt eine Ganzkörperdosis von rund 6 Rem (60 Millijoule/kg). Die zuständige Behörde erließ sofort entsprechende Auflagen.

Ein Röntgenhelfer in einem Industriebetrieb hatte entgegen den Anweisungen sein Taschenwarngerät nicht eingeschaltet. Er bemerkte nicht, daß er sich vorübergehend im Strahlenbereich einer Röntgenanlage befand und erhielt eine Ganzkörperdosis von rund 3 Rem (30 Millijoule/kg). Der Beschäftigte wurde verwarnet.

Aufgrund der strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind Unfälle mit ionisierenden Strahlen weiterhin relativ sehr selten. Bei den Betroffenen der oben erwähnten Arbeitsunfälle sind bleibende Schäden nicht wahrscheinlich. Eine gewissenhafte Belehrung der mit ionisierenden Strahlen Umgehenden ist weiterhin von vorrangiger Bedeutung, da die Mehrzahl der Zwischenfälle auf Fahrlässigkeit zurückzuführen ist.

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen enthält Tabelle 29.

Am 18. Juni 1978 und in der darauffolgenden Woche kam es durch einen Störfall im Kernkraftwerk Brunsbüttel, bei dem ein Blindstutzen einer Frisch-

dampfleitung abriß, zu einer erhöhten Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre. Für die gesamte Zeit der störfallbedingten Emission hat der Technische Überwachungs-Verein Norddeutschland e. V. aufgrund der ermittelten Aktivitätsabgaben eine Abschätzung der Strahlenexposition in Umgebung durchgeführt. Dabei wurden die Emissionen über den Abluftkamin und über die Dachklappen des Maschinenhauses sowie die herrschenden meteorologischen Bedingungen berücksichtigt.

Die Berechnungen ergaben für die maximal mögliche Strahlenexposition des Ganzkörpers durch Gammasubmersion 0,02 Millirem (0,2 Mikrojoule/kg), durch Ingestion 0,003 Millirem (0,03 Mikrojoule/kg) und der Schilddrüse eines Kleinkindes durch Ingestion 4 Millirem (40 Mikrojoule/kg). Geht man bei der Berechnung der Ingestionsdosis infolge Verzehr der mit Jod 131 kontaminierten Milch von dem höchsten gemessenen Radiojod-Konzentrationswert aus, so ergibt sich unter der Annahme eines achttägigen Verzehr dieser Milch eine Schilddrüsensdosis von 0,05 Millirem (0,5 Mikrojoule/kg). In Tabelle 17 ist die Strahlenexposition über verschiedene Expositionspfade einschließlich der aus den störfallbedingten Emissionen berechneten Werte angegeben.

Wegen besonderer Vorkommnisse in Kernkraftwerken wird im übrigen auf die Berichte der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH verwiesen (vgl. Fachdienst „Umwelt“ des Bundesministers des Innern, Nr. 72 vom 12. Oktober 1979).

7 Kernwaffenversuche

Nach den vorliegenden Meldungen wurden 1978 insgesamt 26 Kernwaffenversuche durchgeführt. Davon fanden zwei Kernwaffenversuche der Volksrepublik China am 15. März 1978 und am 14. Dezember 1978 in der Atmosphäre statt.

Aus diesen beiden oberirdischen Kernwaffenversuchen konnten Spuren an kurzlebigen Spaltprodukten in der Umwelt nachgewiesen werden (Abbildung 5). Der allgemeine Pegel an langlebigen Spaltprodukten hat sich hingegen nicht wesentlich geändert. Eine Gefährdung der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch diese oberirdischen Kernwaffenversuche bestand nicht.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über das Verbot von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Welt- und unter Wasser“ im Jahre 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Strontium 90 und Cäsium 137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Zur Zeit beträgt die Aktivitätszufuhr über Nahrung etwa 10 bis 30 Prozent der Maximalwerte der Jahre 1963 bis 1965.

Die durchschnittliche Zufuhr an Strontium 90 für die Bevölkerung aus den Kernwaffenversuchen beträgt etwa 8 Pikocurie (0,30 Becquerel) pro Tag und Person, bei Cäsium 137 etwa 12 Pikocurie (0,44 Becquerel) pro Tag und Person. Wie in allen Umweltbereichen sind auch diese langlebigen Radionuklide im menschlichen Körper noch immer nachweisbar.

Aus den Messungen des Cäsium-137-Gehaltes im menschlichen Körper ist für das Jahr 1978 eine Ganzkörperdosis berechnet worden, die unter 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) liegt.

Die Untersuchungen auf Strontium 90 in menschlichen Knochenproben wurden weitergeführt. Der Strontium-90-Gehalt betrug 1978 für den süddeutschen Raum je nach Alter 0,7 Pikocurie (0,026 Becquerel) bis 3 Pikocurie (0,11 Becquerel) pro Gramm Calcium. Das Maximum liegt nach wie vor bei den jetzt 20 bis 26jährigen, deren Knochenaufbauphase mit dem Maximum des Fallout zu Beginn der sechziger Jahre zusammenfiel. Die Knochendosis beträgt für diese Personengruppe rd. 7 Millirem (70 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Der Beitrag der am Boden aus dem Kernwaffen-Fallout abgelagerten Radionuklide zur Ganzkörperdosis ist mit kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr in Rechnung zu setzen, ebenso die genetisch signifikante Dosis der Bevölkerung.

III. Wirkungen kleiner Strahlendosen

Strahlenwirkungen lassen sich in „stochastische“ (zufallsabhängige) und „nichtstochastische“ unterteilen. Stochastische Wirkungen sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens, nicht jedoch ihr Schweregrad von der Strahlendosis abhängt, ohne daß ein Schwellenwert besteht. Zu den stochastischen Wirkungen gehört die Krebsentstehung, die als wichtigstes somatisches Strahlenrisiko bei kleinen Dosen und deshalb als Hauptproblem im Strahlenschutz angesehen wird. Strahlenwirkungen werden als somatisch bezeichnet, wenn sie sich in der strahlenexponierten Person selbst manifestieren. Genetische, d. h. vererbare und nur bei Nachkommen, nicht bei der bestrahlten Person selbst auftretende Wirkungen sind ebenfalls stochastisch. Nichtstochastische Wirkungen sind solche, bei denen der Schweregrad der Wirkung von der Strahlendosis abhängig ist und für die ein Schwellenwert bestehen kann. Hierzu gehören z. B. Linsentrübungen, Veränderungen der Haut und Knochenmarkschädigungen.

Stochastische Schäden treten bei einer gleichartig bestrahlten vergleichbaren Personengruppe entsprechend einer Zufallsverteilung auf. Das bedeutet, daß die Schäden nicht bei allen Individuen einer Bevölkerungsgruppe zu beobachten sind. Sie sind häufig erst nach Jahren zu erkennen und sind von Schäden, die in einer unbestrahlten Bevölkerungsgruppe spontan auftreten, nicht zu unterscheiden. Das bedeutet, daß im Einzelfall die Ursache des Auftretens einer bösartigen Erkrankung nicht mit Sicherheit festgestellt werden kann.

Das Risiko der Krebsentstehung nach Strahlenexposition wird aus Studien an Personen abgeleitet, die der Strahlenexposition einer Kernwaffe, einer unfallbedingten Strahlenexposition oder aus medizinischen Gründen bei der Strahlentherapie einer hohen Strahlenexposition ausgesetzt waren. Diese Ergebnisse wurden an Personengruppen gewonnen, die einer Exposition von mehr als 50 Rad (0,5 Gray) ausgesetzt waren.

Aus statistischen Gründen gibt es für den Dosisbereich unterhalb von 50 Rad (0,5 Gray) keine sicheren Aussagen. Aus Strahlenschutzgründen wird mit der Arbeitshypothese gearbeitet, daß für stochastische Schäden eine lineare Dosiswirkungsbeziehung gilt, d. h., daß es auch bei niedriger Dosis ein zwar geringes, aber dennoch berechenbares Krebsrisiko gibt. Auf dieser Basis wird das Gesamtrisiko für das Sterblichkeitsrisiko an Krebs, gemittelt auf Geschlechter und alle Altersgruppen, auf etwa 0,0001 pro Rem (0,01 Joule/kg) abgeschätzt. Dies würde bedeuten, daß bei einer Personengruppe von 10 000 Personen, in der jede Person eine Strahlendosis von 1 Rem (0,01 Joule/kg) erhält, mit dem Risiko eines einzigen Todesfalles durch eine strahlenbedingte bösartige Neubildung (Krebs) gerechnet werden müßte. Dieses Risiko ist in Relation zur tatsächlichen Strahlenexposition der Bevölkerung zu sehen, die aus Tabelle 1 und weiteren Angaben dieses Berichts zu ersehen ist und die sich in der Größenordnung von Millirem (10 Mikrojoule/kg) bewegt. Es sollte in diesem Zusammenhang gesehen werden, daß die Krebssterblichkeitsrate in der Bundesrepublik Deutschland etwa 2 500 pro eine Million Personen und pro Jahr beträgt. Innerhalb dieser Zahl von Krebstoten ist die Anzahl der nicht bewiesenen, aber möglichen Krebssterbefälle, die durch ionisierende Strahlung bedingt sind, verschwindend gering.

Für die Abschätzung des strahlengenetischen Risikos kann nicht auf die Ergebnisse epidemiologischer Studien zurückgegriffen werden. Hier basieren die Risikoabschätzungen auf tierexperimentellen Befunden. Das Risiko, daß in der ersten Generation nach Auftreten einer Erbänderung ein genetisch bedingter Schaden festgestellt werden kann, bewegt sich in der Größenordnung von etwa 0,00004 pro Rem (0,004 pro Joule/kg). Hierbei ist nur der Anteil der Strahlenexpositionen zu berücksichtigen, der „genetisch signifikant“ ist und die von Alter und Geschlecht abhängige Kindererwartungswahrscheinlichkeit einbezieht.

IV. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Strahlenquellen (Tabelle 1) hat sich im Vergleich zum Jahre 1977 nicht wesentlich geändert.

Der Hauptanteil der natürlichen Strahlenexposition wird durch die Umgebungsstrahlung und die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper bedingt. Die in den letzten Jahren durchgeführten Messungen haben ergeben, daß besonders durch den verschiedenen hohen Gehalt an radioaktiven Stoffen im Boden in den einzelnen Teilen der Bundesrepublik Deutschland erhebliche Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition bestehen. Bei Langstreckenflügen in großen Höhen sowie durch die Verwendung von Baustoffen mit erhöhtem Anteil an radioaktiven Stoffen werden Bevölkerungsgruppen ebenfalls einer erhöhten Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen ausgesetzt. Bisher gibt es jedoch keine epidemiologisch gesicherten Hin-

weise, daß die unterschiedliche Höhe der natürlichen Strahlenexposition Unterschiede im Gesundheitszustand der Bevölkerung zur Folge hat.

Die künstliche Strahlenexposition der Bevölkerung ist im wesentlichen durch die Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin bedingt. Hierbei führt die Röntgendiagnostik durch die hohen Untersuchungsfrequenzen und die dadurch bedingten Teilkörperexpositionen zu den höchsten Werten. Nach Ermittlungen des Bundesgesundheitsamtes ergibt sich im Vergleich zu den früheren Jahren eine gewisse Verschiebung der Untersuchungsschwerpunkte. Insgesamt ist jedoch im Berichtsjahr kein weiterer Anstieg der Untersuchungsfrequenzen nachzuweisen.

Die vorläufigen Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch medizinische Maßnahmen, insbesondere in der Röntgendiagnostik“ (der Abschlußbericht liegt noch nicht vor) zeigen, daß die Strahlenexposition nach wie vor durch unterschiedliche Aufnahmematerialien, die Zahl der Belichtungen pro Untersuchung und die Dauer der Durchleuchtungen Unterschiede von mehr als 1 : 100 pro Untersuchungsmethode aufweisen kann. Vom Strahlenschutzstandpunkt aus gesehen bietet die Röntgendiagnostik bedingt große Möglichkeiten, ohne Verlust an erforderlichen Informationen die Dosis zu verringern. Dies ist möglich durch strengere Indikationsstellung, Auswahl geeigneter Untersuchungsmethoden, Vermeidung von Fehluntersuchungen und Kontrolle der Bildqualität. Dadurch könnte auch die Zahl der unnötigen bzw. nichtauswertbaren Untersuchungen vermindert werden.

In der Strahlentherapie ergeben sich im Vergleich zum Bericht über das Jahr 1977 keine neuen Gesichtspunkte.

In der Nuklearmedizin haben die Untersuchungsfrequenzen nicht mehr in demselben Umfang zugenommen wie in den früheren Jahren. Bestimmte Untersuchungen, wie z. B. der Radiojodtest, zeigen rückläufige Tendenzen und sind zum Teil durch geeignete Laboratoriumsuntersuchungen ersetzt worden. Die Verwendung kurzlebiger Radionuklide zu diagnostischen Zwecken hat sich weiter durchgesetzt. Auch in der Nuklearmedizin sind Bestrebungen notwendig, die Wirksamkeit und den Wirkungsgrad nuklearmedizinischer Untersuchungsmethoden zu überprüfen.

Durch die Abgabe radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen wird die Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die berechneten Höchstwerte der Ganzkörperdosis an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen sind wesentlich kleiner als die Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland. Die tatsächliche Strahlenexposition von Einzelpersonen dürfte selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zumeist im Bereich von Bruchteilen eines Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr gelegen haben. Die Strahlenexposition an der ungünstigsten Einwirkungsstelle in der

Umgebung eines Steinkohlekraftwerkes ist nach verschiedenen Untersuchungen, deren Ergebnisse gegenwärtig durch eine Arbeitsgruppe der Strahlenschutzkommission überprüft werden, höher zu bewerten als die Strahlenexposition durch ein Kernkraftwerk gleicher Leistung.

Die Summierung aller Beiträge kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auf 1978 in der Bundesrepublik Deutschland zu einer genetisch signifikanten Dosis von deutlich weniger als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen wird voraussichtlich auch im nächsten Jahrzehnt in der Bundesrepublik Deutschland deutlich unter ein Prozent der natürlichen Strahlenexposition bleiben, auch wenn anzunehmen ist, daß auch durch den Ausbau der Nutzung der Kernenergie in mehreren Nachbarstaaten mit einer geringen Zunahme der mittleren Strahlenexposition insgesamt zu rechnen ist.

Die Anwendung von ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen zu technischen Zwecken und in der Forschung nimmt weiter zu. Auch Geräte, die potentielle Strahlenquellen sind, wie Fernsehgeräte, Uhren mit Leuchtzifferblättern, selbstleuchtende Kompassse, Rauchmelder und antistatische Vorrichtungen, sind im Gebrauch. Die Strahlenexposition der Einzelpersonen und der Gesamtbevölkerung durch technische Geräte wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung begrenzt und so niedrig wie möglich gehalten.

Die mittlere Strahlenexposition durch äußere Strahleneinwirkung bei der beruflichen Tätigkeit lag 1978 bei 80 Millirem (800 Mikrojoule/kg). Gegenüber 1977 hat sich keine Änderung ergeben.

Die Auswertung der von den nach Landesrecht zuständigen Meßstellen nach Maßgabe der Richtlinien zu § 63 der Strahlenschutzverordnung durchgeführten Inkorporationsüberwachung von Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen und bei denen zu befürchten ist, daß radioaktive Stoffe in den Körper gelangen, hat ergeben, daß vor allem Inkorporationen in der Leuchtfarbenindustrie und bei der nuklearmedizinischen Anwendung radioaktiver Stoffe vorkommen. Überschreitungen der Jahresaktivitätszufuhr bzw. der zugelassenen Dosisgrenzwerte waren nicht zu verzeichnen. Der Beitrag zur genetisch signifikanten Dosis der Bevölkerung ist gering.

Im Jahre 1978 wurden auf der Welt insgesamt 24 unterirdische und zwei oberirdische Kernwaffenversuche durchgeführt. Aus den beiden oberirdischen Kernwaffenversuchen der Volksrepublik China konnten Spuren an kurzlebigen Spaltprodukten in der Umwelt nachgewiesen werden. Eine Gefährdung der Bevölkerung durch die aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen freigesetzte Radioaktivität bestand nicht.

In der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbare langlebige radioaktive Stoffe stammen überwiegend aus den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Zur Strahlenexposition der Bevölkerung

haben diese Radionuklide nur unwesentlich beigetragen.

Eine Gefährdung der Bevölkerung durch die aus den oberirdischen Kernwaffenversuchen freigesetzte Radioaktivität bestand nicht. Der Beitrag der aus dem Fall-out der Kernwaffenversuche auf den Boden abgelagerten Radionuklide zur Ganzkörperdosis ist für 1978 ebenso wie die genetisch signifikante Dosis der Bevölkerung mit kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) anzusetzen.

Die Beseitigung schwachradioaktiver Abfälle im ehemaligen Salzbergwerk Asse bot in technischer Hinsicht im Jahre 1978 noch keine Schwierigkeiten. Die Überwachung der Umgebung dieser Anlage und der betrieblichen Maßnahmen zum Schutz der dort Beschäftigten boten keinen Anlaß zu Beanstandungen.

V. Maßnahmen

Ziel des Strahlenschutzes ist es, die Strahlenexposition so zu begrenzen, daß keine schädlichen Strahlenwirkungen auftreten, bzw. das Risiko schädlicher Wirkungen auf ein im Vergleich mit anderen Risiken vertretbares Maß beschränkt wird. Dabei wird von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

- ionisierende Strahlen sind nur dann anzuwenden, wenn ihre Anwendung einen echten Vorteil gegenüber anderen Verfahren bedeutet
- alle Strahlenexpositionen sind so gering wie möglich zu halten
- die Strahlenexposition darf die in der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Auch unterhalb dieser Grenzwerte soll sie so gering wie möglich gehalten werden.

Voraussetzung für alle Strahlenschutzmaßnahmen ist die möglichst genaue Kenntnis der strahlenbiologischen Wirkungen der Strahlenexposition. Für den Strahlenschutz sind dabei die Kenntnisse über Wirkungen im Bereich kleiner Strahlendosen und über größere Zeiträume besonders wichtig.

Die strahlenbiologische Forschung wird sich in den nächsten Jahren — auch nach den Empfehlungen des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO)

- verstärkt vor allem auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:
- Wirkungen kleiner Strahlendosen
- Spätwirkungen nach Ganz- und Teilkörperbestrahlungen
- Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei der Entstehung bösartiger Geschwülste
- Zusammenwirken von Strahlung und anderen Umwelttoxinen (Synergismus)
- Aufnahme, Verteilung, Anreicherung und Ausscheidung radioaktiver Stoffe
- Wirkungen auf das keimende Leben im Mutterleib.

Strahlenwirkungen auf die Bevölkerung in Form eines vermehrten Auftretens von Krebserkrankungen verschiedenster Art sind ausschließlich durch zuverlässige, statistische Gesetzmäßigkeiten berücksichtigende epidemiologische Untersuchungen nachweisbar oder auszuschließen. Wegen der Vielzahl anderer Umwelt- und sonstiger Einflüsse, welche die Krebshäufigkeit ebenfalls beeinflussen, erlauben nur flächendeckende Krebsregister zweckdienliche Vergleichsuntersuchungen. Voraussetzungen für ihren Ausbau werden gegenwärtig geschaffen. Erhebliche Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Datenschutzproblemen, Harmonisierung bestehender mit geplanten Registern auch anderer primärer Zweckrichtung an Krankenhäusern und Krebszentren, Fragen einer eventuellen Meldepflicht für Krebserkrankungen, ohne die nach Auffassung mancher Experten eine Flächendeckung nicht möglich sein wird, und auch Fragen der Finanzierung nötigen zu langwierigen Abstimmungen zwischen den beteiligten Ressorts sowie mit Ländern und Verbänden. So werden bis zur Verfügbarkeit und Auswertung von flächendeckenden Krebsregistern noch einige Jahre vergehen. Als Zwischenlösung wurde deshalb eine Auswertung der amtlichen Todesursachenstatistik nach regionalen Gesichtspunkten begonnen. Eine Pilotstudie an beruflich strahlenexponierten Personen soll klären, ob sich bei dieser Personengruppe irgendwelche Hinweise auf ein erhöhtes Erkrankungsrisiko an Krebs ergeben.

Der Grundsatz von Abwägung und Risiko einer Strahlenanwendung unter Berücksichtigung des Prinzips „so gering wie möglich“ ist auch bei medizinischen Maßnahmen, insbesondere bei denen, die zur Erkennung von Erbkrankheiten angewandt werden, erforderlich. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat deshalb Untersuchungen angeregt, um die Wirksamkeit diagnostischer Verfahren zu bestimmen, die

- das diagnostische Denken des Arztes
- die beabsichtigte Versorgung und Behandlung des Patienten
- den Gesundheitszustand eines Patienten
- die Gesundheit der Bevölkerung

beeinflussen, und um den Wirkungsgrad solcher Untersuchungen festzulegen. Damit sollte sich sowohl die Anordnung zur Untersuchung als auch der Umfang nach dessen klinischen Erfordernissen richten. Von besonderer Bedeutung sind dabei Kontrollen zur Sicherstellung der Qualität der Untersuchungen, um die Zahl der nicht verwertbaren Ergebnisse auf ein Minimum zu reduzieren.

Bei Vorsorgeuntersuchungen muß in regelmäßigen Zeitabständen überprüft werden, ob der medizinische Nutzen des diagnostischen Ergebnisses mit dem strahlenbedingten Risiko sowie wirtschaftlichen und sozialen Faktoren in einem zu verantwortenden Verhältnis steht. In der Röntgendiagnostik wird diese Forderung durch eine strenge Indikationsstellung zur Untersuchung, durch die Auswahl der geeignetsten Untersuchungsmethodik und die Verwendung strahlensparender Aufzeichnungssysteme erreicht. Außerdem sollte vom Betreiber

durch eine regelmäßige Wartung und Überprüfung der Anlagen gewährleistet werden, daß die erforderliche Information nicht durch Störungen an der Anlage mit Dosiswerten erhalten wird, die nicht den geforderten Minimalwerten entsprechen.

In der Nuklearmedizin sind zur Vermeidung unnötiger Strahlenexpositionen von Patient und Umwelt vorwiegend kurzlebige Radionuklide einzusetzen. Funktionsuntersuchungen sollten, soweit möglich, mit Laboratoriumsmethoden (in-vitro-Untersuchungen) durchgeführt werden. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang die korrekte Indikationsstellung für die Anwendung von Radionukliden in Diagnostik und Therapie. Deshalb sind bei der ärztlichen Fachkunde hinreichende Kenntnisse auf dem betreffenden Anwendungsgebiet zu fordern.

Die Erfassung und Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus Kernkraftwerken wird nach den Regeln des Kerntechnischen Ausschusses „Messung flüssiger radioaktiver Stoffe zur Überwachung der radioaktiven Ableitungen“ (KTA 1504) und „Messung und Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe, Teil 1: Messung und Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb“ (KTA 1503.1) einheitlich durchgeführt.

Durch die Richtlinie „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ (vgl. Tabelle 30) ist eine bundeseinheitliche Überprüfung der Emissionsmessungen der Betreiber durch unabhängige Sachverständige sichergestellt.

Eine wichtige Maßnahme im Rahmen der Erfassung der Abgaben radioaktiver Stoffe stellt die in Aussicht genommene Einrichtung von bundeseinheitlichen Emissionskatastern dar. Sie kann die Aufsicht über Abgaben radioaktiver Stoffe und die Ermittlung der radiologischen Vorbelastung an bestimmten Standorten wesentlich erleichtern. Zur Vorbereitung der Einführung bundeseinheitlicher Emissionskataster wurde im Stadtgebiet von Berlin eine Pilotstudie durchgeführt. Eine weitere Pilotstudie für das Nahegebiet hat gezeigt, daß in derartig EDV-geführten Katastern auch ohne großen Mehraufwand weitere für die Aufsicht über den Umgang mit radioaktiven Stoffen wichtige Informationen gespeichert werden können. Auf der Basis dieser Erfahrungen müssen nunmehr mit den zuständigen Landesbehörden weitere Maßnahmen abgestimmt werden.

Die Einrichtung derartiger Kataster in allen Bundesländern erfordert sehr arbeitsintensive Vorbereitungen und dürfte daher einige Jahre in Anspruch nehmen.

Ergänzende Untersuchungen zur Verbesserung der Probenahme, zur Störfalltauglichkeit der Emissionsüberwachung, bezüglich potentieller anderer Emissionswege und der Auswirkung von Kurzzeitabgaben sind erforderlich.

Der Umfang bundeseinheitlich einzuführender Fernüberwachungssysteme für Kernkraftwerke wurde in Abstimmung mit dem Länderausschuß für

Atomkernenergie festgelegt. Danach soll sich die Fernüberwachung auf die

- Emissionsüberwachung
- Immissionsüberwachung
- meteorologische Datenerfassung und den
- Reaktorbetrieb (Ja/Nein-Aussage)

erstrecken. Weitergehende Spezifikationen werden in einer „Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken“ festgelegt und sollen Mitte 1980 im Länderausschuß für Atomkernenergie verabschiedet werden. Die Einrichtung der Fernüberwachungssysteme soll schrittweise entsprechend den Fortschritten noch durchzuführender Entwicklungsaufträge erfolgen.

Die sinngemäße Anwendung der Richtlinie zur Erfassung und Kontrolle der Emission radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken auf andere kerntechnische Anlagen ist vorgesehen. Auch bei den übrigen Emittenten sollen die Bilanzierung der Abgabe radioaktiver Stoffe verbessert und die Anforderungen an die Messungen der Emissionsüberwachung vereinheitlicht werden.

Die am 1. April 1977 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung enthält eine Vielzahl von Bestimmungen, die den Zweck haben, vor allem die Strahlenexposition der beruflich strahlenexponierten Personen sowie der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen so ge-

ring wie möglich zu halten. Damit diese Verordnung in den Bundesländern nach einheitlichen Grundsätzen durchgeführt wird, wurden eine Reihe von Durchführungsrichtlinien erarbeitet (vgl. Tabelle 30).

Bei einer Novellierung der Strahlenschutzverordnung ist die Einführung eines Strahlenpasses für alle beruflich strahlenexponierten Personen in Aussicht genommen. Bisher ist der Besitz eines Strahlenpasses nur für diejenigen Personen vorgeschrieben, die etwa für Wartungs- und Reparaturdienstleistungen häufig in fremden Anlagen oder Einrichtungen tätig sind.

Die Strahlenschutzüberwachung der beruflich strahlenexponierten Personen in kerntechnischen Anlagen und beim sonstigen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen wird durch den Einsatz von elektronischen Datenverarbeitungstechniken intensiviert. Die Vorarbeiten für die Errichtung eines zentralen Personendosisregisters werden weitergeführt.

Der Gesamtbetrag der künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung wird sich jedoch nur dann verringern lassen, wenn es gelingt, den hohen Beitrag der durch die medizinischen Maßnahmen bedingten Strahlenexpositionen herabzusetzen. Dies wird sich auch nach Ansicht verschiedener internationaler Organisationen im Laufe der Zeit erreichen lassen.

Erläuterung der benutzten Fachausdrücke

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Größe, die die Zahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes angibt
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	Neue Einheit der Aktivität $1 \text{ Becquerel (Bq)} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Curie} = 27 \text{ Pikocurie}$
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Gasen in der Atmosphäre (wörtlich: durch Untertauchen in eine Wolke)
Curie	Alte Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie (Ci) liegt vor, wenn 37 Mrd. Atomkerne je Sekunde zerfallen
Dekontamination	Beseitigung von radioaktiven Verunreinigungen
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Energiedosis	Absorbierte Strahlungsenergie je Masseneinheit
Fall-out	Radioaktiver Niederschlag aus kleinsten Teilchen in der Atmosphäre, die bei Kernwaffenversuchen entstanden sind
Gammastrahlung	Sehr kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die z. B. beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt wird
Gammastrahlung	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Gasen in der Atmosphäre (wörtlich: durch Untertauchen in eine Wolke)
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer Bestrahlung des ganzen Körpers
Genetisch signifikante Dosis	Summe der mit dem genetischen Bedeutungsfaktor multiplizierten Keimdrüsensdosen, geteilt durch die Gesamtzahl der von der Bestrahlung betroffenen Personen. Die genetisch signifikante Dosis ermöglicht eine Beurteilung der Wirkung auf die Erbsubstanz
Gray	Neue Einheit der Energiedosis $1 \text{ Gray (Gy)} = 100 \text{ Rad}$
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
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische oder Teilchenstrahlungen, die die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Abart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Joule/kg	Neue Einheit der Energiedosis bzw. der Äquivalentdosis $1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ Rad}$ $1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ rem}$
Keimdrüsensdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über die Keimdrüsen
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum

Median	sow. Zentralwert
Mikrowellenklystron	Elektronenröhre zur Erzeugung von elektromagnetischen Wellen sehr hoher Frequenz (Mikrowellen)
Millirem	Alte Einheit der Äquivalentdosis 1 Millirem (mrem) = 0,001 Rem (rem)
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosisleistung	Äquivalentdosis an einem bestimmten Ort während einer bestimmten Zeitdauer, geteilt durch die Zeitdauer
Rad	Alte Einheit der Energiedosis 1 Rad (rad) = 100 erg/g
radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft mancher chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung dauernd Strahlung auszusenden
Radiographiegerät	Gerät zur zerstörungsfreien Durchstrahlungsprüfung von Materialien mittels Radionuklide
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Rem	Alte Einheit der Äquivalentdosis 1 Rem (rem) = 1000 Millirem (mrem)
Röntgen	Alte Einheit der Ionendosis 1 Röntgen (R) = 258 $\mu\text{C/kg}$ = 1 000 000 Mikroröntgen (μR)
Stochastisch	Zufallsabhängig
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlichen radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Thyratron	Durch ein Gitter steuerbarer Quecksilberdampfgleichrichter
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet. Trinkwasser enthält natürlicherweise 6 — 24 Pikocurie durch die kosmische Strahlung erzeugtes Tritium pro Liter.
Zentralwert	Mittelwert, der ebensoviel kleinere Werte unter sich hat wie größere Werte über sich

Abbildung 1

Häufigkeitsverteilung der terrestrischen Komponente der natürlichen Strahlenexposition für die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland

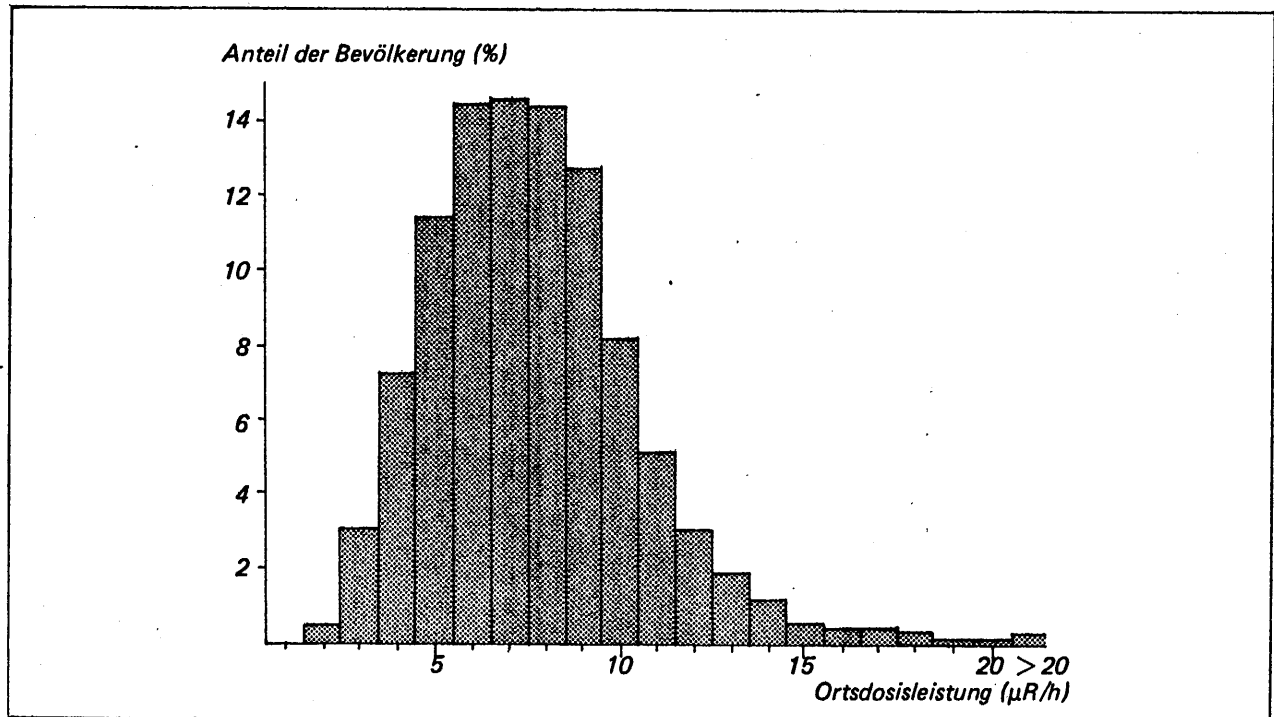


Abbildung 2

Bruttostromerzeugung (MWa) sowie die auf die Bruttostromerzeugung bezogenen Abgaberaten an Edelgasen (Ci/MWa) und Jod 131 (mCi/MWa) mit der Abluft der Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland (ohne Kernforschungszentren) in den Jahren 1967 bis 1978

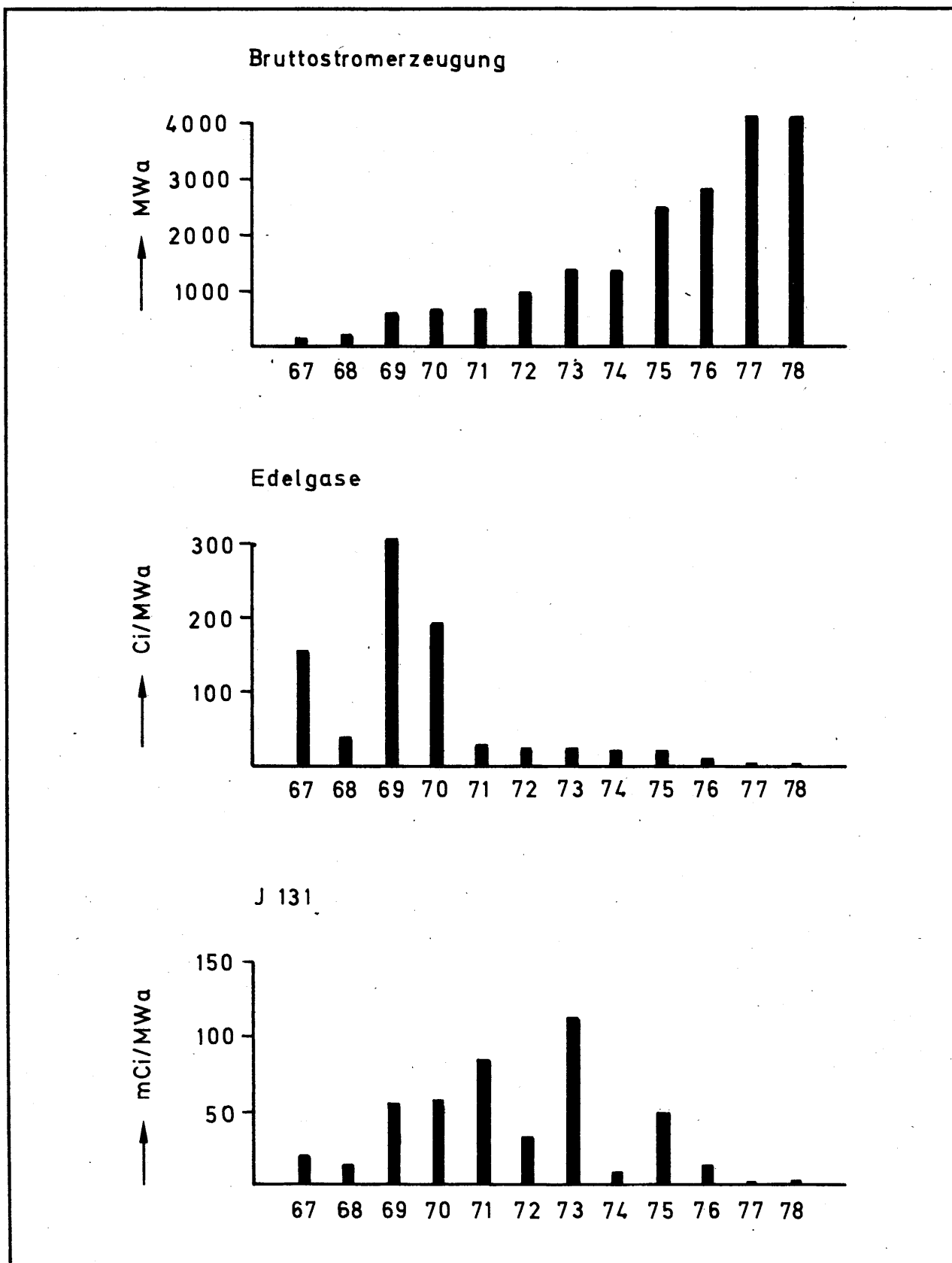


Abbildung 3

Anzahl von Applikationen offener radioaktiver Stoffe in Berlin (West) pro Jahr (Gesamtzahl: linke Ordinate; Anzahl pro 1 000 Einwohner: rechte Ordinate) und jährliche durchschnittliche Zuwachsraten (%) der Anzahl dieser Applikationen

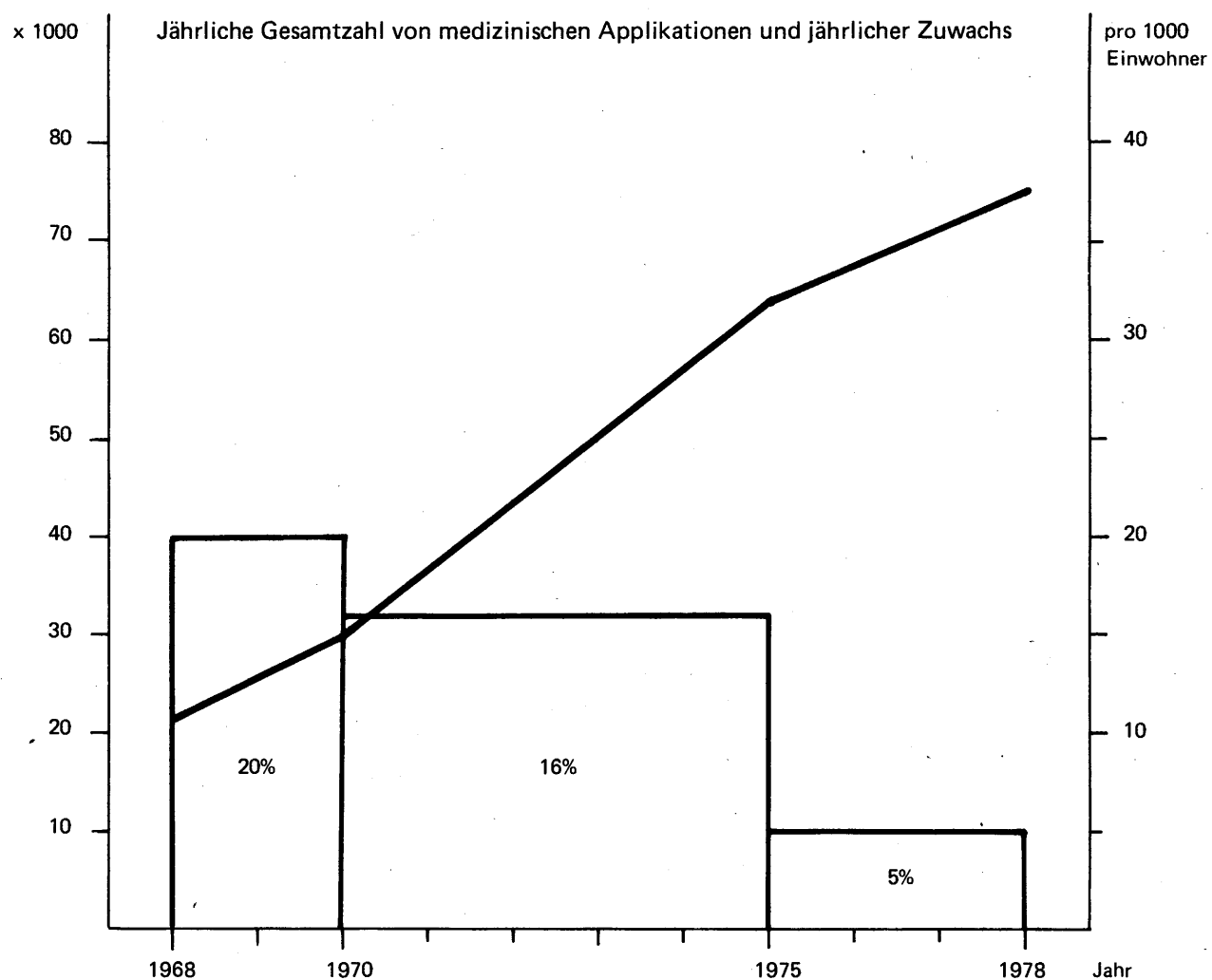


Abbildung 4

Anzahl der Radiojodtests in Berlin (West) pro Jahr (Gesamtzahl: linke Ordinate; Anzahl pro 1 000 Einwohner: rechte Ordinate) und jährliche durchschnittliche Änderungsrate der Anzahl von Radiojodtests

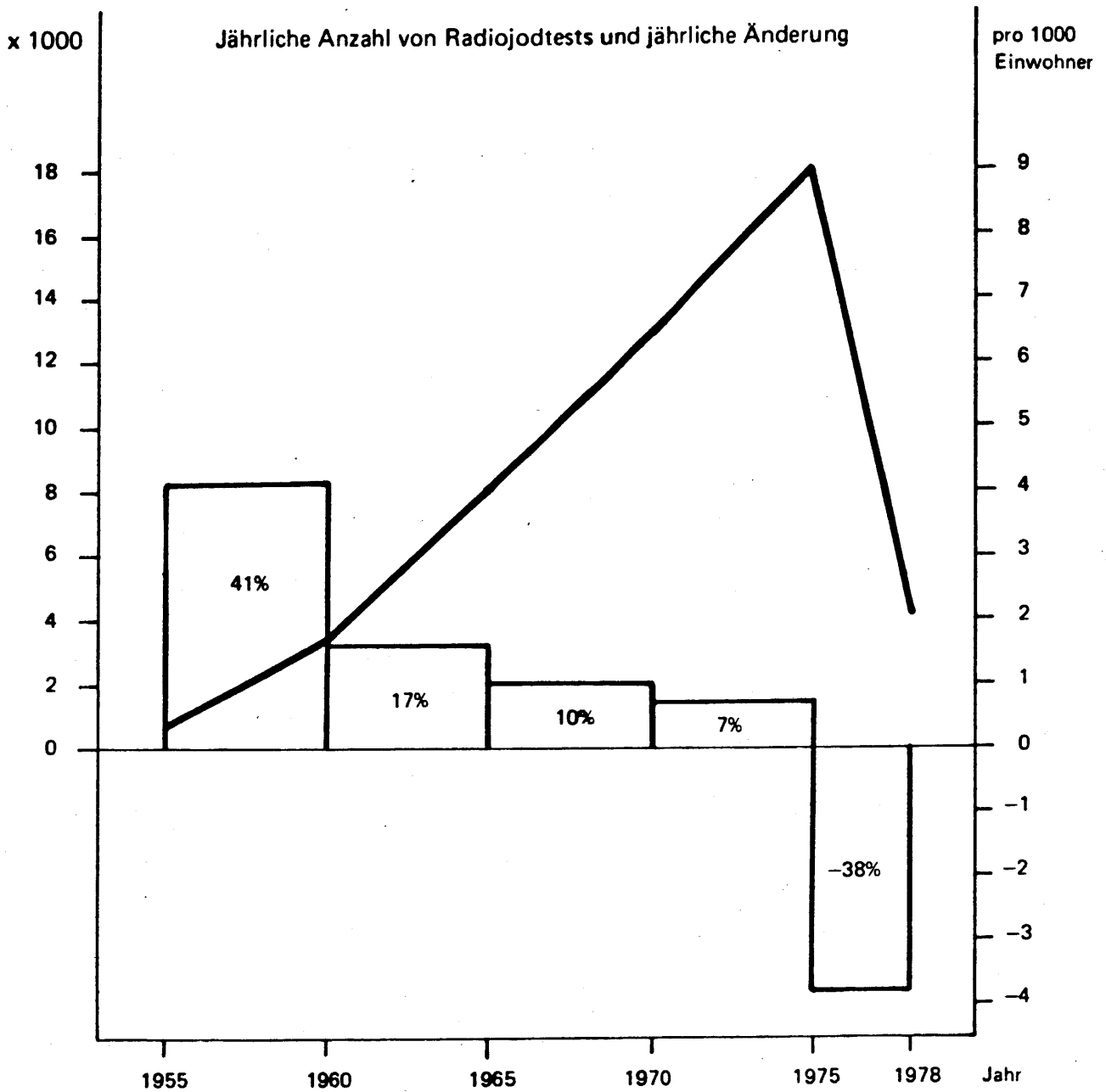


Abbildung 5

Jod 131 Konzentrationswerte im Niederschlag nach dem Kernwaffenversuch der Volksrepublik China am 15. März 1978 (Messungen des Deutschen Wetterdienstes)

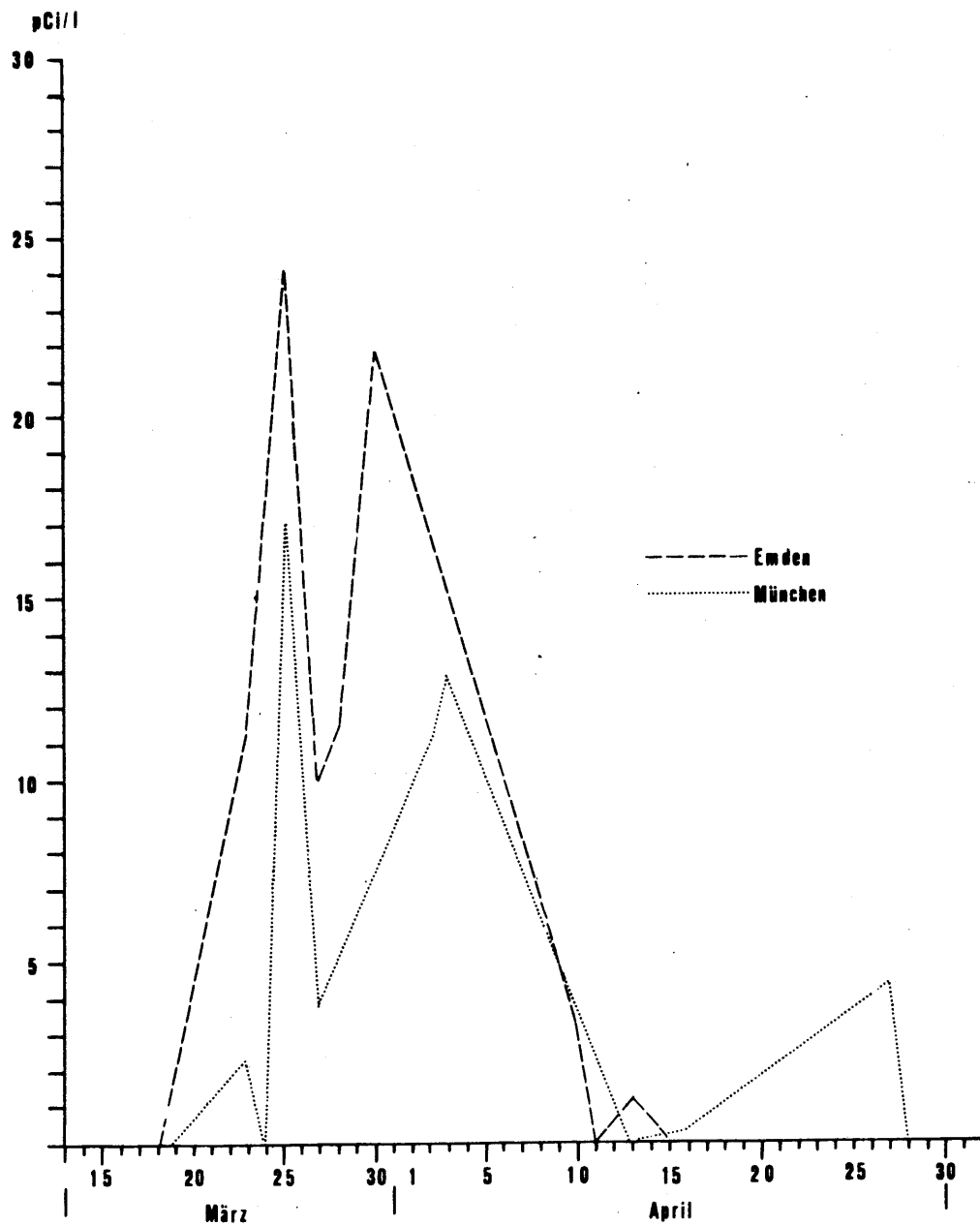


Tabelle 1

**Genetisch signifikante Strahlenexposition der Bevölkerung
in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1978**

1	Natürliche Strahlenexposition		ca. 110 mrem/a
1.1	durch kosmische Strahlung in Meereshöhe	ca. 30 mrem/a	
1.2	durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 50 mrem/a	
	bei Aufenthalt im Freien	ca. 43 mrem/a	
	bei dauerndem Aufenthalt in Häusern	ca. 57 mrem/a	
1.3	durch inkorporierte radioaktive Stoffe	ca. 30 mrem/a	
2	Künstliche Strahlenexposition		ca. 60 mrem/a
2.1	durch kerntechnische Anlagen	< 1 mrem/a *)	
2.2	Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Forschung und Technik	< 2 mrem/a	
2.2.1	durch technische Strahlenquellen	< 1 mrem/a	
2.2.2	durch Industrieerzeugnisse	< 1 mrem/a	
2.2.3	durch Störstrahler	< 1 mrem/a	
2.3	beruflich strahlenexponierte Personen (Beitrag zur mittleren Strahlenexposition des Menschen)	< 1 mrem/a	
2.4	durch Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin	ca. 50 mrem/a	
2.4.1	Röntgendiagnostik	ca. 50 mrem/a	
2.4.2	Strahlentherapie	< 1 mrem/a	
2.4.3	Nuklearmedizin	ca. 2 mrem/a	
2.5	Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse ..	0	
2.6	durch Fall-out von Kernwaffenversuchen	< 1 mrem/a	
2.6.1	von außen im Freien unabgeschirmt	< 1 mrem/a	
2.6.2	durch inkorporierte radioaktive Stoffe	< 1 mrem/a	

*) Das Zeichen < bedeutet „kleiner als“.

Gegenüber dem Jahr 1977 haben sich keine Änderungen ergeben.

Tabelle 2

Natürliche radioaktive Stoffe (nCi/kg) in verschiedenen Gesteinen und im Boden
(nach NCRP Report No. 45)

	Kalium 40	Radium 226	Thorium 232
Eruptivgestein:			
Basalt (Mittelwert)	7	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Granit (Mittelwert)	> 30	1	3
Sedimentgestein:			
Schiefer	22	1	1,3
Sandsteine:			
reiner Quarz	> 8	< 0,3	< 0,2
verunreinigter Quarz	≈ 10	≈ 1	≈ 0,3 – 0,7
Kaolin	16 – 24	≈ 0,3 – 0,7	≈ 2
Strandsand	< 8	1	0,7
Kalkstein	2	0,7	0,2
Boden	12	0,6	1

Tabelle 3

Natürliche radioaktive Stoffe (nCi/kg) in verschiedenen Baustoffen

(nach BMI-Bericht 1978)

	Kalium 40	Radium 226	Thorium 232
Natursteine:			
Granit	17—96	0,8—13	1,3—5,2
andere Erstarrungsgesteine	<0,2—24	<0,2— 5,5	<0,2—6,5
Schiefer	14—31	0,8— 1,8	1,1—1,8
Kalkstein, Marmor	<1— 6	<0,2— 0,7	<0,1—0,6
Sandstein, Quarzit	<1—31	<0,5— 1,7	<0,5—1,8
Ziegel, herkömmliche Art	4—69	0,5— 3,1	<0,5—5
Betonsteine:			
Bimszuschlag	13—53	0,7— 4,8	1,0—6,8
Ziegelsplitt-Zuschlag	11—15	0,8— 1,9	0,7—3,0
Schlacke-Zuschlag	8—25	0,6—20	0,6—5,6
Kalksandstein, Gasbeton	<1—21	<0,2— 2,0	<0,2—1,5
Zuschläge und Zusätze:			
natürlicher Sand und Kies	<1—18	<0,1— 0,8	<0,1—1,6
Blähton und Blähschiefer	2—22	<0,5— 1,8	0,8—2,5
Hochofenschlacke	5—31	1,2— 5,9	0,8—8,1
Flugasche	9—30	2,2—10,5	1,6—6,9
Bindemittel:			
Portlandzement	3—19	0,3— 1,3	0,3—0,9
Hüttenzement	<1— 6	0,7— 2,5	0,7— 3,2
Tonerdeschmelzzement	—	2,7— 5,3	3,5—5,2
Kalk	<1—16	<0,2— 1,5	<0,2—1,2
Naturgips	<1— 5	<0,1— 2,0	<0,1—0,3
Chemiegips (Apatit)		1,0— 2,0	
(Phosphorit)	<1— 8	8,1—29,7	<0,1—3,8
Fertigmörtel, Fertigputz	<1—12	<0,1— 2,9	<0,1—2,6

Tabelle 4

**Durch terrestrische Strahlenexposition von außen bedingte Keimdrüsendosis
in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland**
(mrem/Jahr)

Land	Werte im Freien			Werte in Wohnungen *)		
	Mittel	Maximal	Minimal	Mittel	Maximal	Minimal
Baden-Württemberg	45	165	11	57	134	11
Bayern	50	291	14	61	243	14
Berlin	42	133	22	50	129	17
Bremen	30	45	20	38	65	18
Hamburg	40	86	22	40	77	21
Hessen	43	108	7	65	144	24
Niedersachsen	34	80	7	47	122	12
Nordrhein-Westfalen	42	118	4	55	154	14
Rheinland-Pfalz	49	90	22	74	180	23
Saarland	57	114	22	87	158	28
Schleswig-Holstein	37	57	13	43	124	19
Gesamt	43	291	4	57	243	11

*) Wohnungsmittelwerte aus allen Räumen einer Wohnung

Tabelle 5

Strahlenexposition des Menschen durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe in mrem/Jahr
(nach UNSCEAR 1977)

	Gonaden	Knochen		Lunge
		Endost/Periost	rotes Knochenmark	
Tritium	0,001	0,001	0,001	0,001
Kohlenstoff 14	0,5	2,0	2,2	0,6
Kalium 40	12	15	27	17
Polonium 210 Nichtraucher	12	60	14	6
Polonium 210 Raucher	16	80	18	18
Radium 226	0,6	14	1,8	0,6
(einschl. 1/3 kurzlebige Folgeprodukte)				
Radium 228 (einschl. Folgeprodukte)	1,2	22	3,6	1,2
Gesamt	26 – 30	113 – 133	48 – 53	25 – 37

Tabelle 6

Radium 226 in verschiedenen Wasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland

Wasservorkommen	Anzahl der Proben	Konzentration (pCi/l)		
		Minimum	Maximum	Median ¹⁾
Trinkwasser	363	<0,05	3,7	0,1
Mineralwässer (im Handel)	21	0,10	15	2
Brunnen und Quellen	7	0,06	11	— ²⁾
Oberflächenwasser	28	<0,05	0,65	0,1

¹⁾ Wegen der großen Streuung und der großen Häufigkeit niedriger Konzentrationen wird nicht das arithmetische Mittel, sondern der Median angegeben. 50 % der Meßwerte sind niedriger als der Median.

²⁾ Wegen geringer Probenzahl keine Angabe.

Tabelle 7

Natürlich radioaktive Stoffe in Flugasche (Mittelwerte)

in nCi/kg

Kraftwerk	Radionuklide	Aktivitätskonzentration
a) nach Messungen der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH Steinkohlekraftwerke	Kalium 40	23
	Uran 238/Thorium 234 *)	8,8
	Radium 226/Blei 214/Wismut 214 *)	6,4
	Blei 210	64
	Polonium 210	108
	Actinium 228/Blei 212/Titan 208 *)	3,0
Braunkohlekraftwerke	Kalium 40	7,6
	Uran 238/Thorium 234 *)	2,8
	Radium 226/Blei 214/Wismut 214 *)	1,4
	Blei 210	2,4
	Polonium 210	4,8
	Actinium 228/Blei 212/Titan 208 *)	1,0
b) nach Gammamessungen des Bundesgesundheitsamtes Steinkohlekraftwerk	Kalium 40	18
	Radium 226	6,8
	Thorium 232	2,9
Braunkohlekraftwerk	Kalium 40	9,8
	Radium 226	1,6
	Thorium 232	0,8

*) radioaktives Gleichgewicht in der Probe angenommen

Tabelle 8

**Berechnete mittlere Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus Steinkohlekraftwerken
(1 000 MW) und Braunkohlekraftwerken (1 000 MW)**

in Millicurie/Jahr

Radionuklid	Steinkohlekraftwerk	Braunkohlekraftwerk
Uran 238	10	3
Uran 234	10	3
Thorium 230	10	2
Radium 226	10	2
Blei 210	100	3
Polonium 210	150	5
Thorium 232	5	1
Thorium 228	5	1

Tabelle 9

Übersicht über die Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland

(Stand: 31. Dezember 1978)

Kernkraftwerk	Typ ¹⁾	Jahr der Inbetriebnahme	Elektrische Bruttoleistung (MW)	Bruttostrom- erzeugung 1978 (MW)
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	1961	16	6
Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe	D ₂ O-DWR	1965	58	50
Kernkraftwerk Gundremmingen	SWR	1966	252	0
Versuchskernkraftwerk AVR Jülich ...	HTR	1968	15	0
Kernkraftwerk Lingen	SWR	1968	268	0
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	1969	345	267
Kernkraftwerk Stade	DWR	1972	662	630
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	1972	670	326
Kernreaktoranlage KNK-Karlsruhe	NaR	1973	21	1
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1974	1 204	859
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1976	1 300	696
Kernkraftwerk Neckarwestheim	DWR	1976	855	601
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	1976	806	278
Kernkraftwerk Isar	SWR	1977	907	282
Kernkraftwerk Unterweser	DWR	1978	1 300	98

- ¹⁾ SWR — Leichtwasser Siedewasserreaktor
DWR — Leichtwasser-Druckwasserreaktor
D₂O-DWR — Schwerwasser-Druckwasserreaktor
HTR — gasgekühlter Hochtemperaturreaktor
NaR — natriumgekühlter Reaktor

Tabelle 10

Übersicht über die Forschungsreaktoren ¹⁾ in der Bundesrepublik Deutschland

(Stand: 31. Dezember 1978)

Standort	Betreiber	Bezeichnung	Jahr der Inbetriebnahme	thermische Leistung ²⁾ (MW)
Berlin	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung GmbH	BER II	1973	5
Braunschweig	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	FMRB	1967	1
Garching	Technische Universität München	FRM	1957	4
Geesthacht	Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH	FRG 1	1958	5
		FRG 2	1963	15
Hannover	Medizinische Hochschule	FRH	1973	0,25
Heidelberg	Deutsches Krebsforschungszentrum	HD II	1978	0,25
Jülich	Kernforschungsanlage Jülich GmbH	FRJ 1	1962	10
		FRJ 2	1962	23
Karlsruhe	Gesellschaft für Kernforschung mbH	FR 2	1961	44
Mainz	Universität Mainz	FRMZ	1965	0,1
Neuherberg	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH	FRN	1972	1

¹⁾ ausgenommen Nulleistungsreaktoren²⁾ im Dauerbetrieb

**Jahresabgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken^{1) 2)}
im Jahr 1978 in Curie**

(Jahresabgaben im Jahre 1977 in Klammern)

Kernkraftwerk	Abluft				
	Edelgase	Aerosole ³⁾	Jod 131	C14	Tritium
Kahl.....	70 (130)	<0,0001 ($<0,0001$)	0,0002 (0,004)	n. b. (0,12)	n. b. (ca. 2)
Gundremmingen .	<230 (<453)	0,001 (0,004)	n. n. (0,005)	0,1 (1,0)	1,1 (6,9)
Lingen.....	<6 (<133)	0,0006 (0,0005)	n. n. ($<0,0014$)	n. n. (0,2)	2,1 (5,3)
Obrigheim	455 (370)	0,004 (0,007)	0,0007 (0,0006)	0,9 (3,0)	26 (23)
Stade	490 (3 320)	0,010 (0,009)	0,004 (0,026)	4,0 (6,0)	27 (16)
Würgassen	3 270 (785)	0,019 (0,015)	0,108 (0,028)	5,4 (6,2)	7,6 (24)
Biblis A	363 (106)	$1 \cdot 10^{-5}$ (0,0015)	0,009 (0,0005)	2,3 (4,8)	51 (16)
Biblis B	1 770 (4 100)	$2 \cdot 10^{-5}$ (0,004)	0,007 (0,0034)	3,8 (4,9)	11 (18)
Neckarwestheim .	112 (1 880)	0,002 (0,012)	0,007 (0,046)	3,0 (4,0)	28 (25)
Brunsbüttel	7 580 (3 130)	0,034 (0,072)	0,048 (0,015)	3,9 (4,3)	6,4 (4,8)
Isar	1 070 (23)	0,004 ($<0,0001$)	n. n. (—)	n. b. (n. b.)	1,5 (—)
Unterweser ⁴⁾	<54	<0,001	n. n.	n. b.	0,084

¹⁾ Die Jahresabgaben von MZFR, KNK und AVR sind in den Abgaberaten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 14)

²⁾ Werte zum Teil gerundet

³⁾ Ohne Jod 131

⁴⁾ Das Kernkraftwerk Unterweser war 1977 noch nicht in Betrieb.

n. b.: nicht bilanziert

n. n.: nicht nachgewiesen

Tabelle 12

**Jahresabgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken¹⁾
im Jahre 1978 in Curie**

(Jahresabgaben im Jahre 1977 in Klammern)

Kernkraftwerk	Spalt- und Aktivierungsprodukt ²⁾ (außer Tritium)	Tritium		Gesamt-Alpha- Aktivität	Sondernuklide ³⁾
Kahl	0,013 (0,021)	12	(19)	—	0,00021 (0,00024)
Gundremmingen	0,53 (1,54)	2,5	(22)	0,000097	0,125 (6,060)
Lingen	0,011 (0,010)	1,9	(2,5)	—	0,00007 (0,00007)
Obrigheim	0,17 (0,20)	130	(116)	0,00058	0,015 (0,036)
Stade	0,10 (0,20)	133	(142)	0,000014	0,0097 (0,023)
Würgassen	0,53 (1,57)	53	(42)	—	0,0058 (0,0082)
Biblis A	0,10 (0,13)	345	(180)	0,000011	0,0078 (0,0061)
Biblis B	0,12 (0,034)	400	(155)	0,000013	0,0086 (0,00049)
Neckarwestheim	0,035 (0,16)	134	(83)	—	0,0059 (0,0059)
Brunsbüttel	1,42 (1,15)	19	(9)	0,000058	0,015 (0,053)
Isar	0,21 (0,038)	4,6	(0,04)	0,00033	0,031 (0,030)
Unterweser	—	0,22		—	—

¹⁾ Die Jahresabgaben von MZFR, KNK und AVR sind in den Abgaberraten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 14).

²⁾ Gammastrahler, Strontium 89 und Strontium 90

³⁾ Phosphor 32, Eisen 55 und Nickel 63

Tabelle 13

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken seit ihrer Inbetriebnahme¹⁾
(in Curie)

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosole	Jod 131	Spalt- und Aktivierungsprodukte	Tritium
Kahl					
1962	19			0,003	
1963	74			0,001	
1964	510			0,002	
1965	360			0,002	
1966	860			0,003	
1967	3 900			0,002	
1968	4 700		0,001	0,003	
1969	1 800		0,007	0,006	
1970	2 900	<5 E-5	0,005	0,07	1,4
1971	2 100	<5 E-5	0,002	0,059	1,6
1972	—	—	—	0,032	1,2
1973	480	<5 E-5	0,002	0,010	1,7
1974	990	ca. 0,001	0,003	0,006	7,9
1975	380	n. b.	0,001	0,007	7,9
1976	300	<0,001	0,003	0,009	27
1977	130	<0,0001	0,004	0,021	19
1978	70	<0,0001	0,0002	0,013	12
Gundremmingen					
1967	15 900	0,002	0,033	2,8	26
1968	3 300	0,003	0,037	2,1	24
1969	11 400	0,008	0,36	1,6	20
1970	7 300	0,074	0,20	1,5	31
1971	6 500	0,049	0,34	1,9	37
1972	11 000	0,015	0,19	2,0	78
1973	23 700	0,018	1,96	1,6	150
1974	4 100	0,002	0,12	1,0	220
1975	7 400	0,008	0,25	1,0	120
1976	5 300	0,005	0,35	1,3	53
1977	< 453	0,004	0,005	1,54	22
1978	< 230	0,001	—	0,53	2,5
Lingen					
1969	160 000			0,65	26
1970	110 000		0,26	0,61	32
1971	8 700		0,38	0,38	46
1972	5 100		0,15	0,045	24
1973	2 600		0,016	0,024	15
1974	9 500	0,006	0,002	0,014	9
1975	35 000	0,01	1,3	0,045	16
1976	6 400	0,0005	0,050	0,031	15
1977	< 133	0,0005	<0,0014	0,010	2,5
1978	< 6	0,0006	—	0,011	1,9

¹⁾ Werte zum Teil gerundet

noch Tabelle 13

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosole	Jod 131	Spalt- und Aktivierungsprodukte	Tritium
Obrigheim					
1969	5 600	<0,013	0,063	10,5	240
1970	7 700	<0,014	0,045	3,2	380
1971	1 500	0,053	0,015	4,4	255
1972	3 200	0,089	0,006	4,6	240
1973	2 900	0,033	0,005	2,2	330
1974	13 500	0,023	0,005	2,1	150
1975	8 000	0,026	0,012	1,8	150
1976	340	0,008	0,0002	1,2	144
1977	370	0,007	0,0006	0,20	116
1978	455	0,004	0,0007	0,17	130
Stade					
1972	2 400	0,012	0,047	0,32	97
1973	2 600	0,022	0,043	0,37	110
1974	890	0,014	0,011	0,15	32
1975	1 300	0,03	0,010	0,13	114
1976	10 500	0,007	0,020	0,24	45
1977	3 320	0,009	0,026	0,20	142
1978	490	0,010	0,004	0,10	133
Würgassen					
1972	590	<0,001	<1 E-4	0,18	3
1973	560	<0,001	<1 E-4	0,45	6
1974	52	0,013	<7 E-4	0,99	4
1975	120	0,011	0,001	0,89	4
1976	480	0,017	0,046	1,1	25
1977	785	0,015	0,028	1,57	42
1978	3 270	0,019	0,108	0,53	53
Biblis A					
1974	50	4 E-4	6 E-5	0,38	8
1975	1 700	0,006	0,005	0,38	110
1976	1 150	0,028	0,013	0,20	320
1977	106	0,0015	0,0005	0,13	180
1978	363	1 E-5	0,009	0,10	345
Biblis B					
1976	300	0,002	0,010	0,26	22
1977	4 100	0,004	0,0034	0,034	155
1978	1 770	2 E-5	0,007	0,12	400
Neckarwestheim					
1976	520	0,0005	0,002	0,21	5
1977	1 880	0,012	0,046	0,16	83
1978	117	0,005	0,007	0,035	134
Brunsbüttel					
1976	970	0,007	2 E-5	0,63	2
1977	3 130	0,072	0,015	1,15	9
1978	7 580	0,034	0,048	1,42	19
Isar					
1977	23	<0,0001	—	0,038	0,04
1978	1 070	0,004	—	0,21	4,6
Unterweser					
1978	<54	<0,001	n. n.	—	0,22

E-4 = 10⁻⁴

Tabelle 14

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus Kernforschungszentren im Jahre 1978 (in Curie)

(Jahresabgaben im Jahre 1977 in Klammern)

Kernforschungszentrum	Abluft							Abwasser		
	Edelgase	Aerosole	Jod 131	Jod 129	Tritium	Kohlenstoff 14	Strontium 90	Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium)	Tritium	Alphastrahler
Kernforschungszentrum-Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	98700 (193600)	0,2 ¹⁾ (0,61) ¹⁾	<0,0029 (<0,0068)	<0,0059 (0,0028)	2212 (1767)	n. b. (<10)	<0,014 (0,021)	0,014 (0,017)	2300 (3975)	0,0015 ²⁾ (0,0004) ²⁾
Kernforschungsanlage Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	318 (483)	27 ³⁾ (59) ³⁾	0,0097 (0,00062)	— —	600 (113)	<2 (<1)	2·10 ⁻⁶ (7·10 ⁻⁶)	0,109 (0,187)	213 (159)	0,0011 (0,0015)

¹⁾ davon maximal 0,005 (0,0035) Curie Alphastrahler²⁾ Plutonium 238 und Plutonium 239/240³⁾ davon mehr als 99 % kurzlebig (Halbwertszeit <8 Tage)

Tabelle 15

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahre 1978

(Jahresabgaben im Jahre 1977 in Klammern)

Betrieb	Abluft	Abwasser
ALKEM GmbH (Hanau)	<0,5 µCi (ca. 0,5 µCi)	4,8 µCi (2,8 µCi)
NUKEM GmbH (Hanau)	0,39 mCi (0,48 mCi)	52 mCi (65 mCi)
Reaktor-Brennelement Union GmbH Werk I (Hanau)	3,03 mCi (2,92 mCi)	290 mCi (540 mCi)
Werk II (Karlstein)	12,6 µCi (<0,03 mCi)	5,5 mCi (10 mCi)

Tabelle 16

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus Forschungsreaktoren¹⁾ 1977

Forschungsreaktoren	Abluft				Abwasser	
	Edelgase	Aerosole	Jod 131	Tritium	Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium)	Tritium
Berlin	23 Ci	<40 mCi	<0,1 mCi	—	4 mCi	—
Braunschweig ...	<269 Ci	<0,24 µCi	—	<0,8 Ci	78 µCi	<9,5 mCi
Garching	20 Ci	—	—	140 mCi	2,4 mCi	54,4 mCi
Geesthacht	265 Ci	—	1,3 mCi	—	30 mCi	390 mCi
Hannover	103 mCi	—	—	—	≤5 µCi	—
Heidelberg ²⁾	<0,2 Ci	—	—	—	—	—
Mainz	1,55 Ci	—	—	—	57,8 µCi	—
Neuherberg	<300 Ci	—	—	—	0,3 mCi ³⁾	—

¹⁾ Die Jahresabgaben von FR 2, FRJ 1 und FRJ 2 sind in den Abgaberaten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 14).

²⁾ HD I, stillgelegt am 31. 03. 1977

³⁾ Phosphor 32 und Schwefel 35 aus radiochemischen Labors

Tabelle 17

Maximale Strahlenexposition¹⁾ im Jahr 1978 für einzelne Expositionspfade in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft
(in Millirem/Jahr)

Expositionsart	äußere Bestrahlung		innere Bestrahlung	
Expositionspfade	Ganzkörper Erwachsener Gammastrahlung aus Abluftfahne	Ganzkörper Erwachsener Gammastrahlung aus Ablagerung am Boden	Ganzkörper Erwachsener aus gesamter Ingestion und Inhalation ²⁾	Schilddrüse Kleinkind aus gesamter Ingestion und Inhalation ³⁾
Kernkraftwerk				
Kahl	0,02	<0,01	<0,01	0,2
Gundremmingen	0,05	0,02	<0,01	0,01
Lingen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Obrigheim	0,06	0,06	0,05	0,3
Stade	0,05	<0,01	<0,01	0,1
Würgassen	0,6	0,01	0,2	50 ⁴⁾
Biblis A	0,06	<0,01	0,01	1
Biblis B				
Neckarwestheim	0,01	<0,01	0,01	2
Brunsbüttel	0,8	<0,01	0,02	6
Isar	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
Unterweser	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

¹⁾ berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

²⁾ berechnet unter der Annahme, daß die Gesamtnahrung am ungünstigsten Aufpunkt erzeugt wird

³⁾ Annahme eines Milchverzehrs von 0,8 Liter pro Tag aus dem Hauptbeaufschlagungsgebiet, sowie Annahme, daß die Hälfte des Jodes in elementarer Form vorliegt.

⁴⁾ im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführte Messungen in Milch ergeben einen Höchstwert von 2 mrem/a

Tabelle 18

Maximale Strahlenexposition und mittlere Strahlenexposition im Jahre 1978 für sämtliche relevanten Expositionspfade in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft (in Millirem/Jahr)

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers Erwachsener über sämtliche relevante Expositionspfade	Mittlere Strahlenexposition des Ganzkörpers Erwachsener für die Bevölkerung im Umkreis von	
		0 bis 3 km	0 bis 20 km
Kahl	0,02	0,001	<0,001
Gundremmingen	0,007	0,003	<0,001
Lingen	<0,01	<0,001	<0,001
Obrigheim	0,2	0,02	0,002
Stade	0,06	0,007	<0,001
Würgassen	0,8	0,04	0,005
Biblis A	0,07	0,01	0,001
Biblis B	0,02	0,003	<0,001
Neckarwestheim	0,9	0,03	0,003
Brunsbüttel	0,06	0,005	<0,001
Isar	<0,01	<0,001	<0,001
Unterweser			

Tabelle 19

Strahlenexposition¹⁾ im Jahre 1978 für einzelne Expositionspfade in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser (in Millirem/Jahr)

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers über				Maximale Strahlenexposition der Knochen über			
	Trinkwasser	Fisch	landwirtschaftliche Produkte	Summe (einschließlich Bestrahlung von außen)	Trinkwasser	Fisch	landwirtschaftliche Produkte	Summe (einschließlich Bestrahlung von außen)
Kahl	<0,01	0,1	<0,01	0,1	<0,01	0,3	<0,01	0,3
Gundremmingen	0,01	0,3	0,03	0,3	0,1	1,1	0,3	1,5 (+0,1) ²⁾
Lingen	<0,01	0,4	<0,01	0,4	<0,01	0,7	<0,01	0,7
Obrigheim	<0,01	0,07	<0,01	0,1	<0,01	0,1	0,01	0,2
Stade	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02 (+0,02) ³⁾
Würgassen	<0,01	0,2	0,01	0,2	<0,01	0,2	0,02	0,3
Biblis A								
Biblis B	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02	<0,01	0,03 (+0,02) ³⁾
Neckarwestheim	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,02 (+0,02) ³⁾
Brunsbüttel	<0,01	0,4	<0,01	0,4	<0,01	0,7	<0,01	0,7
Isar	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01 (0,02) ³⁾	<0,01	<0,01	<0,01	0,01 (0,7) ³⁾

¹⁾ Für Einzelpersonen werden extreme Verzehrsgewohnheiten (z. B. 39 kg Flußfisch pro Jahr, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird) und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

²⁾ Zusätzliche Dosis durch Abgabe von 120 mCi Nickel 63

³⁾ Zusätzliche Dosis (über Flußfisch) durch Abgabe von Phosphor 32

Tabelle 20

**Strahlenexposition im Jahre 1978 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe
radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser (in mrem/a)
(Werte des Jahres 1977 in Klammern)**

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen ¹⁾		Strahlenexposition für Gruppen aus der Bevölkerung ²⁾	
Kahl	0,1	(0,06)	<0,01	(<0,01)
Gundremmingen	0,3	(2)	0,02	(0,1)
Lingen	0,4	(0,1)	<0,01	(<0,01)
Obrigheim	0,1	(0,08)	<0,01	(<0,01)
Stade	0,01	(0,01)	<0,01	(<0,01)
Würgassen	0,2	(0,2)	0,01	(0,02)
Biblis A				
Biblis B	0,02	(<0,01)	<0,01	(<0,01)
Neckarwestheim	0,02	(0,02)	<0,01	(<0,01)
Brunsbüttel	0,4	(0,04)	<0,01	(<0,01)
Isar	0,02	(<0,01)	<0,01	(<0,01)

¹⁾ Für Einzelpersonen werden extreme Verzehrsgewohnheiten (z. B. 39 kg Flußfisch pro Jahr, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird) und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

²⁾ Für die Bevölkerung werden mittlere Verzehr- und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

Tabelle 21

**Strahlenexposition im Jahre 1978 in der Umgebung von Kernforschungszentren
durch die Abgabe von radioaktiven Stoffen mit der Abluft¹⁾ ²⁾**

Kernforschungszentrum	maximale Strahlenexposition (mrem/a) durch				Mittlere Ganzkörperexposition durch Gamma-Submersion (mrem/a) der Bevölkerung im Umkreis von	
	Gamma- Submersion (Ganzkörper- dosis)	Beta- Submersion (Hautdosis)	Alphastrahler Inhalation (Knochendosis)	Radiojod Ingestion (Schilddrüsen- dosis Kleinkind)	0 bis 3 km	0 bis 20 km
Kernforschungs- zentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbei- tungsanlage	10,5	4,1	1,2 ³⁾	2,2	1,0	0,12
Kernforschungs- anlage Jülich (einschließlich Ver- suchsreaktor AVR)	0,12	0,07		2,9	<0,05	<0,001

¹⁾ Ortsdosen; entnommen den Jahresberichten 1978 der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich

²⁾ Maximale Strahlenexposition über Abwasser 1 Millirem/Jahr

³⁾ Über 50 Jahre integrierter Wert

Tabelle 22

**Strahlenexposition im Jahre 1978 in der Umgebung
der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die
Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft
(in Millirem/Jahr)**

Betrieb	Maximale Strahlenexposition ¹⁾ durch Inhalation (Lunge – Kleinkind)
ALKEM GmbH (Hanau)	<0,01
NUKEM GmbH (Hanau)	1
Reaktor-Brennelement Union GmbH	
Werk I (Hanau)	0,5
Werk II (Karlstein)	0,05

¹⁾ Berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

Tabelle 23

**Strahlenexposition im Jahre 1978 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe
durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abwasser (in Millirem/Jahr)**

Betrieb	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen über				Strahlenexposition der Bevölkerung (Ganzkörper) Gesamt
	Trinkwasser	Fisch	landw. Produkte	Gesamt	
ALKEM GmbH (Hanau) ...	<0,01	0,05	<0,01	0,06	<0,01
NUKEM GmbH (Hanau) ..					
Reaktor-Brennelement Union GmbH					
Werk I (Hanau)					
Werk II (Karlstein)					

Tabelle 24

**Radioaktive Stoffe enthaltende Industrieerzeugnisse für Wissenschaft, Technik, Landwirtschaft
und private Haushalte**

Warengruppe	Einzelprodukt	Enthaltene Radionuklide	Nutzen
Gas- und Aerosol-Detektoren	Rauch- und Feuermelder	Ra 226, Am 241	Verhinderung von Brandkatastrophen
Antistatika	Diverse Vorrichtungen für Verhinderung von Aufladungen	Ra 226, Am 241	Beseitigung von Unfallgefahren
Vorrichtungen mit Tritiumgasleuchtrohren	Notbeleuchtungen	H 3	
Elektronische Bauteile und elektrotechnische Geräte	Überspannungsableiter	Pm 147	
	Elektronenröhren	Co 60, Cs 137, Kr 85, H 3	Verbesserung der Funktionssicherheit von Geräten, Energieersparnis
Technische Geräte	Prüfstrahler bzw. Eichstrahler	Ir 192, Co 60, Cs 137, Na 22, C 14, Sr 90, Ba 133, Pb 210, Ra 228	Eichen von Strahlungsmeßgeräten, Strahlenschutz
Wissenschaftliche Instrumente	Dicken- und Dichtemeßgeräte	Co 60, Kr 85, Sr 90, Cs 137, Pm 147, Ti 204, Am 241	Ermöglichen bestimmter Leistungen, Technische Hilfsmittel
	Füllstandsmeßgeräte	Co 60, Cs 137	
	Röntgenfluoreszenzanalysengeräte	H 3, Pm 147, Cd 109, Fe 55, Pu 238	Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Instrumenten
	Gaschromatographen	H 3, Ni 63	
	Geräte für Demonstrationzwecke, z. B. in Schulen	Ra 226	Didaktische Hilfsmittel
Geräte, die Leuchtfarben enthalten	Skalen und Zeiger bei Uhren, Kompassen, Luftfahrzeuginstrumenten	H 3, Pm 147	Optische Hilfsmittel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Glaswaren für den Gerätebau	Optische Gläser, optische Linsen	Th nat	Radioindikatoren zur Überwachung der Herstellung bzw. der Qualität von Produkten
Metallegierungen	Stahl/Thorium-Wolfram/Thorium-Molybdän/Thorium-Magnesium/Thoriumlegierungen	Th nat	
Keramische Gegenstände, Glaswaren	Uranfarben für Kacheln und Porzellane	Natürliches oder abgereichertes Uran	Dekor

Tabelle 25

**Hautoberflächen-, Keimdrüsen- und Knochenmarkdosen für dosisrelevante
Röntgenuntersuchungen bei Erwachsenen (Dosen pro Untersuchung in Rad bzw. Millirad)**

Anwendungsbereich	Hautoberflächendosis (rd)				Keimdrüsen und Knochenmarkdosen (mrd)					
	UNSCEAR 1977		Bundesgesundheitsamt 1978		UNSCEAR 1977			Bundesgesundheitsamt 1978		
	Hautoberflächendosen				Keimdrüsen		Knochenmark	Keimdrüsen		Knochenmark
	Mittelw.	Streubr.	Mittelw.	Streubr.	männl.	weibl.		männl.	weibl.	
Magen-Darm	—	6–25	16	1–130	16	56	420	140	400	700
Gallenblase	2,2	1,5–2,8	4,5	0,5–20	6	24	150	36	540	90
Kontrasteinlauf	21,5	5–26	15,0	5–50	530	700	940	160	1000	610
Abdom.-Übers.	1,2	1,0–1,4	1,2	0,4–15	200*	200*	300*	50	150	60
IV Pyelogramm	3,2	1,7–5,0	6	1–10	330	880	240	310	1000	120
Nierenangiographie	3,3	—	30	—				1240	3000	1000
Lendenwirbels.	4,5	—	3,5	0,8–12	180	620	410	130	300	60
Lumbosacralgel.	5,0	5,0–6,0	3,2	1,0–15,0	100*	180*	100*	600	300	350
Becken	3,3	2,1–4,5	2	0,1–7	310	190	190	200	400	90
Schwangersch.-aufnahme	3,2	2,7–3,8	3,6	0,5–10,0		150*	220*		700	350
Hysterosalpingographie	4,6	—	3,9	1,2–25		590	170		240	450
Herzkatheter	47	—	41	4,0–102,0				1700	3600	9000
Mammographie	6	0,2–7,8	2,5	0,2–10,0					< 10	
Thorax	0,8	0,6–0,9	0,14	0,07–0,25	< 5*	< 5*	54	0,4–1,8	1–6	24

* grobe Schätzwerte

Tabelle 26

**Prozentuale Verteilung der für 1978 ermittelten röntgendiagnostischen
Untersuchungsarten (Bundesgesundheitsamt)
sowie Vergleichswerte für 1976 (Bundesgesundheitsamt) und 1958
(Holthusen, Leetz, Leppin¹)**

	1978	1976	1958
Thorax	33,56	43,30	36,57
Extremitäten	16,72	24,30	6,10
Zähne	11,85		10,65
Schädel	6,73	5,40	5,98
Magen-Darm	6,40	5,0	6,30
Becken	5,04	2,60	0,98
BWS	4,23		1,03
Mammographie	3,57		
Gallenblase, -gänge	2,78	2,90	1,63
HWS	2,43		
Nieren	2,14	3,40	1,40
Abdomenübersicht	2,00		1,00
LWS	1,30	4,60	2,78
Hüfte	1,25		0,76
	100,00		

¹) Die genetische Belastung der Bevölkerung einer Großstadt (Hamburg) durch medizinische Strahlenanwendung (München 1961)

Tabelle 27

Gutachten über die klinische Prüfung eines radioaktiv markierten Arzneimittels

Nummer des Gutachtens	Jahr	Klinische Prüfung bestätigt (+) oder verneint (–)	Zur Markierung verwendetes Nuklid	Appliz. Aktivit. pro Proband	Anzahl der Probanden
1	1976	+	C-14	100 μ Ci	6
2	1977	+	C-14	80 μ Ci	5
3	1977	+	C-14	100 μ Ci	10
4	1977	+	C-14	100 μ Ci	6
5	1978	+	C-14	100 μ Ci	6
6	1978	+	C-14	100 μ Ci	6
7	1978	+	C-14	100 μ Ci	6–8
8	1978	+	C-14	100 μ Ci	6

Tabelle 28

Gesamtübersicht über Herkunft und Mengen der in den Jahren 1975 bis 1978

Abfallbereich	Bruttovolumen und Behälterzahlen der konditionierten, verpackten und an					
	1975			1976		
	Volumen einschließlich Verpackung	prozentualer Anteil am Gesamtvolumen in %	Behälterzahlen*)	Volumen einschließlich Verpackung	prozentualer Anteil am Gesamtvolumen in %	Behälterzahlen*)
1. Bereich Landessammelstellen/Kernforschungszentren						
LSSt Baden-Württemberg – Kernforschungszentrum Karlsruhe einschließlich der Karlsruher Versuchsreaktoren und der Wiederaufarbeitungsanlage WAK	2 279,6 m ³	45,3	6 747	2 907,4 m ³	57,3	8 020
LSSt Nordrhein-Westfalen – Kernforschungsanlage Jülich einschließlich der Jülicher Versuchsreaktoren	387,9 m ³	7,7	1 540	332,7 m ³	6,55	1 358
LSSt Bayern – Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung Neuherberg				187,0 m ³	3,7	923
LSSt Berlin – Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin				77,8 m ³	1,5	335
LSSt Bremen, Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein – Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt, Geesthacht	300,1 m ³	6,0	1 414	18,0 m ³	0,35	39
LSSt Hessen				15,6 m ³	0,3	79
Summe ...	2 967,6 m ³	59,0	9 701	3 538,5 m ³	69,7	10 754
2. Bereich Kernkraftwerke						
Summe ...	1 497,4 m ³	29,8	4 685	1 307,9 m ³	25,8	2 734
3. Bereich Unmittelbar an die Asse abliefernde kerntechnische Institute u. Industrien						
Summe ...	563,0 m ³	11,2	2 778	228,8 m ³	4,5	968
Gesamtsumme ...	5 028,0 m ³	100	17 164	5 075,3 m ³	100	14 456

*) entsprechend den Einlagerungsbedingungen des Versuchsendlagers Asse sind als Behälter zulässig:

- 200-l-Faß
- 400-l-Faß
- Armierte Betonabschirmung mit eingesetztem Metallbehälter (sog. Verlorene Betonabschirmung)

Tabelle 28

in der ASSE eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle

die Asse abgelieferten schwachradioaktiven Abfälle in den Jahren					
1977			1978		
Volumen einschließlich Verpackung	prozentualer Anteil am Gesamtvolumen in %	Behälterzahlen*)	Volumen einschließlich Verpackung	prozentualer Anteil am Gesamtvolumen in %	Behälterzahlen*)
4 031,3 m ³	59,2	10 110	7 171,5 m ³	52,4	13 329
338,0 m ³	5,0	1 559	574,7 m ³	4,2	2 363
162,8 m ³	2,4	782	238 m ³	1,8	1 140
99,6 m ³	1,5	413	125,6 m ³	0,9	523
40,8 m ³	0,6	176	98 m ³	0,7	395
5,0 m ³	0,07	23	50,2 m ³	0,4	159
4 677,5 m ³	68,77	13 063	8 258 m ³	60,4	17 909
1 834,4 m ³	26,9	4 769	4 822,7 m ³	35,2	10 618
229,0 m ³	4,4	1 196	602,4 m ³	4,4	2 062
6 810,9 m ³	100	19 028	13 683,1 m ³	100	30 589

Tabelle 29

Übersicht über Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen im Jahr 1978

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiologischen Folgen
Februar 1978	Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern mit je ca. 72 μ Ci Americium 241	Vermutlich Diebstahl	Falls Diebstahl zum Zweck der bestimmungsgemäßen Verwendung: keine. Auch bei mißbräuchlicher Verwendung sind aufgrund der Beschaffenheit des Strahlers keine schwerwiegenden radiologischen Folgen denkbar	
1. Februar 1978	Freisetzung von Krypton 83 m	Bedienungsfehler an einer Vakuumanlage	Inkorporationsrisiko durch Dekontamination beseitigt, keine Inkorporation festgestellt	
26. Februar 1978	Ein Faß mit uranhaltigem Schrott stürzte von einem fahrenden Zug	nicht ordnungsgemäße Verriegelung	Keine, Ereignis wurde sofort entdeckt, radioaktives Material trat nicht aus	
März 1978	Vorübergehender Verlust von 150 μ Ci Kohlenstoff 14 und 20 mCi Tritium	organisatorische Mängel	Gefährdungspotential aufgrund der Aktivität gering	
4. März 1978	Kontaminationen in einem Labor	Zerplatzen einer Glasampulle mit einer aktivierten biologischen Probe	Äußere Kontamination einer Person und Kontamination von Arbeitsräumen	Inkorporationsrisiko durch Dekontamination beseitigt, keine Inkorporation festgestellt
10. März 1978	Kontaminationen in einem Labor	Unachtsamkeit bei der Handhabung flüssiger radioaktiver Stoffe im Labor	Kontamination einer Person	Inkorporationsrisiko durch Dekontamination beseitigt, keine Inkorporation festgestellt
14. März 1978	Unvorhergesehene Unterbrechung eines Transports von bestrahlten Brennelementen	Motorschaden	Keine, Transport wurde mit Ersatzfahrzeug und geänderter Genehmigung fortgesetzt	
28. März 1978	Vorübergehender Verlust von 2 Ionisationsrauchmeldern mit je 15 μ Ci Americium 241	Diebstahl	keine Die zerlegten Einzelteile der Melder wurden einschließlich der Strahler bei der eingeleiteten Suchaktion wiedergefunden	
30. März 1978	Vorübergehender Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern mit je 15 μ Ci Americium 241	Diebstahl	keine Die entwendeten I-Melder wurden bei der ausgelösten Suchaktion unbeschädigt in Müllbehältern wiedergefunden	

noch Tabelle 29

noch Übersicht über Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen im Jahr 1978

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiologischen Folgen
17. April 1978	Tritiumkontaminationen in einem Labor	Vermutlich Bruch einer Tritiumgaslichtquelle und Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	geringfügige Inkorporation bei mehreren Personen	keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität weit unterhalb des Grenzwertes
11. Mai 1978	Kontaminationen von drei Personen und eines Lagerraumes	Weil sich der Schraubverschluß eines Versandstückes gelockert hatte, lief ca. 2/3 des Inhalts (0,4 l mit 10 μ Ci Jod 125) aus	geringfügige äußere Kontamination von drei Personen und Kontamination eines Lagerraumes	aufgrund umgehender Dekontamination: keine
20. Mai 1978	Kontaminationen durch falsche Behandlung eines Versandstückes, das eine kontaminierte Kamera enthielt	Nichtbeachtung der Transportvorschriften (Kennzeichnung und organisatorische Mängel)	geringfügige Kontaminationen von Personen, Räumen und Fahrzeugen	aufgrund Dekontamination ist keine Personengefährdung zu erwarten
Juni 1978	Beschäftigung einer Schwangeren im Kontrollbereich	Verstoß gegen § 56 StrlSchV	keine (Inkorporation wurde nicht festgestellt, keine externe Strahlenexposition oberhalb der geltenden Grenzwerte)	
5./6. Juni 1978	Kontaminationen beim Transport radioaktiver Abfälle	Mängel bei der Konditionierung	keine, da Kontamination auf einen Waggon beschränkt blieb, der seinerseits fachgerecht dekontaminiert wurde	
10. Juli 1978	Beschädigung einer Tritiumgaslichtquelle	Unachtsamkeit	geringfügige Inkorporation bei einer Person	Keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität weit unterhalb des Grenzwertes
3. August 1978	Abwässer liefen in einen Lageraum für kontaminierte Wäsche	Verstopfung der Abwasserleitung	keine Inkorporation, Inkorporationsrisiko durch Dekontamination beseitigt	
11. August August	Fund einer Radiographiequelle	Bruch des Isotopenhalters	Strahlenexposition einer Person von ca. 10 rem	gesundheitliche Schäden nicht zu erwarten
14. August 1978	Kontaminationen in einem Labor	unsachgemäße Arbeitsweise	Inkorporation bei einer Person und Kontamination des Arbeitsbereichs	gesundheitliche Schäden nicht zu erwarten, da inkorporierte Aktivität unterhalb des Grenzwertes

noch Tabelle 29

noch Übersicht über Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen im Jahr 1978

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiologischen Folgen
5. September 1978	Brand in einer Heißen Zelle	Platzen einer Quecksilberdampflampe	keine	
7. September 1978	Beschädigung einer Tritiumgaslichtquelle	Unachtsamkeit	geringfügige Inkorporation bei einer Person	keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität weit unterhalb des Grenzwertes
14. September 1978	Kontaminationen in einem Labor	Unachtsamkeit	Inkorporation bei einer Person	keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität unterhalb des Grenzwertes
28. September 1978	Beschädigung einer Tritiumgaslichtquelle	vermutlich Unachtsamkeit	geringfügige Inkorporation bei zwei Personen	keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität unterhalb des Grenzwertes
10. November 1978	Beschädigung eines Typ-B-Behälters mit 1902 Ci Kobalt 60	Der Behälter wurde während d. Seetransp. erheblich beschädigt	keine Der innere Strahlenschutzbehälter wies nur geringfügige Beschädigungen auf. Er wurde am 17. November 1978 in einem typengleichen Typ-B-Behälter verpackt und per Lkw weitertransportiert.	
23. November 1978	Beschädigung der Außenschalen zweier Typ-B-Behälter mit Uranhexafluorid	Korrosion und mechanische äußere Einwirkung	keine Es wurde veranlaßt, daß die Behälter beim Empfänger ausgesondert und vor der Rücksendung repariert werden	
30. November 1978	Undichtheit einer Tritiumgaslichtquelle	Versprödung der Einkittung der Tritiumgaslichtquelle	keine	

Durchführungsrichtlinien zur Strahlenschutzverordnung

1. Merkposten zu Antragsunterlagen in den Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen vom 19. Januar 1978 (GMBL 1978, Seite 51)
2. Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978 (GMBL 1978, Seite 313)
3. Genehmigung gemäß § 8 Abs. 1 StrlSchV zur Beförderung radioaktiver Stoffe für Durchstrahlungsprüfungen im Rahmen der zerstörungsfreien Materialprüfung vom 29. Mai 1978 (GMBL 1978, Seite 334)
4. Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 StrlSchV) vom 5. Juni 1978 (GMBL 1978, Seite 348)
5. Genehmigungen gemäß § 3 Abs. 1 StrlSchV zur ortsveränderlichen Verwendung und Lagerung umschlossener radioaktiver Stoffe für Durchstrahlungsprüfungen im Rahmen der zerstörungsfreien Materialprüfung vom 23. Juni 1978 (GMBL 1978, Seite 371)
6. Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor: Die während der Planung der Anlage zu treffende Vor-sorge, vom 10. Juli 1978 (GMBL 1978, Seite 418)
7. Genehmigungen gemäß § 20 a Strahlenschutzver-ordnung vom 18. Juli 1978 (GMBL 1978, Seite 426)
8. Richtlinie für die Bauartzulassung von Ionisations-rauchmeldern (IRM) vom 31. Oktober 1978 (GMBL 1978, Seite 618)
9. Grundsätze für die ärztliche Überwachung von be-ruflich strahlenexponierten Personen (Schriften-reihe des Bundesministers des Innern, Band 9, 1978)
10. Richtlinien über Prüffristen bei Dichtheitsprüfun-gen an verschlossenen radioaktiven Stoffen vom 23. März 1979 (GMBL 1979, Seite 120)
11. Anforderungen an die nach Länderrecht zustän-dige Meßstelle nach § 63 Abs. 3 Satz 1 StrlSchV und § 40 Abs. 2 Seite 4 RöV vom 3. Juli 1979 (GMBL 1979, Seite 441)
12. Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strah-lenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV) vom 15. August 1979 (GMBL 1979, Seite 371)
13. Auslegung des § 4 Abs. 4 Satz 1 Nr. 2 e StrlSchV vom 20. September 1979 (GMBL 1979, Seite 631)
14. Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüber-wachung kerntechnischer Anlagen (GMBL 1979, Seite 668)
15. Richtlinie für den Strahlenschutz bei Verwendung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und Be-strahlungseinrichtungen mit radioaktiven Quellen in der Medizin (Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin) vom 18. Oktober 1979 (GMBL 1979 Seite 638)

