

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1976“

Einleitung

Der Deutsche Bundestag hat am 14. März 1975 die Bundesregierung ersucht, jährlich einen Bericht über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ vorzulegen, der auch auf die künstliche Strahlenexposition aus kerntechnischen Anlagen, aus der Verwendung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung und Technik, aus beruflicher Tätigkeit, aus medizinischer Anwendung und aus Strahlenunfällen und besonderen Vorkommnissen eingeht. Die ersten beiden aufgrund dieses Beschlusses des Deutschen Bundestages von der Bundesregierung erstatteten Berichte über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung sind am 5. Februar 1976 als Drucksache 7/4706 und am 22. April 1977 als Drucksache 8/311 erschienen.

Die Ermittlung der gesamten Strahlenexposition der Bevölkerung erfolgt durch eine Vielzahl von Messungen, Erhebungen und Berechnungsverfahren. Hierbei ist es international üblich, bei Berechnungen vor allem auf die Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP) und des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) zurückzugreifen, damit die Ergebnisse auch international vergleichbar sind.

Im Vordergrund steht wegen der möglichen Schädigung der Erbsubstanz die Ermittlung der Strahlenexposition der Keimdrüsen. Das Maß der Wirkung dieser Strahlenexposition wird durch die ge-

Eine Erläuterung der benutzten Fachausdrücke ist als Anlage beigelegt.

netisch signifikante Dosis angegeben. Eine Zusammenstellung der genetisch signifikanten Strahlenexposition aus den verschiedenen Strahlenquellen wird in Tabelle 1 gegeben. Daneben enthält dieser Bericht eine Reihe von Angaben über Strahlenexpositionen des Ganzkörpers, der Haut, der Schilddrüse, der Knochen und der Lunge, die für die Beurteilung des Strahlenrisikos ebenfalls von Bedeutung sind.

I. Natürliche Strahlenexposition

Der Mensch und seine Umwelt sind seit jeher einer natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt. Man unterscheidet dabei zwischen der Strahlenexposition durch die kosmische und durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlung sowie zwischen der Strahlenexposition von außen und der Strahlenexposition durch Aufnahme (Inkorporation) natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper.

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition ist von der erdmagnetischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel abhängig und beträgt in der Bundesrepublik Deutschland in Meereshöhe etwa 30 Millirem/Jahr. Bei dauerndem Aufenthalt in 1 000 m Höhe über dem Meerespiegel ist die Strahlenexposition durch kosmische Strahlung um etwa 10 Millirem/Jahr größer. In der hohen Atmosphäre erzeugt die kosmische Strahlung auch Radionuklide wie Tritium und Kohlenstoff-14. Ihr Anteil an der natürlichen Strahlenexposition von außen kann aber vernachlässigt werden.

Die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen ist auf den Gehalt der Umwelt an Kalium-40, Radium, Thorium und Uran sowie an den aus diesen Radionukliden durch radioaktiven Zerfall entstehenden Folgeprodukten zurückzuführen. Sie schwankt im Freien je nach geologischem Untergrund und Bodenbeschaffenheit, in Gebäuden je nach dem Gehalt natürlich radioaktiver Stoffe in den verwendeten Baumaterialien. Tabelle 2 enthält die unter Verwendung des von Bennett (1970) angegebenen Umrechnungsfaktors berechneten Werte der Keimdrüsendosis durch terrestrische Strahlenexposition von außen in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Die Keimdrüsendosis beträgt im Bundesgebiet im Freien im Mittel 43 Millirem/Jahr (Maximalwert 291 Millirem/Jahr, Minimalwert 4 Millirem/Jahr), in Wohnungen 57 Millirem/Jahr (Maximalwert 243 Millirem/Jahr, Minimalwert 11 Millirem/Jahr). In einzelnen Räumen von Wohnungen wurden sogar 400 Millirem/Jahr ermittelt.

Unter Verwendung der Ergebnisse eines vom Bundesminister des Innern geförderten Forschungsvorhabens über die Messung der Schwankungsbreite der Ortsdosisleistung der terrestrischen Komponenten der natürlichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen ist in Abbildung 1 der Anteil der Bevölkerung angegeben, der einer bestimmten Ortsdosisleistung 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.

Die Strahlenexposition durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe beträgt im Mittel etwa 30 Millirem/Jahr. Sie ist zu rd. 70 Prozent auf den Gehalt des menschlichen Körpers an Kalium, und zwar auf dessen Isotop Kalium-40, zurückzuführen. Kalium wird vor allem in Weichteilen, insbesondere im Muskelgewebe, gespeichert.

Neben der normalen Strahlenexposition aus natürlichen Quellen ist die technologisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen zu erwähnen. Beispiel einer solchen Strahlenexposition sind die Bestrahlung durch kosmische Strahlung beim Flug in großen Höhen, die Strahlenexposition in Gebäuden aus Baustoffen, die einen erhöhten Gehalt an natürlich radioaktiven Stoffen haben, die Strahlenexposition durch die Verwendung phosphathaltiger Düngemittel oder die Strahlenexposition durch die Freisetzung natürlich radioaktiver Stoffe bei der Verbrennung von Kohle. Die Strahlenexposition durch Kohlekraftwerke beträgt nach neuesten Untersuchungen ein Mehrfaches der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke, führt jedoch ebenfalls nicht zu einer Strahlengefährdung der Bevölkerung.

II. Künstliche Strahlenexposition

1. Kerntechnische Anlagen

1.1 Allgemeines

Eine strenge Anwendung der Strahlenschutzvorschriften und entsprechende technische Maßnahmen in den kerntechnischen Anlagen haben auch 1976 sichergestellt, daß die in Abluft und Abwasser von kerntechnischen Anlagen in kleinen Mengen enthaltenen radioaktiven Stoffe die Strahlenexposition der Bevölkerung nur ganz geringfügig erhöhen. Die Abgaben werden durch ständige Messungen in Abluft und Abwasser ermittelt. Zusätzlich werden Überwachungsmessungen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen durchgeführt.

Eine Übersicht über die 1976 in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland gibt Tabelle 3. Darüber hinaus enthält der Bericht Angaben über die Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich sowie die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe der Firmen NUKEM GmbH in Hanau, der Reaktor-Brennelement Union GmbH in Hanau und in Karlstein und der ALKEM GmbH in Hanau.

1.2 Abgabedaten und berechnete Strahlenexpositionswerte bei kerntechnischen Anlagen im Jahre 1976

Auf der Basis amtlicher Meldungen und ergänzender Erhebungen und Untersuchungen durch das Bundesgesundheitsamt bei den kerntechnischen Anlagen und der Angaben in den Strahlenschutz-Jahresberichten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich wurde für das Berichtsjahr die Gesamt-abgabe radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser der einzelnen Anlagen sowie ihre Nuklidzusammensetzung erfaßt. Alle Abgabedaten und Meßergebnisse sind in Berichten des Bundesgesundheitsamtes dokumentiert und veröffentlicht worden. Eine Übersicht über die ermittelten Jahresabgaben im Jahre 1976 geben die Tabellen 4, 5 und 6. Um auch einen Überblick über die zeitliche Entwicklung der Abgaben zu geben, sind in Tabelle 7 die Jahresabgaben der Kernkraftwerke seit ihrer Inbetriebnahme zusammengestellt.

Die Auflistung der Jahresabgaben der radioaktiven Stoffe dient vor allem dem Vergleich. Entscheidender für den Strahlenschutz sind die daraus berechneten Werte der Strahlenexposition des Menschen. Diese Berechnung wurde auf der Basis der erhobenen Abgabedaten und unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse durchgeführt, und zwar unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission empfohlenen „Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch radioaktive Einleitungen in Oberflächengewässer I. Fließgewässer“ und der „Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft“.

In den Tabellen 8 bis 12 sind die so berechneten Höchstwerte der Strahlenexposition von Einzelpersonen und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevölkerung in der unmittelbaren Umgebung der kerntechnischen Anlagen unter Berücksichtigung der relevanten Belastungswege angegeben. Die Angaben über die Strahlenexposition durch Ingestion von Kohlenstoff-14 in Nahrungsmitteln bei Kernkraftwerken beruhen wie im Vorjahr auf vom Bundesgesundheitsamt geschätzten Jahresabgabewerten. Die inzwischen bei allen Kernkraftwerken durchgeführten Messungen der Emission von Kohlenstoff-14 haben zwar diese Schätzungen weitgehend bestätigt, reichen jedoch im einzelnen für eine lückenlose Bilanzierung der Abgabewerte im Jahre 1976 noch nicht aus. Weiterhin wird wie schon im Vorjahr die Strahlenexposition durch Alphastrahler bei den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben angegeben. In Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken konnten dagegen selbst mit besonders empfindlichen Meßverfahren nur geringe Spuren von Alphastrahlern nachgewiesen werden, die eine völlig vernachlässigbare Strahlenexposition verursachen.

1.3 Ergebnis

Die Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen zeigen für 1976 keine wesentlichen Abweichungen von den Werten der vorhergehenden Jahre. Die höchsten Abgabewerte beim Kernforschungszentrum Karlsruhe traten durch die betrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe in der Abluft der Wiederaufarbeitungsanlage und beim Forschungsreaktor FR 2 auf. Die hohen Tritiumabgaben mit dem Abwasser sind ebenfalls auf den Betrieb der Wiederaufarbeitungsanlage zurückzuführen. Demgegenüber sind die Ableitungen aller anderen Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik geringfügig. Bei den Kernkraftwerken wurde 1976 die höchste Abgabe von radioaktiven Edelgasen beim Kernkraftwerk Stade, die höchste Abgabe von Radiojod beim Kernkraftwerk Gundremmingen gemessen. Beim Abwasser lagen die Ableitungen von drei Kernkraftwerken nach Messungen des Bundesgesundheitsamtes bei 1 Curie. Zusätzlich zu den in Tabelle 4 aufgeführten Abgaben von Spalt- und Aktivierungsprodukten, welche die Summe der gemäß den Richtlinien des Länderausschusses für Atomkernenergie und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zu erfassenden Radionuklide darstellen, wurden von den 1976 in Betrieb gegangenen Kernkraftwerken Biblis B und Neckarwestheim 99 Millicurie bzw. 31 Millicurie des kurzlebigen Isotops Antimon-122 abgegeben.

Die für die einzelnen Belastungswege durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser der kerntechnischen Anlagen berechneten Höchstwerte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die in der neuen Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 angegebenen Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Die berechneten Höchstwerte der Ganzkörperdosis in der unmittelbaren Umgebung der kerntechnischen Anlagen sind wesentlich kleiner als die Schwankungen der natür-

lichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Bei der Berechnung der maximalen Strahlenexposition der Schilddrüse eines Kleinkindes durch Radiojod aus kerntechnischen Anlagen über die Ernährungskette waren in dem Bericht für 1975 — wie dort erwähnt — die ungünstigsten der Literatur zu entnehmenden Parameter verwendet worden. Messungen des Gehaltes von Radiojod in Milch beim Kernforschungszentrum Karlsruhe und beim Kernkraftwerk Gundremmingen hatten schon 1975 gezeigt, daß die so errechneten Werte der maximalen Schilddrüsendosis von Kleinkindern deutlich unterschritten wurden. Derselbe Sachverhalt ergab sich auch bei weiteren Messungen im Jahre 1976 und 1977. Entsprechend den oben erwähnten, von der Strahlenschutzkommission empfohlenen „Allgemeinen Berechnungsgrundlagen“ wurden in dem Bericht für 1976 die darin vorgeschlagenen Parameter verwendet. Die danach berechneten Werte der maximalen Schilddrüsendosis von Kleinkindern sind in den Tabellen 8 und 9 angegeben. Dennoch führten die 1976 beim Kernforschungszentrum Karlsruhe und bei den Kernkraftwerken Gundremmingen und Würgassen durchgeführten Messungen zu dem Ergebnis, daß auch die so berechneten maximalen Werte der Schilddrüse von Kleinkindern deutlich unterschritten wurden.

Die maximale Strahlenexposition für Einzelpersonen durch die Ableitung radioaktiver Abwässer setzt sich aus Beiträgen einzelner Expositionspfade, insbesondere Nahrungsketten, zusammen, für die jeweils extreme Verzehrsgewohnheiten angenommen werden. Die Summation über die einzelnen Beiträge schätzt die Gesamtstrahlenexposition nach oben hin ab, so daß die Auswirkungen der Schwankungsbreite ökologischer Parameter auf die Dosisabschätzung einzelner Expositionspfade zusätzlich abgesichert sind. Wie in den Vorjahren resultiert der wesentliche Beitrag aus dem Verzehr von Fischen, die im Kühlwasserauslauf gefangen werden.

Die Tabellen der berechneten maximalen Strahlenexpositionen weisen als Höchstwerte an den ungünstigsten Einwirkungsstellen beim Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Ganzkörperdosis von 18 Millirem/Jahr durch Gammasubmersion und eine Schilddrüsendosis von 72 Millirem/Jahr durch Jodigestion auf. Bei den Kernkraftwerken ergaben sich als Höchstwerte 0,4 Millirem/Jahr durch Gammasubmersion und eine Schilddrüsendosis von 40 Millirem/Jahr durch Jodigestion. Die maximale Strahlenexposition von Einzelpersonen infolge der Ableitung radioaktiver Abwässer lag nur bei zwei Kernkraftwerken oberhalb 0,1 Millirem/Jahr; der Höchstwert betrug 1,4 Millirem/Jahr. Bei den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben betrug der Höchstwert der Lungendosis durch Inhalation 2 Millirem/Jahr; die maximale Ganzkörperdosis durch Ableitung von uranhaltigen Abwässern lag um dem Faktor 10 niedriger. Die tatsächliche Strahlenexposition von Einzelpersonen dürfte jedoch selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zu meist im Bereich von Bruchteilen eines Millirem/Jahr bis zu einigen Millirem/Jahr gelegen haben.

Die Summierung aller Beiträge zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auch 1976 zu weniger als 1 Millirem/Jahr mittlerer genetischer Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

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

2.1 Industrieerzeugnisse

Radioaktive Stoffe verschiedenster Art und Menge sind in einer Reihe von technischen Erzeugnissen anzutreffen, die sowohl in Forschung, Technik und Landwirtschaft als auch im Bereich der privaten Haushalte verwendet werden. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Vielfalt dieser technischen Geräte und Instrumente, Gebrauchsgegenstände und Verbrauchsgüter.

Die Bedeutung der radioaktiven Stoffe in diesen Produkten ist sehr verschieden; so ist z. B. Tritium ein preiswertes Hilfsmittel für die Lumineszenzanregung in Leuchtfarben, Krypton-85 gewährleistet ein sicheres und energiesparendes Funktionieren von elektronischen Bauteilen und Americium-241 in Rauch- und Feuermeldern ist ein wesentlicher Bestandteil dieser unter Umständen lebensrettenden Geräte.

Der Umgang mit diesen Industrieprodukten, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung unterliegen in der Bundesrepublik Deutschland einem differenzierten Anzeige- und Genehmigungssystem, bei dem auch der unter bestimmten Voraussetzungen genehmigungsfreie Umgang ermöglicht wird. Eine Genehmigung ist z. B. nicht erforderlich für den Umgang mit Geräten, Instrumenten oder sonstigen Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Behörde zugelassen worden sind, oder z. B. beim Umgang mit Geräten, die Anzeigemittel oder Skalen mit Leuchtfarben enthalten, sofern bestimmte Voraussetzungen hinsichtlich der Art und Menge der in den Leuchtfarben enthaltenen Radionuklide, der Art der Anbringung der Farben sowie der Ortsdosisleistung der nicht abgedeckten Strahlung erfüllt sind.

Aufgrund dieses vielschichtigen gesetzlichen Sicherungssystems ist gewährleistet, daß die Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit derartigen Industrieerzeugnissen kleiner als 1 Millirem/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 Störstrahler dieser Art nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen

während ihrer beruflichen Tätigkeit mit diesen Geräten umgehen.

Auch normale Fernsehgeräte sind nach den Bestimmungen der Röntgenverordnung Störstrahler. Allerdings wird bei den meisten Geräten die nach der Röntgenverordnung höchstzulässige Ortsdosisleistung von 0,5 Millirem/Stunde in 5 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Im üblichen Abstand von dem Gerät beträgt die Ortsdosisleistung weniger als ein Tausendstel dieses Betrages. Eine Abschätzung der mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung durch Fernsehgeräte ergibt weniger als 0,7 Millirem/Jahr.

3. Berufliche Tätigkeit

Die beruflich strahlenexponierten Personen (im Jahr 1976 120 406, davon 91 766 in der Medizin) gelten als spezielle Bevölkerungsgruppe, für die durch besondere Strahlenschutzvorschriften höhere Expositionswerte zugelassen sind als für die übrige Bevölkerung.

Personendosismessungen haben ergeben, daß die höchstzulässige Dosis von 5 Rem/Jahr von weniger als 1 Promille der überwachten Personen erreicht bzw. überschritten wird. Im Mittel betrug 1976 die Strahlenexposition der beruflich strahlenexponierten Personen etwa 50 Millirem/Person.

Die Auswirkungen der Strahlenexposition dieser Gruppe auf die genetisch signifikante Strahlenexposition der Bevölkerung ist jedoch gering, da die Zahl der Personen im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung klein ist und der höchstzulässige Expositionswert für die meisten Mitglieder dieser Gruppe wegen der Wirksamkeit der Strahlenschutzmaßnahmen nicht in Anspruch genommen wird. Auch die Auswertung der Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung von Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, hat ergeben, daß nur vereinzelt die maximal zulässigen Grenzwerte für inkorporierte radioaktive Stoffe erreicht oder überschritten werden.

Der Beitrag der Strahlenexposition beruflich strahlenexponierter Personen zur Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung betrug 1976 weniger als 0,1 Millirem/Jahr.

4. Medizinische Anwendung

Sowohl die genetisch signifikante Strahlenexposition als auch die mittleren Organdosen, die nicht von natürlichen Strahlenquellen stammen, werden zum größten Teil durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin verursacht. Der größte Anteil entfällt auf die Röntgendiagnostik. Nach neueren Erhebungen werden jährlich insgesamt etwa 1 700 Röntgenuntersuchungen pro 1 000 Personen der Bevölkerung durchgeführt. 1 400 Untersuchungen erfolgen aus medizinischer Indikation, davon etwa 300 im Bereich der Zahnmedizin. Weitere 300 Untersuchungen werden aus Gründen der Vorsorge einschließlich arbeitsmedizinischer Untersuchungen vorgenommen. Bei der Er-

mittlung der Strahlenexposition fällt auf, daß bei den einzelnen Untersuchungen erhebliche Schwankungen vorliegen. Es ist deshalb erforderlich, dosisreduzierende Maßnahmen zu empfehlen, wie zum Beispiel bei bestimmten Untersuchungen den Einsatz von Röntgenbildverstärkern, um festgestellte extrem hohe Strahlenexpositionswerte auf das unbedingt erforderliche Maß zu beschränken. Besonderer Beachtung bedarf in diesem Zusammenhang die Untersuchung Jugendlicher und Kinder.

In Tabelle 14 sind mittlere Expositionswerte in Abhängigkeit vom Alter für diejenigen Untersuchungen zusammengestellt, die entscheidend zur Strahlenexposition beitragen.

Die genetisch signifikante Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik wird weiterhin auf ca. 50 Millirem/Jahr geschätzt. Der Wert für die Ganzkörperdosis der Bevölkerung dürfte nach vorliegenden Abschätzungen etwa doppelt so hoch zu veranschlagen sein. Eine wissenschaftliche Untersuchung zur möglichst genauen Bestimmung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik wurde im Berichtsjahr weitergeführt.

In der Nuklearmedizin werden derzeit jährlich über 30 Untersuchungen pro 1 000 Personen der Bevölkerung durchgeführt. Die hohe jährliche Zuwachsrate nuklearmedizinischer Untersuchungen (ca. 25 Prozent) bedingt einen Anstieg der genetisch signifikanten Strahlenexposition trotz der zunehmenden Verwendung kurzlebiger Radionuklide wie Technetium-99m. In Tabelle 15 sind Organdosen bei nuklearmedizinischen Untersuchungen für Kinder und Jugendliche aufgeführt. Radionuklide, wie z. B. Strontium-85 und Quecksilber-203, deren Verwendung zu relativ hohen Strahlenexpositionen führt, sollten möglichst nicht mehr angewendet werden. Die Anwendung von Jod-131 für Schilddrüsenuntersuchungen sowie von Selen-75 sollte weitmöglichst eingeschränkt werden.

Die Zahl der Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien, die bei Patienten implantiert wurden, war im Berichtsjahr in der Bundesrepublik Deutschland weiterhin rückläufig, zumal inzwischen chemische Batterien mit ausreichend langer Betriebsdauer zur Verfügung stehen. Es wurden insgesamt 1976 nur noch 12 Radionuklid-Herzschrittmacher neu implantiert. Von den gemeldeten 75 Explantationen erfolgten 31 wegen Tod der Patienten und 25 aus anderer medizinischer Indikation. Trotz der mit dem Tragen eines Radionuklid-Herzschrittmachers verbundenen Strahlenexposition bestehen keine Gründe, die restlichen Radionuklidschrittmacher zu explantieren, da das Risiko des operativen Eingriffes größer ist als das Risiko einer Schädigung durch die Strahlenexposition des betreffenden Patienten.

Von verschiedenen Expertenkommissionen, einschließlich denen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), wurde mit großer Entschiedenheit gegen überflüssige und vermeidbare Untersuchungen mit Röntgenstrahlen und radioaktiven Stoffen Stellung genommen. Röntgen-Reihenuntersuchungen auf Tuberkulose und auf bösartige Neubildungen sollten sich auf Risikogruppen beschränken.

Die entsprechend den Bestimmungen der Ersten Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung durchgeführten Strahlenschutzkurse zum Erwerb der erforderlichen Fachkunde für alle mit radioaktiven Stoffen oder Röntgenstrahlen Umgehenden haben die Voraussetzung dafür geschaffen, daß diejenigen, die entsprechende Untersuchungen veranlassen oder durchführen, mit den Regeln für den Strahlenschutz des Patienten und den Schutz der Umwelt vertraut gemacht werden. Außerdem wurde die Weiterbildung im Strahlenschutz für alle Anwendergruppen gefördert.

5. Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Im Berichtsjahr 1976 wurden folgende Strahlenzwischenfälle, die mit einer Überexposition von Personen verbunden waren, gemeldet: Bei der Durchstrahlungsprüfung eines Druckbehälters mittels einer ortsveränderlichen Röntgenanlage gelangte ein Beschäftigter zwischen Behälterwand und Röntgenröhre. Obwohl während dieser Arbeitsphase die Anlage ausgeschaltet sein muß, befand sich in diesem Fall die Röntgenröhre in Betrieb. Bei dem Beschäftigten, der unzureichend belehrt war, sind gesundheitliche Folgen aufgrund der erheblichen Strahlenexposition (schätzungsweise 100 rem) nicht auszuschließen. Behördlicherseits wurden nach Eingang der Unfallmeldung umgehend alle erforderlichen Maßnahmen eingeleitet.

Im Rahmen der Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen war an einem Vollschutzgerät ein der Verriegelung dienender Schalter defekt, so daß bei geöffnetem Gerät Strahlung austreten konnte. Ein Beschäftigter wurde hierdurch einer Strahlendosis von ca. 5 rem ausgesetzt. Die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen wurden verschärft. Gesundheitliche Konsequenzen für den Beschäftigten sind nicht zu erwarten.

Fahrlässigkeit und unzureichende Belehrung von Beschäftigten spielen weiterhin eine wesentliche Rolle bei auftretenden Strahlenzwischenfällen. Bedingt durch die strengen Auflagen der Strahlenschutzverordnung sind Zwischenfälle selten.

6. Kernwaffenversuche

Im Berichtsjahr unternahm die Volksrepublik China 2 Kernwaffenversuche in der Atmosphäre. Soweit bekannt ist, führten die USA 13, Großbritannien 1, die UdSSR 8, Frankreich 3 und China 2 unterirdische Kernwaffenversuche durch. Frische Spaltprodukte gelangten von beiden oberirdischen Kernwaffenversuchen der Volksrepublik China in die Bundesrepublik Deutschland. So konnte insbesondere Jod-131 in der Bundesrepublik Deutschland in Luft, Niederschlag und Milch nachgewiesen werden. Die maximal gemessenen Einzelwerte in Milch betrugen hierbei 160 pCi/l. In Abbildung 2 ist der Verlauf der Jod-131-Konzentration in der Molkerei Kiel dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, daß bis etwa sieben Wochen nach dem Kernwaffenversuch noch Jod-131 in Milch nachzuweisen war. Eine Abschätzung der hierdurch zu verzeichnenden Strahlenexpo-

sition ergab für Kinder als am stärksten betroffene Bevölkerungsgruppe eine Dosis von kleiner als 4 Millirem für die Schilddrüse.

Die beiden Kernwaffenversuche in der Atmosphäre haben den Anteil langlebiger Radionuklide aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen, die zum größten Teil vor Inkrafttreten des Vertrages über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser (1963) durchgeführt worden sind, nicht merklich erhöht (Abbildung 3). Die Strahlenexposition durch langlebige Radionuklide aus dem Fall-out liegt im Freien durch die auf den Erdboden gelangte Aktivität unter Berücksichtigung von Abschirmfaktoren und der Abwanderung in den Boden unter 1 Millirem/Jahr. Langlebige Radionuklide aus dem Fall-out, die durch die Nahrung in den menschlichen Körper gelangen, sind dort noch immer nachweisbar. Aus den Messungen des Cäsium-137-Gehaltes im menschlichen Körper ist eine Strahlenexposition zu berechnen, die ebenfalls unter 1 Millirem/Jahr liegt.

III. Zusammenfassende Beurteilung

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

Der Hauptanteil der natürlichen Strahlenexposition wird durch die Umgebungsstrahlung und durch 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. Durch die Verwendung von Baumaterialien mit erhöhtem Anteil an radioaktiven Stoffen und von phosphathaltigen Düngemitteln werden Bevölkerungsgruppen ebenfalls einer erhöhten Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen ausgesetzt. Bisher gibt es jedoch keine epidemiologisch gesicherten Hinweise, daß die unterschiedliche Höhe der natürlichen Strahlenexposition Unterschiede im Gesundheitszustand der Bevölkerung zur Folge hat.

Die künstliche Strahlenexposition der Bevölkerung ist im wesentlichen auf die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin zurückzuführen, wobei die Röntgendiagnostik zu den höchsten mittleren Dosiswerten führt. Auch die Nuklearmedizin trägt in steigendem Maße zur künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Im Vergleich zu anderen künstlichen Strahlenquellen hat jedoch der einzelne Exponierte bei der medizinischen Anwendung der Strahlung in den meisten Fällen einen unmittelbaren Nutzen.

In der Röntgendiagnostik bieten sich durch die Einführung dosissparender Bildwiedergabesysteme wie Röntgenbildverstärker, durch Beschränkung des bestrahlten Feldes auf die diagnostisch wichtigen

Körpergebiete, durch die Vermeidung von Mehrfachuntersuchungen und durch eine Qualitätskontrolle der bildgebenden Systeme Möglichkeiten zur Dosisreduktion an. In der nuklearmedizinischen Diagnostik können durch die Verwendung kurzlebiger Radionuklide und die vermehrte Einführung geeigneter Laboratoriumsmethoden (Untersuchungen in vitro) Dosisminderungen erzielt werden, ohne daß dadurch ein Verlust an für die Diagnose erforderlichen Information eintritt.

Die Erfassung und Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen ist in den letzten Jahren laufend verbessert worden. Insbesondere sind die meßtechnischen Anforderungen bei der Überwachung der Emissionen und der Umgebung vereinheitlicht worden. Mit den von der Strahlenschutzkommission empfohlenen Allgemeinen Berechnungsgrundlagen ist eine Vereinheitlichung der Berichterstattung über die Strahlenexposition durch die Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen erreicht worden. 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. Verschiedene in den letzten Jahren durchgeführte Messungen des Gehalts an Radiojod in der Milch aus der unmittelbaren Umgebung von kerntechnischen Anlagen haben gezeigt, daß die berechneten Höchstwerte der Schilddrüsendosis von Kleinkindern deutlich unterschritten werden. Die tatsächliche Strahlenexposition von Einzelpersonen dürfte selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zumeist im Bereich von Bruchteilen eines Millirem/Jahr bis zu einigen Millirem/Jahr gelegen haben. Die Strahlenexposition an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung von Kohlekraftwerken beträgt ein Mehrfaches dieser Werte.

Die Summierung aller Beiträge kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auch 1976 in der Bundesrepublik Deutschland zu einer genetisch signifikanten Strahlenexposition von deutlich weniger als 1 Millirem/Jahr.

Die Anwendung von ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen zu technischen Zwecken und in der Forschung nimmt ebenfalls zu. Auch Geräte, die potentielle Strahlenquellen sein können, wie Fernsehgeräte, Uhren mit Leuchtzifferblättern, selbstleuchtende Kompassse, Rauchmelder und antistatische Vorrichtungen sind in Gebrauch. Die Strahlenexposition der Einzelpersonen und der Gesamtbevölkerung wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt. So werden Geräte mit radioaktiven Stoffen nur zugelassen, wenn der durch die Verwendung bedingte Nutzen größer ist als das Strahlenrisiko.

Für die Abschätzung der mittleren Strahlenexposition der beruflich strahlenexponierten Personen durch äußere Strahleneinwirkung konnte im Berichtsjahr auf umfangreicheres Zahlenmaterial über die Personendosisüberwachung zurückgegriffen werden als in früheren Jahren. Dabei ergab sich ein niedrigerer Zahlenwert als nach den bisherigen Schätzungen.

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung, die bisher vor allem dort durchgeführt wird, wo im größeren Umfange mit offenen radioaktiven Stoffen gearbeitet wird, zeigen, daß vor allem in der Leuchtfarbenindustrie und in der Nuklearmedizin Inkorporationen, meist geringen Umfanges, festgestellt werden konnten. Überschreitungen der zugelassenen Jahresaktivitätszufuhr bzw. Überschreitungen der Dosisgrenzwerte sind jedoch nur selten zu verzeichnen.

Im Berichtsjahr haben wiederum mehrere Staaten Kernwaffenversuche durchgeführt, davon zwei in der Atmosphäre. Diese Versuche führten auch in der Bundesrepublik Deutschland zum Nachweis von kurzlebigen radioaktiven Stoffen in der Luft, im Niederschlag und in den Lebensmitteln, insbesondere in der Milch. Die hierdurch mögliche maximale Strahlenexposition der kritischen Bevölkerungsgruppen (Kleinkinder) durch Radiojod betrug für die Schilddrüse vier Millirem. Die in der Atmosphäre und in der Nahrung festgestellten langlebigen radioaktiven Stoffe stammen vorwiegend aus den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre. Der Beitrag der langlebigen radioaktiven Stoffe durch die Versuche in der Atmosphäre im Berichtsjahr hat hier zu keiner wesentlichen Erhöhung der Gesamtaktivität beigetragen. Die regelmäßige Überwachung der Nahrungsmittel hat ergeben, daß sowohl die in der Bundesrepublik Deutschland erzeugten als auch die eingeführten Lebensmittel nur geringe Mengen langlebiger radioaktiver Stoffe enthalten, die für die Strahlenexposition der Bevölkerung ohne Bedeutung sind.

IV. Maßnahmen

Ziel des Strahlenschutzes ist, die Strahlenexposition so zu begrenzen, daß keine schädlichen Strahlenwirkungen auftreten, bzw. das Risiko auf ein vertretbares Maß beschränkt ist, wenn der Nutzen der Strahlenanwendung gerechtfertigt ist.

Dabei wird von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

- ionisierende Strahlen sind nur dann anzuwenden, wenn dies durch einen Nutzen gerechtfertigt ist,
- alle Strahlenexpositionen sind so gering wie möglich zu halten,
- die Strahlenexposition darf die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Auch unterhalb dieser Grenzwerte soll sie so gering wie möglich gehalten werden.

Die Erstellung eines Katasters für die Bundesrepublik Deutschland über abgegebene Aktivitäten der für die Strahlenexposition relevanten Radionuklide der wichtigsten Emittenten ist weiterhin eine dringliche Aufgabe.

Die Überwachungsmethoden der beruflich strahlenexponierten Personen müssen ausgebaut werden. Eine Überwachung dieses Personenkreises allein durch Ermittlung der Strahlung von außen wird für alle diejenigen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, bzw. in Bereichen arbeiten, in die offene radioaktive Stoffe gelangen können, nicht für ausreichend gehalten. Hier gibt die am 1. April 1977 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung weitere Möglichkeiten. Besonders dringlich ist die Verbesserung der Ermittlung der Gesamtbestrahlung derjenigen strahlenexponierten Personen, die gleichzeitig einer Bestrahlung von außen und von innen (durch Inkorporation) ausgesetzt sind. Weiterhin wird angestrebt, Unterlagen über die während der Gesamtheit der beruflichen Tätigkeit aufgenommenen Strahlendosiswerte zu erhalten, um Aussagen über das mit der jeweiligen Tätigkeit verbundene Risiko machen zu können. Ferner sind eingehende Untersuchungen über aufgetretene Strahlenschäden unabdingbar.

Die mit der Röntgendiagnostik verbundene Strahlenexposition soll auf das jeweils erreichbare Mindestmaß beschränkt bleiben. Hierzu ist eine regelmäßige Wartung der Aufnahmeapparatur notwendig, damit die erforderliche Bildqualität mit der minimal möglichen Dosis erreicht wird. Außerdem soll bei Vorsorgemaßnahmen überprüft werden, ob der Nutzen der jeweiligen Untersuchung mit dem Risiko, das mit der Untersuchung verbunden ist, in einem zu verantwortenden Verhältnis steht.

In der Nuklearmedizin sind aus Gründen des Strahlenschutzes des Patienten und der Bevölkerung vermehrt kurzlebige Radionuklide und laboratoriumsdiagnostische Methoden einzusetzen. Entsprechende Verfahren sind bereits vorgeschlagen worden. Da inzwischen chemische Batterien mit ausreichend langer Betriebsdauer zur Verfügung stehen, wurde empfohlen, von weiteren Implantationen von mit Radionukklidbatterien betriebenen Herzschrittmachern abzusehen. Dadurch können unnötige Strahlenrisiken für die Bevölkerung vermieden werden.

In Technik und Forschung werden in steigendem Maße ionisierende Strahlen und radioaktive Stoffe angewandt. Auch hier muß die Anwendung auf das notwendige Maß beschränkt werden.

Im Rahmen der Erfassung und Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind weiterhin ergänzende Untersuchungen, insbesondere zur Qualitätskontrolle der Messungen, erforderlich. Auch bei den übrigen Emittenten ist die Bilanzierung der Abgabe radioaktiver Stoffe zu verbessern und die Anforderungen an die Messungen der Emissionsüberwachung zu vereinheitlichen.

Die neue Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 ist am 1. April 1977 in Kraft getreten. Sie hat Verschärfungen der bestehenden Schutzmaßnah-

men gebracht, die dazu beitragen werden, daß die Strahlenexposition durch künstliche Strahlenquellen so gering wie möglich gehalten sind. Unter anderem ist eine Radioökologieverordnung in Vorbereitung.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen wird auch in den nächsten Jahrzehnten aller Voraussicht nach deutlich

unter 1 Prozent der natürlichen Strahlenexposition bleiben. Der Gesamtbetrag der künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung, der bei etwas mehr als der Hälfte der natürlichen Strahlenexposition liegt, wird sich nur dann deutlich verringern lassen, wenn es gelingt, den hohen Beitrag der Röntgendiagnostik zur künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung herabzusetzen.

Erläuterung der benutzten Fachausdrücke

Aerosole	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
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	Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie (Ci) liegt vor, wenn 37 Mrd. Atomkerne je Sekunde zerfallen
Dosis	Menge der absorbierten ionisierenden Strahlung
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 Keimdrüsendosen, geteilt durch die Gesamtzahl der von der Bestrahlung betroffenen Personen. Die genetisch signifikante Dosis ermöglicht eine Beurteilung der Wirkung auf die Erbsubstanz
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)
Keimdrüsendosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über die Keimdrüsen
kosmische Strahlung	sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Mikrowellenklystron	Elektronenröhre zur Erzeugung von elektromagnetischen Wellen sehr hoher Frequenz (Mikrowellen)
Millirem	Einheit der Äquivalentdosis $1 \text{ Millirem (mrem)} = 0,001 \text{ Rem (rem)}$
Nuklearmedizin	Anwendung offener oder umschlossener radioaktiver Stoffe in der Medizin
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosisleistung	Äquivalentdosis an einem bestimmten Ort während einer bestimmten Zeitdauer, geteilt durch die Zeitdauer
Rad	Einheit der Energiedosis $1 \text{ Rad (rad)} = 100 \text{ erg/g}$
radioaktive Stoffe	Stoffe, die ohne äußere Einwirkung dauernd Strahlung aussenden

Radioaktivität	Eigenschaft mancher chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung dauernd Strahlung auszusenden
Radiojod	radioaktive Jodisotope
Radionuklide	instabile Nuklide, die dauernd Strahlung aussenden
Rem	Einheit der Äquivalentdosis $1 \text{ Rem (rem)} = 1\,000 \text{ Millirem (mrem)}$
Röntgen	Einheit der Ionendosis $1 \text{ Röntgen (R)} = 258 \text{ } \mu\text{C/kg}$ $= 1\,000\,000 \text{ Mikroröntgen (}\mu\text{R)}$
Strahlenbelastung	siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper
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

Anteil der Bevölkerung (%)

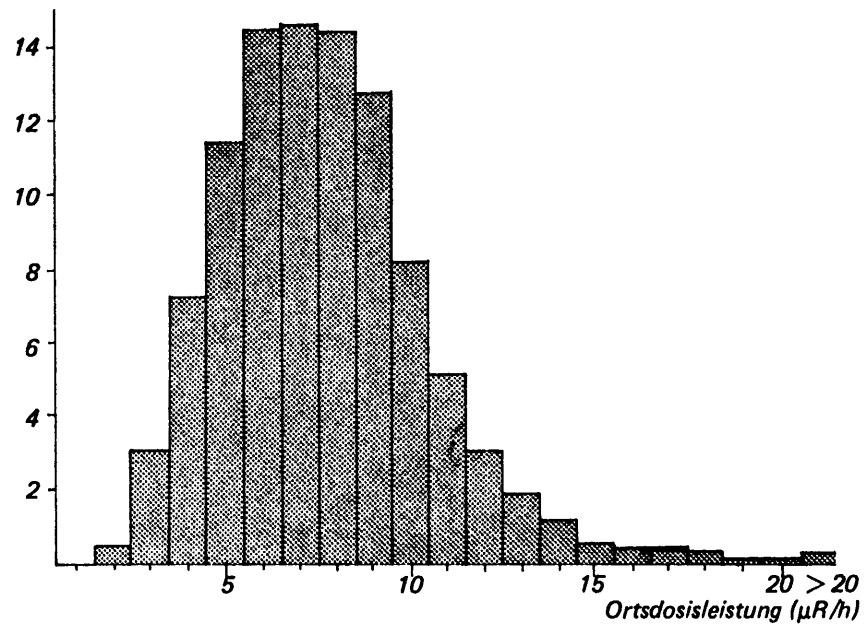


ABB. 1

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

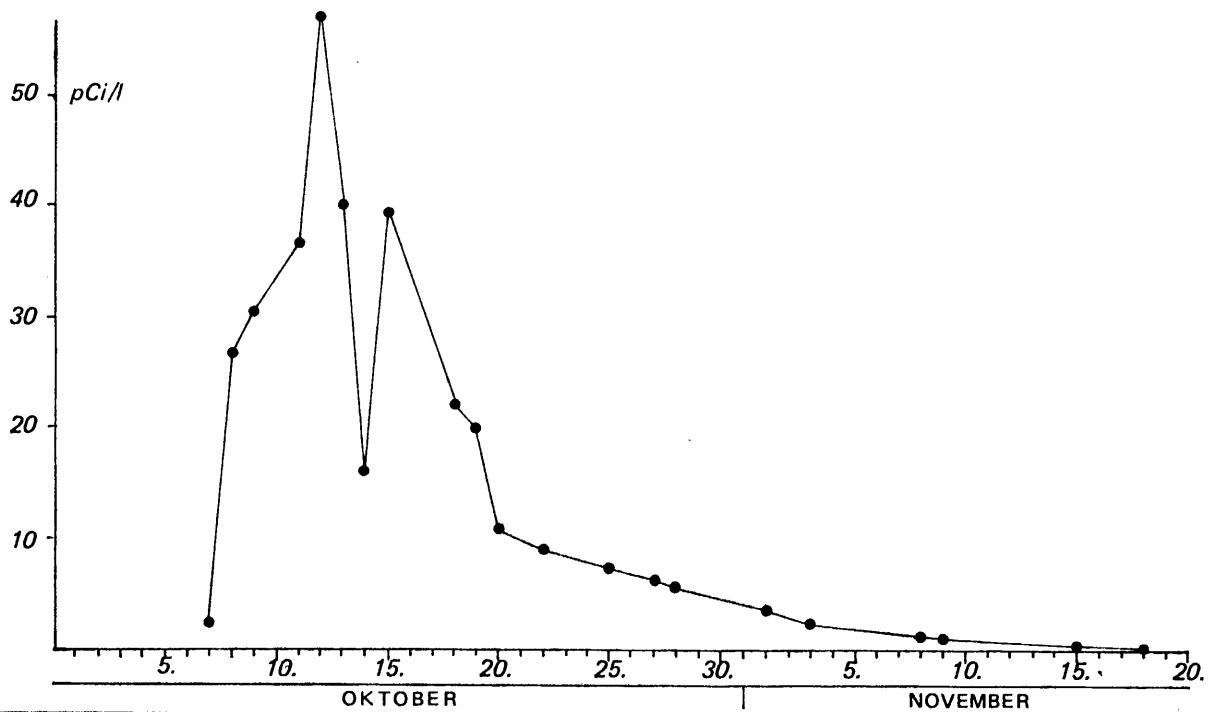
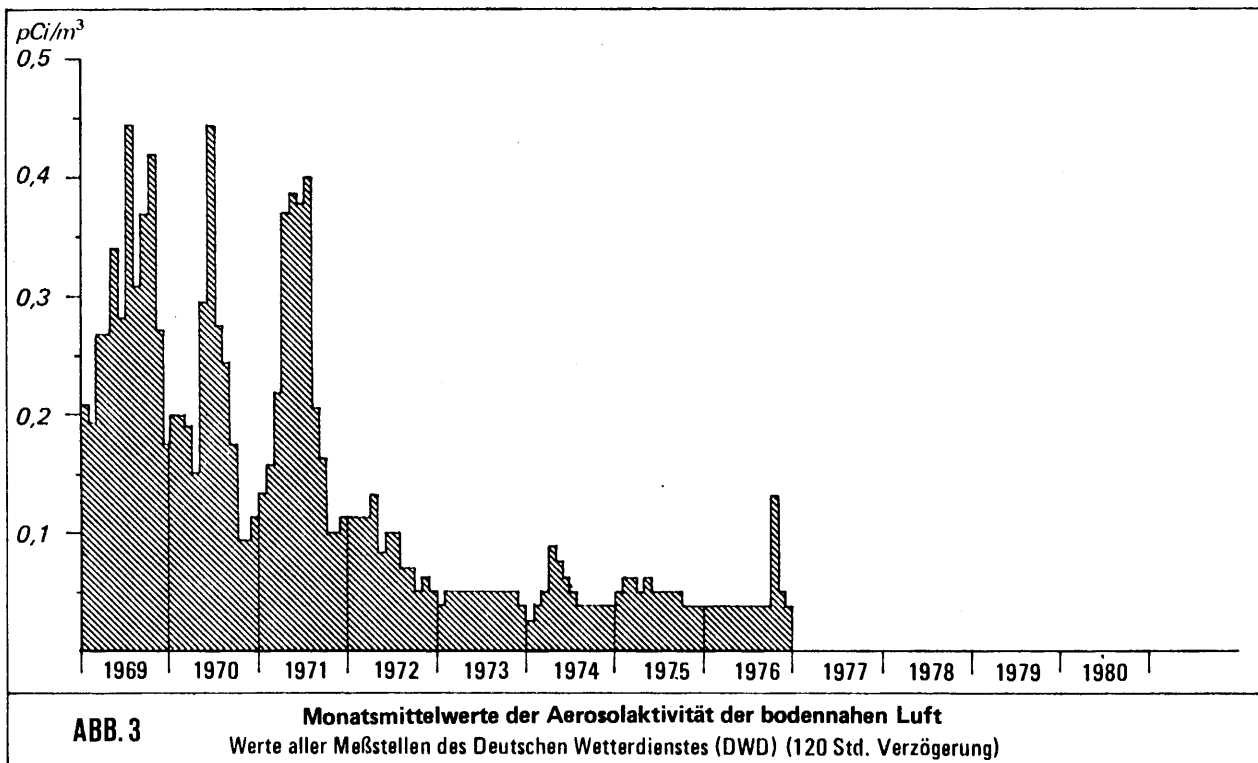


ABB. 2

J-131-Gehalt der Milch aus Kiel nach dem Kernwaffenversuch der Volksrepublik China am 26.9.1976



**Genetisch signifikante Strahlenexposition des Menschen
in der Bundesrepublik Deutschland 1976**

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 1975 haben sich keine Änderungen ergeben.

Tabelle 2

Durch terrestrische Strahlenexposition von außen bedingte Keimdrüsens dosis
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 3

Übersicht über die Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Stand: 31. Dezember 1976)

Kernkraftwerk/Standort	Typ *)	Jahr der Inbetriebnahme	Elektrische Bruttoleistung (MW)	Bruttostromerzeugung 1976 (MWa)
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	1961	16	12
Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe	D ₂ O-DWR	1965	58	51
Kernkraftwerk Gundremmingen	SWR	1966	250	146
Versuchskernkraftwerk AVR Jülich	HTR	1968	15	14
Kernkraftwerk Lingen	SWR	1968	252	194
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	1969	345	267
Kernkraftwerk Stade	DWR	1972	662	623
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	1972	670	438
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	Na	1973	21	0
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1974	1 204	621
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1976	1 300	93
Kernkraftwerk Neckarwestheim	DWR	1976	855	242
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	1976	806	124

*) SWR — Leichtwasser-Siedewasserreaktor
DWR — Leichtwasser-Druckwasserreaktor
D₂O-DWR — Schwerwasser-Druckwasserreaktor
HTR — gasgekühlter Hochtemperaturreaktor
Na — natriumgekühlter Reaktor

Tabelle 4

Jahresabgabe radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken ^{1) 2)} im Jahr 1976
(Ci/Jahr)

Kernkraftwerk	Abluft						Abwasser	
	Edelgase	Aerosole		Jod-131	C-14 ³⁾	Tritium	Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium)	Tritium
		kurzlebige	langlebige					
Kahl	300	0,014	<0,001	0,003	0,1	ca. 2	0,009	27
Gundremmingen	5 300	0,006	0,005	0,35	1,5	27	1,3	53
Lingen	6 400	3,9	0,0005	0,050	2	6	0,031	15
Obrigheim	340	0,0005	0,008	0,0002	1,5	62	1,2	144
Stade	10 500	<1,7	0,007	0,020	3	21	0,24	45
Würgassen	480	7,6	0,017	0,046	4	n. b.	1,07	25
Biblis A	1 150	0,076	0,028	0,013	3	9,5	0,20	320
Biblis B	300	0,037	0,002	0,010	0,5	n. b.	0,26	22
Neckarwestheim	520	n. b.	0,0005	0,002	1	2	0,24	5
Brunsbüttel	970	n. b.	0,007	2 · 10 ⁻⁵	1	0,2	0,63	2

¹⁾ Die Jahresabgaben von MZFR, KNK und AVR sind in den Abgaberraten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 5).

²⁾ Werte zum Teil gerundet

³⁾ Vom Bundesgesundheitsamt geschätzte Werte mit der Annahme, daß bei Siedewasserreaktoren im Mittel 10 Ci pro GWa und bei Druckwasserreaktoren 5 Ci pro GWa abgegeben werden (als CO₂)

n. b. nicht berichtet

Tabelle 5

Jahresabgabe radioaktiver Stoffe aus Kernforschungszentren im Jahr 1976
(Ci/Jahr)

Kernforschungszentrum	Abluft					Abwasser		
	Edelgase	Aerosole	J-131	J-129	Tritium	Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium)	Tritium	Alphastrahler
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	170 000	0,305 ¹⁾	< 0,0045	0,0106	1 179 ²⁾	0,038	4 024	0,0009 ³⁾
Kernforschungsanlage Jülich	538	24,9	0,0013	—	174	0,186	97,6	0,002

¹⁾ davon maximal 0,0035 Ci/a Alphastrahler; einschließlich 0,035 Ci/a Sr-90

²⁾ ohne Wiederaufarbeitungsanlage

³⁾ Pu-238 und Pu-239+240

Tabelle 6

**Jahresabgabe radioaktiver Stoffe (α -Aktivität) aus
kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1976**

Betrieb	Abluft	Abwasser
ALKEM GmbH (Hanau)	ca. 0,5 μ Ci	62,1 μ Ci
NUKEM GmbH (Hanau)	0,71 mCi	311 mCi
Reaktor-Brennelement Union GmbH		
Werk I (Hanau)	4,72 mCi	1,12 Ci
Werk II (Karlstein)	< 0,13 mCi	10,8 mCi

Tabelle 7

**Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus den Kernkraftwerken
seit ihrer Inbetriebnahme
(Ci/Jahr)**

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosoie (HWZ > 8 d)	J-131	Spalt- und Aktivierungs- produkte	H-3
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	0,70	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
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	1,0	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

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosole (HWZ > 8 d)	J-131	Spalt- und Aktivierungs- produkte	H-3
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
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
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
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
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
Biblis B					
1976	300	0,002	0,010	0,24	22
Neckarwestheim					
1976	520	0,0005	0,002	0,21	5
Brunsbüttel					
1976	970	0,007	2 E-5	0,63	2

HWZ = Halbwertszeit; E-4 = 10^{-4}

Die verschiedenen hohen Abgaben in den einzelnen Jahren sind vor allem durch die von Jahr zu Jahr verschiedene lange Betriebsdauer der Kraftwerke bedingt.

Tabelle 8

**Strahlenexposition im Jahr 1976 in der Umgebung von Kernkraftwerken
durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft**

Kernkraftwerk	Maximale ¹⁾ Strahlenexposition (mrem/a) durch				Mittlere Keimdrüsen- exposition (mrem/a) der Bevölkerung über Gamma-Submersion im Umkreis von	
	Submersion		Ingestion		0—3 km	0—20 km
	Gamma- Submersion (Ganzkörper)	Beta- Submersion (Haut)	Jod-131 ²⁾ (Schilddrüse -Kleinkind)	C-14 ³⁾ (Knochen -Erwachse- ner)		
Kahl	0,08	0,05	1	0,02	0,002	<0,001
Gundremmingen	0,4	0,1	40	0,04	0,02	0,001
Lingen	0,2	0,04	1	0,02	0,01	0,002
Obrigheim	0,07	0,06	0,1	0,4	0,002	<0,001
Stade	0,3	0,09	1	0,04	0,01	0,001
Würgassen	0,2	0,3	30	0,9	0,002	<0,001
Biblis A	0,04	0,01	2	0,1	0,003	<0,001
Biblis B						
Neckarwestheim	0,006	0,007	0,2	0,06	0,001	<0,001
Brunsbüttel	0,03	0,02	0,001	0,02	0,001	<0,001

¹⁾ berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

²⁾ Annahme eines Milchverzehrs von 0,8 l pro Tag von einer Kuh, die während der Weidezeit dauernd am ungünstigsten Aufpunkt weidet, sowie Annahme, daß die Hälfte des Jodes in elementarer Form vorliegt.

³⁾ berechnet unter der Annahme, daß die Gesamtnahrung am ungünstigsten Aufpunkt erzeugt wird

Tabelle 9

**Strahlenexposition im Jahr 1976 in der Umgebung von Kernkraftwerken
durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser**

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers (mrem/a) für Einzelpersonen über				Mittlere Strahlen- exposition (mrem/a) der Bevölkerung (Ganzkörper)
	Trinkwasser	Fisch	landwirt- schaftliche Produkte	Summe (ein- schließlich Bestrahlung am Ufer)	Summe (einschließlich Bestrahlung am Ufer)
Kahl	<0,01	0,02	<0,01	0,03	<0,01
Gundremmingen	0,06	1,0	0,3	1,4	0,2
Lingen	<0,01	0,04	<0,01	0,06	<0,01
Obrigheim	0,01	0,6	0,04	0,7	0,03
Stade	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Würgassen	<0,01	0,02	0,01	0,09	<0,01
Biblis A	} <0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Biblis B					
Neckarwestheim	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Brunsbüttel	<0,01	0,1	<0,01	0,1	<0,01

Tabelle 10

**Strahlenexposition im Jahre 1976 in der Umgebung von Kernforschungszentren
durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft ¹⁾ ²⁾**

Kernforschungszentrum	maximale Strahlenexposition (mrem/a) durch				Mittlere Keimdrüsen- exposition (mrem/a) der Bevölkerung im Umkreis von	
	Gamma- Submersion (Ganzkörper- dosis)	Beta- Submersion (Hautdosis)	Pu-239 Inhalation (Knochen- dosis)	Radiojod Ingestion (Schilddrüse Kleinkind)	0—3 km	0—20 km
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungs- anlage)	18	13	0,9 ³⁾	72	<1,5	0,14
Kernforschungszentrum Jülich	0,20	0,09		— ⁴⁾	<0,03	<0,002

¹⁾ Ortsdosen; entnommen den Jahresberichten 1976 der Kernforschungszentren Jülich (ZST-Bericht 249) und Karlsruhe (KFK 2433)

²⁾ maximale Strahlenexposition über Abwasser 1 mrem/a

³⁾ über 50 Jahre integrierter Wert

⁴⁾ keine Emissionen während der Weidezeit (15. April bis 15. Oktober)

Tabelle 11

Strahlenexposition im Jahr 1976 in der Umgebung der kernstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft

Betrieb	Maximale Strahlenexposition *) (mrem/a) durch Inhalation (Lunge — Kleinkind)
ALKEM GmbH (Hanau)	<0,01
NUKEM GmbH (Hanau)	2
Reaktor Brennelement Union GmbH	
Werk I (Hanau)	1
Werk II (Karlstein)	<0,4

*) berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

Tabelle 12

Strahlenexposition im Jahr 1976 in der Umgebung der kernstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abwasser

Betrieb	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers (mrem/a) für Einzelpersonen über				Mittlere Strahlenexposition (mrem/a) der Bevölkerung (Ganzkörper) Summe
	Trinkwasser	Fisch	Landwirtschaftliche Produkte	Summe	
ALKEM GmbH (Hanau)					
NUKEM GmbH (Hanau)					
Reaktor-Brennelement Union . . .	0,01	0,2	0,02	0,2	0,01
Werk I (Hanau)					
Werk II (Karlstein)					

Tabelle 13

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

Warengruppe	Einzelprodukt	Enthaltene Radionuklide
Geräte, die Leuchtfarben enthalten	Skalen und Zeiger bei Uhren, Kompassen, Luftfahrzeug-Instrumenten	H-3, Pm-147
Keramische Gegenstände, Glaswaren	Uranfarben für Kacheln und Porzellane	Natürliches oder abgereichertes Uran
Elektrische Bauteile und elektrotechnische Geräte	Elektronenröhren, Überspannungsableiter	H-3, Co-60, Kr-85, Cs-137
Vorrichtungen mit Tritiumgasleuchtröhren	Meßgeräte, Notbeleuchtungen	H-3
Gas- und Aerosol-Detektoren	Rauch- und Feuermelder	Ra-226, Am-241
Antistatika	Vorrichtungen für Verhinderung von Aufladungen	Ra-226, Am-241
Technische Geräte	Prüfstrahler bzw. Eichstrahler	Ir-192, Co-60, Cs-137, Na-22, C-14, Sr-90, Ba-133, Pb-210, Ra-226
Wissenschaftliche Instrumente	Dicken- und Dichtemeßgeräte; Füllstandsmeßgeräte; Röntgenfluoreszenzanalysengeräte; Gaschromatographen; Geräte für Demonstrationszwecke, z. B. in Schulen	Co-60, Kr-85, Sr-90, Cs-137, Pm-147, Tl-204, Am-241 Co-60, Cs-137 H-3, Pm-147, Cd-109, Fe-55, Pu-238 H-3, Ni-63 Ra-226
Glaswaren für den Gerätebau	optische Gläser, optische Linsen	Th nat
Metallegierungen	Stahl/Thorium-Wolfram/Thorium-Molybdän/Thorium-Magnesium/Thoriumlegierungen	Th nat
Düngemittel	Phosphatdünger Superphosphat Thomasphosphat kalium- und stickstoffhaltige Phosphatdünger	U nat, Ra-226 Th nat, K-40

Tabelle 14

Mittelwerte der Hauteinfallsdosen aus 11 000 Untersuchungen von Kindern und Jugendlichen für fünf Untersuchungsarten, die wesentlich zur Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik beitragen

(Dosis in mR)

	0 bis 4 Jahre	2 bis 4 Jahre	4 bis 6 Jahre	6 bis 10 Jahre	10 bis 15 Jahre
i. v. Pyelogramm	70	75	90	120	160
Becken/Hüfte	10	20	32	50	80
MCU (Miktions-Cysto-Urethrographie) (Durchleuchtung und Aufnahme)	190	225 *)	190	195	285
Colon (Durchleuchtung und Aufnahme)	270	740 *)	620	860	1 350
MDP (Magen-Darmpassage) (Durchleuchtung und Aufnahme)	240	660 *)	620	630	970

*) Höhere Werte durch die jeweilige Fragestellung sowie Verhaltensweise des Kindes bedingt.

Tabelle 15

**Mittelwerte der Strahlendosen im untersuchten bzw. kritischen Organ und im
Ganzkörper für verschiedene nuklearmedizinische Untersuchungen
bei Kindern und Jugendlichen**

(Dosis in mrd)

	0 Jahre Neuge- borene	1 Jahr (1 bis 4 Jahre)	5 Jahre (5 bis 9 Jahre)	10 Jahre (10 bis 14 Jahre)	15 Jahre (15 bis 19 Jahre)
Schilddrüse					
J-131-Jodid					
Schilddrüse	112 000	165 000	115 000	90 000	92 000
mdr/Applikation					
Ganzkörper	160	70	80	55	45
mrd/Applikation					
Technetium 99m-Pertechnetat					
Schilddrüse	480	390	330	290	300
Ganzkörper	25	18	16	15	11
Niere					
J-131-Hippuran					
Niere	400	400	400	400	300
Ganzkörper	14	12	11	11	10
Gehirn					
Technetium 99m-Pertechnetat					
Unterer Dickdarm	4 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Ganzkörper	360	270	240	220	170
Knochen					
Technetium 99m-Phosphat					
Skelett	270	180	180	160	140
Leber					
Technetium 99m-S-Kolloid					
Leber	1 810	1 170	1 200	1 010	1 000