

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung für das Jahr 1988

Inhalt

	Seite
I. Auftrag und Zusammenfassung	2
1. Auftrag	2
2. Zusammenfassung	2
II. Natürliche und zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition	3
III. Zivilisatorische Strahlenexposition	3
1. Kerntechnische Anlagen	3
1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen	3
1.2 Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen	4
1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition von Einzelpersonen und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevölkerung	4
2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	5
3. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt	5
3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	5
3.2 Störstrahler	6
4. Berufliche Tätigkeit	6
5. Besondere Vorkommnisse	6
6. Fall-out von Kernwaffenversuchen	6
IV. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl ..	7
Tabellen	10
Abbildungen	23

I. Auftrag und Zusammenfassung

1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610) sieht die jährliche Berichterstattung durch den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der Bericht für das Jahr 1988 wird hiermit vorgelegt. Er umfaßt die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Die Gesamtheit des Datenumaterials wird jeweils in den ausführlichen Jahresberichten über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ wiedergegeben.

2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt

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

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich zusammen aus der Strahlenexposition von außen durch die kosmische und terrestrische Komponente der natürlichen Strahlung und aus der Strahlenexposition von innen durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper. Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen.

Die Beiträge zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung resultieren aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt, aus der beruflichen Tätigkeit, aus Strahlenunfällen und besonderen Vorkommnissen in Anlagen der Bundesrepublik Deutschland sowie aus dem Fall-out von Kernwafferversuchen in der Atmosphäre und dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl vom 25. April 1986.

Dieser Unfall hat zu einer nachhaltigen Veränderung der Umweltradioaktivität geführt. Die Auswirkung auf die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Vorsorgemaßnahmen, wie Verhaltensempfehlungen und Handelsbeschränkungen für Lebensmittel, konnte günstig beeinflußt werden. Im nationalen wie internationalen Bereich sind Konsequenzen, u. a. mit dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, mit Rechtsakten

der Europäischen Gemeinschaft und mit Konventionen zur Information und Hilfeleistung bei kerntechnischen Unfällen im Rahmen der Internationalen Atomenergiebehörde gezogen worden. Über die Auswirkungen des Unfalls von Tschernobyl auf das Bundesgebiet und die getroffenen Maßnahmen und Initiativen ist der Deutsche Bundestag im einzelnen unterrichtet worden.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1988 ist in der Tabelle 1 nach den verschiedenen Strahlenquellen aufgeschlüsselt. Die effektive Dosis aus natürlichen Strahlenquellen, die im Gegensatz zur genetisch signifikanten Dosis auch die Strahlenexposition anderer Organe und damit auch der Lunge durch Radon berücksichtigt (s. Abschnitt II), beträgt im Mittel 2,4 mSv mit einer mittleren Schwankung von ca. 1 mSv. Die durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin hervorgerufene effektive Dosis von 1,5 mSv ist mit einer Schwankungsbreite von ca. 50% behaftet; auf diese Schwankungsbreite wird im Kapitel III.2 näher eingegangen. Bei den übrigen Beiträgen zur zivilisatorischen Strahlenexposition liegen die tatsächlichen Werte unter den angegebenen oberen Grenzen.

Als zusammenfassendes Ergebnis ist für das Jahr 1988 folgendes festzustellen:

- Der Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl hat die Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland verändert. Die dadurch bedingte Strahlenexposition der Bevölkerung ging 1988 auf ca. 2% der natürlichen Strahlenexposition (2,4 mSv) zurück. Südlich der Donau kann die Dosis, je nach örtlichen Gegebenheiten, in Einzelfällen bis zu einem Faktor 5 höher sein.
- Eine statistisch gesicherte Veränderung der Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland aus den übrigen Beiträgen ist gegenüber den Vorjahren bei Berücksichtigung der Unsicherheiten, mit denen die Hauptbeiträge zu dieser Dosis behaftet sind, nicht feststellbar.
- Die Strahlendosis durch die Radonkonzentrationen in Wohnungen bedingt ca. 50% der Strahlendosis natürlichen Ursprungs.
- Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur effektiven Dosis der Bevölkerung betrug im Jahr 1988 weniger als 1 Prozent des Beitrages der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe blieben bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Werte.
- Der größte Beitrag der zivilisatorischen Strahlenexposition wird durch die Anwendung ionisieren-

der Strahlen in der Medizin, vor allem durch die Röntgendiagnostik verursacht. Die Untersuchung des Bundesgesundheitsamtes „Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch medizinische Maßnahmen, insbesondere in der Röntgendiagnostik“ zeigt zwar, daß sich wesentliche, die Strahlenbelastung beeinflussende Parameter (z. B. Zahl und Qualität der Untersuchungen, Untersuchungsmethoden) verbessert haben. Die daraus resultierende Verringerung der Dosis kann jedoch rechnerisch nicht als exakter Zahlenwert dargestellt werden, da die ermittelte Dosis eine sehr große Schwankungsbreite in sich birgt.

— Obwohl die Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen weiterhin zugenommen hat, bleibt der Anteil der beruflichen Strahlenexposition am Beitrag der zivilisatorischen Strahlenexposition unter einem Prozent.

— Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche zur Dosis ist weiterhin rückläufig. Im Jahr 1988 wurden keine Kernwaffenversuche in der Atmosphäre durchgeführt.

II. Natürliche und zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

Nach Erhebungsmessungen zur Ermittlung der Höhe und Schwankungsbreite der Aktivitätskonzentration des natürlich radioaktiven Edelgases Radon in annähernd 6 000 Wohnungen wurde eine mittlere Radonkonzentration in Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland von etwa 50 Bq/m³ festgestellt. Diese Untersuchungen deuten darauf hin, daß in 10 % der Wohnungen eine Radonkonzentration von mehr als 80 Bq/m³ und in 1 % der Wohnungen eine Radonkonzentration von mehr als 200 Bq/m³ vorliegt.

Für die Strahlenexposition der Lunge ergibt sich bei dem Mittelwert der Radonkonzentration von 50 Bq/m³ eine mittlere jährliche Äquivalentdosis von etwa 18 mSv im Bronchialepithel und von etwa 2,4 mSv im Alveolarbereich. Aufgrund der gemessenen Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration ist anzunehmen, daß z. Z. bei etwa 1 % der Bevölkerung die natürliche Strahlenexposition des Bronchialepithels bzw. des Alveolargewebes der Lunge größer als 70 bzw. 10 mSv pro Jahr ist.

Das Bronchialepithel ist damit das am stärksten durch natürliche Quellen strahlenexponierte Gewebe des menschlichen Körpers. Die Strahlenexposition der Lunge trägt etwa zur Hälfte der jährlichen effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen bei.

Bei den bisher ermittelten Wohnungen mit erhöhter Radonkonzentration ist die Hauptquelle die Radonzufuhr aus dem Boden unter den Häusern. Zur Zeit werden gezielte Untersuchungen zur Auffindung von Wohnungen mit erhöhter Radonkonzentration und zur Erarbeitung einfacher Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration durchgeführt.

Über die anderen Komponenten der natürlichen und zivilisatorisch veränderten natürlichen (z. B. externe Strahlenexposition durch Fliegen in größeren Höhen) Strahlenexposition wurden im Berichtszeitraum keine wesentlichen neuen Erkenntnisse bekannt. Hier wird auf die früheren Berichte verwiesen.

III. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kerntechnische Anlagen

1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Die für das Jahr 1988 ermittelten Werte für die Abgabe radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen zeigen, daß die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen Jahresabgaben liegen im allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Tabelle 2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10¹⁵ Becquerel für

Edelgase, ca. 3 · 10¹⁰ Bq für Aerosole und ca. 10¹⁰ Bq für Iod 131 zeigt.

Die für 1988 aus den Jahresabgaben nach der „Allgemeinen Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer“ vom 15. August 1979 (GMBI. S. 371, zuletzt geändert am 3. Mai 1985, GMBI. S. 380) und dem Konzept der effektiven Dosis ermittelten Werte der Strahlenexposition liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres. Die oberen Werte der Strahlenexposition für Einzelpersonen durch Emissionen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen haben die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten und betragen bei der effektiven Dosis weniger als 10 % des Dosisgrenzwertes; dies gilt auch für

die einzelnen Organdosen, mit Ausnahme der Schilddrüsendosis eines Kleinkindes, die rechnerisch durch die radioaktiven Ableitungen in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe rund 13 % des Dosisgrenzwertes erreicht. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Summierung aller Beiträge von kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland führte auch 1988 zu deutlich weniger als 10 μSv pro Jahr mittlerer effektiver Dosis.

1.2 Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

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

Die für 1988 ermittelten Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Tabellen 2 und 3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Abgaben der Vorjahre und unterschreiten im allgemeinen deutlich die entsprechenden Genehmigungswerte. In Tabelle 4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich im Jahr 1988 zusammengefaßt. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren im Bundesgebiet betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. Tabelle 5 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 1988 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle 6 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze mitberücksichtigt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EG-Ländern berichtet die Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Die Jahresabgaben der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten der Eidgenössi-

schen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität veröffentlicht.

1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen nach dem in der Richtlinie „Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern“ festgelegten Verfahren ermittelt. Die Dosisberechnungen erfolgen ab dem Berichtsjahr 1986 nach dem von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) entwickelten Konzept der effektiven Dosis.

Die für Einzelpersonen angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, da sie unter der Annahme eines ständigen Aufenthaltes am Ort der größten Strahlenexposition von außen sowie unter den Annahmen berechnet wurden, daß die gesamte Nahrung an der ungünstigsten Einwirkungsstelle erzeugt wird und daß ungünstige Verzehrsgewohnheiten vorliegen.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 1988 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält Tabelle 7. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder über sämtliche relevanten Expositionspfade: Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion), Gammastrahlung am Boden abgelagerter radioaktiver Stoffe, Inhalation und Ingestion. Dabei wurde die in den Vorjahren emittierte Aktivität der langlebigen Aerosole und ihre Akkumulierung im Boden berücksichtigt. Tabelle 7 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 4 μSv beim Kernkraftwerk Würgassen, der den Grenzwert der Strahlenschutzverordnung von 300 μSv um den Faktor 75 unterschreitet. Bei der Ermittlung der oberen Werte der Schilddrüsendosis eines Kleinkindes wurde ein Milchverzehr von 0,8 Liter pro Tag aus dem Hauptbeaufschlagungsgebiet vorausgesetzt. Als größten Wert ergibt die Rechnung 15 μSv beim Kernkraftwerk Würgassen, der einem Sechzigstel des Dosisgrenzwertes für die Schilddrüse entspricht. Messungen des Gehaltes an Iod 131 in Milchproben aus der unmittelbaren Umgebung des Kernkraftwerkes Würgassen haben ergeben, daß die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes durch die Modellrechnung deutlich überschätzt wird.

In Tabelle 8 sind die aus den Abgaben radioaktiver Stoffe mit Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis von Einzelpersonen zusammengestellt; hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere ein hoher Konsum an Flußfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,4 μSv beim Kernkraftwerk Gundremmingen. Im Vorjahr lag er bei 0,6 μSv ebenfalls bei diesem Kernkraftwerk. Unterschiede zum Vorjahr sind durch Änderungen in den Emissionen bedingt.

Die in Tabelle 9 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernforschungszentren stammen aus den Jahresberichten und aus zusätzlichen Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich. Die Tabelle weist für die effektive Dosis über sämtliche relevanten Expositionspfade als größten Wert an der ungünstigsten Einwirkungsstelle beim Kernforschungszentrum Karlsruhe für 1988 einen Wert von 4,5 μSv auf; im Vorjahr hatte sich ein größter Wert von 7,8 μSv bei der Kernforschungsanlage Jülich ergeben. Als größten Wert für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes ergaben die Berechnungen für 1988 beim Kernforschungszentrum Karlsruhe an der ungünstigsten Einwirkungsstelle 114 μSv . Im Vorjahr lag der entsprechende Wert bei 61 μSv .

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Kernforschungszentren ergibt die Abschätzung aufgrund von Meßwerten, die bei radioökologischen Untersuchungen gewonnen wurden, einen oberen Wert von 20 μSv pro Jahr.

Für die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe in Hanau, Karlstein, Lingen und Gronau sind in Tabelle 10 die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten oberen Werte der effektiven Dosis eines Erwachsenen und der Lungendosis eines Kleinkindes durch Emission von Alphastrahlern in der Abluft angegeben. Der höchste Wert der effektiven Dosis eines Erwachsenen beträgt wie im Vorjahr 1 μSv . Für die Lungendosis eines Kleinkindes ergibt sich im Jahr 1988, wie auch 1987, als höchster Wert 8 μSv .

Die durch die Abgaben von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis Erwachsener sind in Tabelle 11 aufgeführt. Sie betragen wie im Vorjahr maximal 0,4 μSv für die Reaktor-Brennelement Union GmbH Werk I in Hanau.

Die Berechnungen zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle 6) ergeben 1988 auf Bundesgebiet an den ungünstigsten Einwirkungsstellen für die effektive Dosis obere Werte im Bereich von 1 μSv pro Jahr. Für die Schilddrüsendosis von Kleinkindern über den Weide-Kuh-Milch-Pfad liegen die unter den sehr ungünstigen Annahmen der Berechnungsgrundlage ermittelten oberen Werte bei ca. 100 μSv pro Jahr. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radioiodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde im Berichtszeitraum Iod 131 in Milch nicht nachgewiesen.

2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung durch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen betrug im Jahr 1988 ca. 1,5 mSv (effektive Dosis).

Der größte Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus der medizinischen Röntgendiagnostik.

Die über lange Jahre hin festgestellten hohen jährlichen Zuwachsraten in den Anwendungsfrequenzen röntgendiagnostischer Untersuchungsverfahren sind während der letzten Jahre zum Stillstand gekommen; für wesentliche radiologische Untersuchungsverfahren zeichnet sich sogar ein rückläufiger Trend ab. Ursache hierfür sind sowohl eine strengere Indikationsstellung von Seiten der Ärzte aufgrund eines gestiegenen Strahlenschutzbewußtseins als auch eingeführte alternative Untersuchungsverfahren, insbesondere Sonographie und Endoskopie. Des weiteren kann ein Rückgang der Strahlenexposition des einzelnen untersuchten Patienten angenommen werden, der zum einen auf technische Regelungen des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) für wichtige Röntgeneinrichtungen, zum anderen auf die generelle Einführung dosissparender Untersuchungstechniken, z. B. durch den Einsatz von Röntgenbildverstärkern, Belichtungsautomatiken und verbesserten Film-Foliensystemen, zurückzuführen ist. Die gesetzlichen Vorschriften (Röntgenverordnung und Strahlenschutzverordnung) haben sich auf die Strahlenexposition des einzelnen und der Gesamtheit positiv ausgewirkt. Die neue Röntgenverordnung vom 8. Januar 1987 beinhaltet zahlreiche weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Strahlenschutzes in der Röntgendiagnostik, die durch entsprechende Richtlinien konkretisiert sind. Dadurch sind von gesetzgeberischer Seite die Voraussetzungen zur Verbesserung der ärztlichen Fachkunde und der Kenntnisse des medizinischen Hilfspersonals im Strahlenschutz geschaffen und in der Folge Verbesserungen der Untersuchungsverfahren bzw. Untersuchungstechniken mit angeregt. Darüber hinaus sind weitere Vorschriften über Sachverständigenprüfungen, über technische Standards von Röntgeneinrichtungen und über qualitätssichernde Maßnahmen erlassen worden. Auch das vom Deutschen Bundestag geforderte „Röntgennachweisheft“ ist eingeführt worden, um so Wiederholungsuntersuchungen auf das notwendige Maß zu begrenzen.

Bei der Wertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen ist jedoch zu berücksichtigen, daß daraus ein Strahlenrisiko für den einzelnen resultiert, welches bei gewissenhafter Indikationsstellung gegenüber dem Nutzen für seine Gesundheit in den Hintergrund tritt.

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

3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse, wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Rauch- und Feuermelder, keramische Gegenstände u. a., enthalten radioaktive Stoffe verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, bei dem auch ein genehmigungsfreier Umgang z. B. durch Bauartzulassung möglich ist. Die Einhaltung der Vor-

schriften der Strahlenschutzverordnung gewährleistet, daß der Umgang mit diesen radioaktiven Industrieerzeugnissen einschließlich Antistatika, keramischen Gegenständen und Zahnmassen weniger als 10 μSv pro Jahr zur effektiven Dosis der Bevölkerung beiträgt.

Bei einigen technischen Prozessen werden radioaktive Stoffe zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstand-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen unterliegt, falls das Gerät selbst keine Bauartzulassung besitzt, der Genehmigungspflicht; die damit verbundenen Auflagen garantieren, daß auch der hieraus resultierende Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung niedriger als 10 μSv pro Jahr ist.

3.2 Störstrahler

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

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung wird mit einer effektiven Dosis von weniger als 10 μSv abgeschätzt.

4. Berufliche Tätigkeit

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von den fünf nach Landesrecht zuständigen amtlichen Personendosismeßstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Zahl der überwachten Personen betrug (gerundet) im Berichtsjahr 285 000, davon im Bereich Medizin 192 000. Abbildung 1 zeigt den Verlauf seit 1981.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahlen sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,37 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, daß bei ca. 85 % aller Überwachten (rd. 90 % im Bereich Medizin, rd. 70 % in nichtmedizinischen Bereichen) während des ganzen Jahres die untere Meßbereichsgrenze des Personendosimeters von 0,2 mSv nicht überschritten wird; die Meßstellen stellen in diesen Fällen einen Personendosiswert Null fest; bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufigkeit kleiner Dosiswerte. Bildet man einen Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahres-Personendosiswerten, so ergibt sich eine mittlere Jahres-Personendosis von 2,3 mSv.

Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) betrug im Berichtsjahr 105 Personen-Sv. Die Beiträge typischer Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt Abbildung 2. Die auffallende Verringerung der Kollektivdosis ab 1984 wird überwiegend auf die Beendigung besonderer Umrüstungs- und Prüfungsmaßnahmen (im Zeitraum 1979 bis 1983) in Kernkraftwerken sowie auf eine weitere Optimierung des Strahlenschutzes zurückgeführt. Das Verhältnis der Kollektivdosis der in Kernkraftwerken tätigen Personen und der in diesen Anlagen erzeugten elektrischen Energie gibt Tabelle 12 wieder.

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. Die Zahl dieser Personen betrug weniger als 10 % der mit Personendosimetern überwachten Personen. Bei weniger als 1 % dieses Personenkreises wurde eine Inkorporation von mehr als 5 % des Grenzwertes der zulässigen Jahresaktivitätszufuhr festgestellt. Der Beitrag der Strahlenexposition durch inkorporierte radioaktive Stoffe zur gesamten beruflichen Strahlenexposition war daher vergleichsweise gering.

5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Betrieb von Beschleunigern im Jahr 1988, die dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit von den zuständigen Landesbehörden gemeldet worden sind, enthält Tabelle 13. Die Vorkommnisse im Zusammenhang mit Ionisationsrauchmeldern sind gesondert zusammengestellt (Tabelle 14). Diese Zusammenstellungen sollen dazu dienen, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung bekanntzumachen und dadurch die Strahlenschutzverantwortlichen, die Strahlenschutzbeauftragten, die beruflich mit ionisierenden Strahlen bzw. radioaktiven Stoffen Umgehenden und die vor Ort tätigen Aufsichtsbehörden für ihren Bereich in die Lage zu versetzen, vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden.

6. Fall-out von Kernwaffenversuchen

Nach den vorliegenden Meldungen wurden 1988 insgesamt 39 unterirdische Kernwaffenversuche durchgeführt. Aus diesen unterirdischen Versuchen resultiert keine zusätzliche Strahlenexposition des Menschen in der Bundesrepublik Deutschland.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist in den letzten 20 Jahren ständig zurückgegangen. Die langlebigen Fall-out-Radionuklide sind im menschlichen Körper aber noch immer nachweisbar. Ihr Beitrag an der gesamten Strahlenexposition des Menschen ist gering (weniger als 0,25 %).

IV. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

In der Nacht vom 25. zum 26. April 1986 ereignete sich in Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl in der Ukraine/UdSSR ein Unfall, in dessen Folge eine größere Menge radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre freigesetzt wurde. Diese Stoffe wurden auf dem Weg der atmosphärischen Verfrachtung über große Teile Europas verteilt. Bedingt durch regional differierende Wettersituationen traten stark unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen in der Luft sowie durch Ablagerung in der Umwelt und den Lebensmitteln auf.

Die durch den Reaktorunfall verursachte externe Strahlung führte 1988 in der Bundesrepublik Deutschland zu einer effektiven Dosis — ausschließlich durch Caesium 134 und Caesium 137 bedingt — von im Mittel 0,025 mSv (Tabelle 1). Im Münchner Raum lag sie um etwa den Faktor 4 und im Berchtesgadener Raum um etwa den Faktor 10 über diesem Mittelwert.

1988 war die mittlere monatliche Caesium-Zufuhr über Grundnahrungsmittel nur noch leicht rückläufig, da die unmittelbar nach dem Unfall direkt kontaminierten Ernteprodukte und Futtermittel bereits ab Mitte 1987 weitgehend aufgebraucht waren; Caesium gelangt nunmehr fast nur noch über den auf den meisten Böden geringfügigen Transfer Boden — Pflanze in die Nahrung. Bei speziellen Lebensmitteln wie z. B. Wildfleisch und Waldpilzen traten auch 1988 teilweise höhere Caesium-Werte auf.

Seit dem Reaktorunfall in Tschernobyl wird von einer Reihe von Ganzkörpermeßeinrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland in verschiedenen Gebieten

der zeitliche Verlauf des Caesium 134- und Caesium 137-Gehaltes im Menschen verfolgt. Über die Ergebnisse wird regelmäßig in den Monats- bzw. Vierteljahresberichten des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung berichtet. Die aus der Inkorporation berechnete mittlere jährliche effektive Dosis für 1988 ist für einzelne Gebiete der Bundesrepublik Deutschland in Tabelle 15 zusammengestellt. Die effektive Dosis durch inkorporiertes Caesium 134 und Caesium 137 beträgt für den Raum München für Männer, Frauen bzw. Kinder 1988 etwa 0,03, 0,015 bzw. 0,014 mSv. Gegenüber dem Jahr 1987 haben die Dosen etwa um den Faktor 3 abgenommen. In den Gebieten nördlich der Donau ist die Dosis kleiner (unter 0,02 mSv), in Südost-Bayern ist sie höher (bis zu 0,09 mSv) als in München, jedoch sind die regionalen Unterschiede bei weitem nicht mehr so stark ausgeprägt wie im Vorjahr.

Insgesamt resultiert für die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, bundesweit gemittelt, eine Erhöhung der natürlich bedingten Strahlenexposition durch den Reaktorunfall von 2,4 mSv/Jahr (mit einer Spannweite von 1 bis 5 mSv/Jahr) durch den Reaktorunfall um etwa 2%. Für die am stärksten betroffenen Regionen Süddeutschlands ergeben sich um etwa den Faktor 5 größere Erhöhungen. Zukünftig ist mit einer leicht abnehmenden Tendenz infolge des radioaktiven Zerfalls des Caesiums und dessen Transportes in tiefere Bodenschichten zu rechnen.

Erläuterung der benutzten Fachausdrücke

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und einem u. a. von der Strahlenart abhängigen Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Curie	Alte Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie (Ci) liegt vor, wenn 37 Mrd. Atomkerne je Sekunde zerfallen. 1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerel
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Genetisch signifikante Dosis	Mittlere jährliche Keimdrüsendosis pro Person in einer Bevölkerung, gewichtet für jede Einzelperson mit der Wahrscheinlichkeit der Kindeserwartung nach der Strahlenexposition
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 100 Rad
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung von Gasen Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische oder Teilchenstrahlen, welche 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
Keimdrüsendosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über die Keimdrüsen
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum

Median	Siehe Zentralwert
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	In einem kurzen Zeitintervall erzeugte Ortsdosis, geteilt durch die Länge des Zeitintervalls
Rad	Alte Einheit der Energiedosis. 1 Rad (rd) = 10 Milligray
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiographiegerät	Gerät zur zerstörungsfreien Durchstrahlungsprüfung von Materialien mittels Radionukliden
Radioiod	Radioaktive Iodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Rem	Alte Einheit der Äquivalentdosis. 1 Rem (rem) = 10 Millisievert
Röntgen	Alte Einheit der Ionendosis. 1 Röntgen (R) = 258 $\mu\text{C/kg}$
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmeßwesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 13. Dezember 1985 (BGBl. I S. 2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis. 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert = 1 000 000 Mikrosievert
Somatisches Strahlenrisiko	Risiko der körperlichen Schädigung der von der Bestrahlung betroffenen Person, zur Unterscheidung vom genetischen Risiko, das für die Schädigung der Folgegenerationen besteht
Stochastisch	Zufallsabhängig
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
Zentralwert	Mittelwert, unterhalb dessen ebensoviel kleinere Werte wie oberhalb größere Werte liegen

Tabelle 1

**Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland
im Jahr 1988**

	Mittlere effektive Dosis mSv
1. Natürliche Strahlenexposition	
1.1 durch kosmische Strahlung	ca. 0,3
1.2 durch terrestrische Strahlung von außen im Mittel	ca. 0,5
bei Aufenthalt im Freien	ca. 0,43
bei Aufenthalt in Gebäuden	ca. 0,57
1.3 durch Inhalation von Radon in Wohnungen im Mittel	ca. 1,3
1.4 durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe	ca. 0,3
Summe der natürlichen Strahlenexposition	ca. <u>2,4</u>
2. Zivilisatorische Strahlenexposition	
2.1 durch kerntechnische Anlagen	< 0,01
2.2 durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin	ca. 1,5 *)
2.3 durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in For- schung, Technik und Haushalt (ohne 2.4)	< 0,02
2.3.1 Industrieerzeugnisse	< 0,01
2.3.2 technische Strahlenquellen	< 0,01
2.3.3 Störstrahler	< 0,01
2.4 durch berufliche Strahlenexposition (Beitrag zur mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung)	< 0,01
2.5 durch besondere Vorkommnisse	0
2.6 durch Fall-out von Kernwaffenversuchen	< 0,01
2.6.1 von außen im Freien	< 0,01
2.6.2 durch inkorporierte radioaktive Stoffe	< 0,01
Summe der zivilisatorischen Strahlenexposition	ca. <u>1,55</u>
3. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Mittel	
3.1 von außen	ca. 0,025
3.2 durch inkorporierte radioaktive Stoffe	ca. 0,015
Summe der Strahlenexpositionen durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	ca. <u>0,04</u>

*) Der Schwankungsbereich dieses Wertes beträgt ca. 50 %.

Tabelle 2

Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1988

Kernkraftwerk	Edelgase Bq	Aerosole ^{a)} Bq	Iod 131 Bq	¹⁴ CO ₂ Bq	Tritium Bq
Kahl ^{b)}	—	6,0 E02	—	—	—
Gundremmingen A ^{c)}	—	3,1 E06	—	—	6,9 E09
Lingen ^{c)}	—	6,1 E03	—	—	7,7 E07
Obrigheim	6,5 E11	1,4 E07	1,9 E05	9,9 E09	1,6 E11
Stade	3,8 E13	3,1 E07	1,0 E07	4,6 E10	7,6 E11
Würgassen	3,1 E12	2,4 E08	1,6 E08	1,9 E11	6,6 E11
Biblis A	1,5 E13	8,5 E07	3,9 E07	1,9 E10	2,4 E11
Biblis B	5,7 E12	3,4 E07	3,9 E07	2,6 E10	4,3 E11
Neckarwestheim 1	2,1 E13	6,3 E06	1,3 E07	6,3 E10	6,1 E11
Brunsbüttel	2,3 E13	2,3 E07	8,8 E07	5,9 E11	1,5 E11
Isar 1	8,6 E11	2,8 E07	1,5 E08	3,9 E11	3,2 E11
Unterweser	3,4 E12	2,8 E06	5,6 E06	4,6 E10	1,3 E12
Philippsburg 1	4,8 E11	1,7 E07	1,2 E08	3,5 E11	5,1 E10
Grafenrheinfeld	1,9 E11	1,4 E06	n. n.	9,2 E10	5,0 E11
Krümmel	9,7 E12	2,5 E06	1,3 E08	3,2 E11	2,3 E11
Gundremmingen B und C	3,9 E12	n. n.	1,8 E07	7,4 E11	1,4 E11
Grohnde	1,0 E13	6,5 E05	9,1 E05	5,8 E10	5,8 E11
Hamm-Uentrop	2,5 E11	9,0 E07	1,1 E07	2,7 E10	3,5 E12
Philippsburg 2	2,6 E12	1,3 E05	4,7 E05	4,8 E10	1,1 E12
Mülheim-Kärlich	n. n.	n. n.	9,1 E05	2,6 E10	5,2 E11
Brokdorf	1,0 E08	2,3 E05	n. n.	8,6 E10	1,8 E11
Isar 2	1,1 E10	1,4 E05	n. n.	3,7 E11	2,2 E11
Emsland	7,7 E10	n. n.	n. n.	2,9 E10	2,3 E11
Neckarwestheim 2	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.

^{a)} Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Iod 131, einschließlich Strontium und Alpha-Strahler

^{b)} Stillstand seit November 1985

^{c)} Stillstand seit Januar 1977

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

6,5 E11 bedeutet $6,5 \cdot 10^{11}$

Tabelle 3

Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 1988

Kernkraftwerk	Spalt- und Aktivierungsprodukte (außer Tritium) Bq	Tritium Bq	Alpha-Strahler Bq
Kahl ^{a)}	4,5 E07	3,3 E09	—
Grundremmingen A ^{b)}	—	—	—
Würgassen	1,1 E09	4,1 E11	2,7 E06
Lingen ^{c)}	—	—	—
Brunsbüttel	1,1 E09	5,1 E11	4,9 E05
Isar 1	1,6 E09	8,1 E11	1,8 E06
Philippsburg 1	5,0 E08	5,5 E11	—
Krömmel	6,2 E07	8,8 E11	—
Gundremmingen (Block B und C)	5,4 E08	1,2 E12	—
Obrigheim	3,9 E08	3,8 E12	—
Stade	1,0 E09	6,0 E12	—
Biblis A	5,0 E08	1,1 E13	8,0 E05
Biblis B	6,7 E08	1,3 E13	2,6 E06
Neckarwestheim 1	3,3 E07	7,4 E12	1,3 E06
Unterweser	1,0 E08	1,2 E13	—
Grafenrheinfeld	5,4 E07	1,4 E13	—
Grohnde	8,3 E07	1,3 E13	1,9 E05
Philippsburg 2	6,9 E08	1,3 E13	—
Mülheim-Kärlich	1,9 E08	1,0 E13	—
Brokdorf	—	9,4 E12	—
Isar 2	3,9 E06	1,8 E12	—
Emsland	2,3 E07	1,7 E12	—
Neckarwestheim 2 ^{d)}	—	—	—
Hamm-Uentrop	1,2 E07	8,9 E11	—

^{a)} Anlage im Nov. 1985 stillgelegt

^{b)} Anlage im Jan. 1977 stillgelegt (geringfügige Abgaben sind in den für Block B und C angegebenen Daten enthalten)

^{c)} Anlage im Jan. 1977 stillgelegt

^{d)} 1988 erfolgte keine Abwasserabgabe

wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Tabelle 4

Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernforschungszentren im Jahr 1988

Kernforschungszentrum	Edelgase Bq	Aerosole Bq	Iod 131 Bq	Iod 129 Bq	Tritium Bq	Kohlen- stoff 14 Bq	Stron- tium 90 Bq
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungs- anlage)	1,7 E15	1,1 E09 ^{a)}	1,7 E07	1,3 E08	1,9 E13	8,0 E10	4,6 E06
Kernforschungsanlage Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR)	4,4 E12	6,0 E05	9,9 E07	—	1,4 E13	2,5 E11	9,0 E02

^{a)} Alpha-Strahler: 9,0 E06 Bq

noch Tabelle 4

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe im Abwasser aus Kernforschungszentren im Jahr 1988

Kernforschungszentrum	Spalt- und Aktivierungs- produkte *) Bq	Tritium Bq	Alpha-Strahler Bq
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage) ...	7,9 E08	5,5 E13	9,0 E06
Kernforschungsanlage Jülich	7,4 E08	1,8 E12	<4,0 E07

*) ohne Tritium

Tabelle 5

Abgabe radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahr 1988

Betrieb	Abluft Bq	Abwasser Bq
ALKEM (Hanau)	< 1,8 E04	1,8 E06
NUKEM (Hanau)	1,8 E05	} 6,3 E07
HOBEG (Hanau)	7,7 E04	
Reaktor-Brennelement Union		
Werk I (Hanau)	2,3 E07	1,2 E09
Werk II (Karlstein)	< 1,5 E05	1,0 E08
ANF (Lingen) ^{a)}	< 1,1 E04	—
URENCO (Gronau)	2,8 E04	5,0 E03

wird kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

^{a)} Advanced Nuclear Fuels, vormals Exxon Nuclear

Tabelle 6

Kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland
(Stand: 31. Dezember 1988)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Eidg. Institut für Reaktorforschung Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (2 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

Tabelle 7

Strahlenexposition im Jahr 1988 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft

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

Kernkraftwerk	Oberer Wert ^{a)}	
	der effektiven Dosis für Erwachsene μSv	der Schilddrüsendosis für Kleinkinder μSv
Kahl	< 0,1	< 0,1
Lingen	< 0,1	< 0,1
Obrigheim	1	2
Stade	0,3	0,5
Würgassen	4	15
Biblis A, B	0,4	2
Neckarwestheim 1, 2	0,5	1
Brunsbüttel	2	3
Isar 1, 2	1	4
Unterweser	0,1	0,2
Philippsburg 1, 2	1	4
Grafenrheinfeld	0,1	0,2
Krümmel	0,6	2
Gundremmingen A, B, C	1	2
Grohnde	0,2	0,3
Hamm-Uentrop	0,2	0,2
Mülheim-Kärlich	< 0,1	0,1
Brokdorf	0,2	0,3
Emsland	< 0,1	< 0,1

^{a)} berechnet für die ungünstigste Einwirkungsstelle

Tabelle 8

**Strahlenexposition im Jahr 1988 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die
Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser**

(nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens
300 Mikrosievert pro Jahr betragen)

Kernkraftwerk	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene ^{a)} µSv
Kahl	0,2
Gundremmingen A, B und C	0,4
Obrigheim	0,2
Stade	0,1
Würgassen	0,3
Biblis A und B	0,1
Neckarwestheim	0,1
Brunsbüttel	0,1
Isar 1 und 2	0,1
Unterweser	< 0,1
Philippsburg 1 und 2	0,1
Grafenrheinfeld	0,1
Krümmel	< 0,1
Grohnde	0,1
Hamm-Uentrop	0,1
Mülheim-Kärlich	< 0,1
Brokdorf	< 0,1
Emsland	0,1

^{a)} Es werden extreme Verzehrsgewohnheiten (z. B. 39 kg Flußfisch pro Jahr, der in der Kühlwasser-fahne gefangen wird) und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

Tabelle 9

**Strahlenexposition im Jahr 1988 in der Umgebung von Kernforschungszentren
durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft^{a)}**

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

Kernforschungszentrum	Oberer Wert	
	der effektiven Dosis für Erwachsene µSv	der Schild- drüsendosis für Kleinkinder µSv
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	4,5	114
Kernforschungsanlage Jülich (einschließlich Versuchsreaktor AVR) ..	3,2	5,8

^{a)} entnommen den Jahresberichten 1988 sowie nach Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich

Tabelle 10

Strahlenexposition im Jahr 1988 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft

(nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis höchstens 300 µSv und die Lungendosis höchstens 900 µSv pro Jahr betragen)

Betrieb	Oberer Wert	
	der effektiven Dosis für Erwachsene µSv	der Lungendosis für Kleinkinder µSv
ALKEM (Hanau)	< 0,1	< 0,1
NUKEM (Hanau)	0,3	2
HOBEG (Hanau)	< 0,1	0,2
Reaktor-Brennelement Union		
Werk I (Hanau)	1	8
Werk II (Karlstein)	< 0,1	< 0,8
ANF (Lingen)	< 0,1	< 0,1
URENCO (Gronau)	< 0,1	< 0,1

Tabelle 11

Strahlenexposition im Jahr 1988 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

(nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis höchstens 300 µSv pro Jahr betragen)

Betrieb	Oberer Wert der effektiven Dosis für Erwachsene µSv
ALKEM GmbH (Hanau)	< 0,1
NUKEM einschließlich HOBEG GmbH (Hanau)	< 0,1
Reaktor-Brennelement Union GmbH	
Werk I (Hanau)	0,4
Werk II (Karlstein)	< 0,1
ANF (Lingen)	—
URENCO (Gronau)	< 0,1

Tabelle 12

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

Jahr	Anzahl Kraftwerke	Überwachte Personen	Kollektivdosis in Sv	Elektrische Energieerzeugung in GWh	Verhältnis Kollektivdosis/Energieerzeugung in mSv/GWh
1980	10	13 822	51	43 345	1,2
1981	11	18 105	62	53 081	1,2
1982	11	21 458	87	62 976	1,4
1983	12	21 203	78	64 329	1,2
1984	15	19 617	43	92 252	0,5
1985	16	22 343	49	125 709	0,4
1986	16	24 607	50	124 465	0,4
1987	17	22 949	46	123 333	0,4
1988	20	30 823	54	144 119	0,4

Tabelle 13

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Beschleunigern

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
1	2	3	4	5
26. 1. 1988	Verstöße gegen Transportvorschriften beim Transport einer Cs-137-Strahlungsquelle (66,6 TBq) für die medizinische Verwendung	Nichtbeachtung von Auflagen der Transportgenehmigung	keine, Verpackung entsprach den Anforderungen	Fahrzeug wurde unter Polizeibegleitung zum Bestimmungsort geführt. 48-Std.-Meldung vor Grenzübertritt und Aufsichtsmaßnahmen bei Grenzübertritt wurden angeordnet
27. 1. 1988	Feststellung eines zu langen Applikators an einer fernbedienten Applikationseinrichtung in einem Krankenhaus	nicht bekannt	möglicherweise Fehlbestrahlungen bei 9 Patienten	Überwachung der Applikatoren wurde verbessert
Februar 1988	Fund einer vergrabenen Füllstandsmeßeinrichtung mit 7,4 MBq Co-60	der Eigentümer einer inzwischen stillgelegten Fabrik hatte die Vorrichtung (einschließlich Abschirmbehälter) 1983 auf seinem Grundstück vergraben	keine	Strahler geborgen und entsorgt; Ordnungswidrigkeitsverfahren eingeleitet
9. 2. 1988	Fund von 2 Fässern mit „Radioaktiv“-Kennzeichnung	demonstrativer Akt	keine	Fässer waren leer, Kontaminationen wurden nicht festgestellt
26. 2. 1988	Fund einer Fliegerbombe bei Ausschachtungsarbeiten in einem Nuklearbetrieb			Bombe konnte aus dem Gelände des Betriebes entfernt werden; weitere Ausschachtungen wurden erst nach erneuter Detektion des Geländes zugelassen
März—Juli 1988	Strahlenexposition von 6 Mitarbeitern einer Forschungseinrichtung an einem Kompaktzyclotron (Beschleuniger)	technischer Mangel (Plexiglas am Beobachtungsfenster)	Teilkörperdosen zwischen 10 und 260 mSv	gesundheitliche Folgen sind nach dem Ergebnis der ärztlichen Begutachtung nicht zu erwarten; Beobachtungsfenster wurde mit Bleiglas ausgekleidet
April 1988	Bestrahlung von 6 Beschäftigten durch eine nichtabgeschirmte Füllstandsmeßanlage bei Reparaturarbeiten in einem Industriebetrieb	Nichtbeachtung innerbetrieblicher Weisungen	abgeschätzte Strahlenexposition bis zu 7,5 mSv	im Hinblick auf Dosis nicht zu erwarten; Aufsichtsbehörde hat Maßnahmen zur Vermeidung angeordnet

noch Tabelle 13

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Beschleunigern

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
1	2	3	4	5
2. 4. 1988	Verlust von I-125-Seeds (1×170 MBq, 1×592 MBq, 2×740 MBq), die in 4 Hunde implantiert worden waren	Diebstahl der Tiere	unter ungünstigen Umständen (z. B. längerer Aufenthalt in unmittelbarer Nähe der Tiere) sind radiologische Folgen nicht auszuschließen	Presse wurde unterrichtet
13. 4. 1988	Fund einer Kassette mit mehreren Behältnissen schwachradioaktiver Stoffe auf einem Baugrundstück	Diebstahl aus einem Universitätsinstitut	keine; die Präparate waren unversehrt und die Aktivität lag unterhalb der Freigrenze	
25. 4. 1988	Tritiumfreisetzung während eines Versuchs im Isotopenlabor einer Universität	Arbeitsunfall (Zerstörung einer Ampulle mit 18,5 GBq H-3)	die zulässigen Aktivitätsabgaben für Luft und Wasser auf die Dosis- bzw. Aktivitätszufuhr für beruflich strahlenexponierte Personen wurden nicht überschritten	
4. 5. 1988	vorübergehender Verlust eines Versandstückes mit 3,7 GBq Tc-99-m	organisatorische Mängel	keine, da das Präparat unversehrt im Strahlenschutzraum wieder aufgefunden wurde	von dem Versandstück hatte sich der Adressenaufkleber gelöst, was einen Mitarbeiter veranlaßte, das Präparat ohne entsprechende Meldung in den Strahlenschutzraum zurückzustellen
5. 5. 1988	Zerstörung von 2 Analysenproben (je ca. 1 g Uran, 93 % angereichert und ca 10 g Thorium) beim innerbetrieblichen Transport in einem Nuklearbetrieb	Undichtheit eines Polyethylenbeutels	keine, der betroffene Bereich wurde dekontaminiert	innerbetrieblicher Transport wurde verbessert
13. 5. 1988	bei Gammaradiographiearbeiten löste sich beim Ausfahren des Strahlers der Ausfuhrschlauch vom Gerät	bisher nicht bekannt; möglicherweise technischer Defekt	keine, da Störung ohne Strahlenexposition des Bedienungspersonals behoben werden konnte	Sicherheit des Kuppelungssystems des betreffenden Gerätetyps wird zur Zeit überprüft
31. 5. 1988	Beschädigung eines Fahrzeuges, das Radiopharmaka transportierte	Auffahr-Unfall	keine, da Versandstücke unbeschädigt blieben	

noch Tabelle 13

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Beschleunigern

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
1	2	3	4	5
27. 6. 1988	Verlust eines Kartons (0,3 kg) aus einer Stückgutsendung Inhalt: 5 Überspannungsableiter mit Promethium 147	vermutlich Diebstahl	in Anbetracht der dichten Umschließung und ausreichenden Abschirmung: keine	Nachforschungen blieben ergebnislos
Juli 1988	Feststellung von Tritiumverlust bei einer gasgefüllten Tritiumlichtquelle	Materialfehler	wegen der Handhabung der Vorrichtung im Freien bzw. in großen Hallen und aufgrund der niedrigen Freisetzungsrates des Tritiums: keine	
Juli 1988	Verlust einer Kupolofen-Meßeinrichtung mit 18 MBq Co-60	Nichtentfernung vor dem Abriß des Kupolofens	es ist nicht auszuschließen, daß der Strahler zusammen mit dem Abbruchschutt auf eine Mülldeponie verbracht wurde	im Hinblick auf feste Umschließung des Strahlers nicht zu erwarten; Messungen verliefen ergebnislos
7. 7. 1988	Freisetzung von UO ₂ -Pulver in einem Nuklearbetrieb	Arbeitsunfall beim Abfüllvorgang	erhöhte Raumluftaktivität und Kontamination von Arbeitskleidung	
15. 7. 1988	Abweichung von der vorgesehenen Fahrtroute und Unterrichtung zuständiger Behörden beim Transport abgebrannter Brennelemente	Verstoß gegen Genehmigungsaufgaben		Bußgeldverfahren eingeleitet; Verbesserung des Meldesystems eingeführt
21. 7. 1988	Verlust eines Versandstückes mit insgesamt 18,5 MBq H-3 bei der Anlieferung an ein Krankenhaus	bisher nicht geklärt	keine, solange die Umschließung der Präparate nicht zerstört wird	
August 1988	Defekt an der Füllstandsmeßanlage eines Staubsammelbehälters in einem Stahlwerk	durch eine nachträglich am Staubbunker angebrachte Rüttelvorrichtung hatte sich die Meßanlage gelöst	keine, da Meßeinrichtung geborgen werden konnte	generelle Anordnung der Aufsichtsbehörde, daß derartige Meßeinrichtungen nicht an Rüttelvorrichtungen angebracht werden dürfen; vergleichbare Einrichtungen in anderen Betrieben werden überprüft

noch Tabelle 13

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Beschleunigern

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
1	2	3	4	5
5. 8. 1988	Verlust des Strahlers (111 MBq Co-60) einer Füllstandsmeßeinrichtung eines Hochofens	möglicherweise ist der Strahler mit Abrißmaterial auf eine Mülldeponie gelangt	im Hinblick auf feste Umschließung des Strahlers nicht zu erwarten	
11. 8. 1988	Verlust eines Versandstückes mit 370 kBq I-125 für ein Isotopenlabor	möglicherweise Falschauslieferung	keine, solange die Umschließung des Präparates nicht zerstört wird	
15. 8. 1988	Störung beim Probebetrieb einer fernbedienten medizinischen Applikations-einrichtung	durch Knickung des Führungsdrahtes ließ sich der Ir-192 Strahler nicht mehr in die Abschirmung zurückfahren	keine (Probebetrieb)	
12. 9. 1988	Verlust einer Kontrollvorrichtung (33 MBq Sr-90) (unzulässigerweise auf dem Postweg zur Überprüfung an den Hersteller versandt)	bisher nicht geklärt	im Hinblick auf Beschaffenheit der Vorrichtung nicht zu erwarten	die Verantwortlichen wurden auf die Versandvorschriften hingewiesen
24. 9. 1988	Diebstahl eines Prüfstrahlers (330 kBq Cs-137)	bei einer Geräteverföhrung wurde der Prüfstrahler entwendet	im Hinblick auf Art und Aktivität des umschlossenen radioaktiven Stoffes nicht zu erwarten	
1. 10. 1988	Fund von natürlich radioaktiven Stoffen (Uran- und Thoriumverbindungen) sowie von giftigen Substanzen bei der Entrümpelung des Kellers eines Privathauses	die Substanzen waren vor dem Zweiten Weltkrieg von einem Chemiestudenten beschafft und eingelagert worden	bei Einlagerung keine	die Substanzen wurden ordnungsgemäß entsorgt
10. 10. 1988	Verschlußstörung an einer medizinischen Gammabestrahlungseinrichtung	technischer Defekt (Bruch der Rückholfeder)	die mit der Bergung des Patienten beauftragte Person erhielt eine Dosis von 0,2 µSv	der Verschlußantrieb wurde erneuert
25. 10. 1988	Strahlenexposition von 3 Mitarbeitern in einem Klärwerk	Aufenthalt im Strahlenfeld eines nicht abgeschirmten Füllstandsmessers	Körperdosen wurden auf 20 µSv abgeschätzt	abschließender Untersuchungsbericht liegt noch nicht vor
November 1988	Feststellung der Beschädigung einer Abwasserleitung eines Neutronengenerators	Beschädigung durch Baggararbeiten	im Erdreich um die Schadstelle wurden nur geringe H-3-Aktivitäten gemessen	Leitung wurde repariert; 2 zusätzliche Inspektionsschächte eingebaut
7. 11. 1988	Strahlenexposition von 4 Mitarbeitern einer Kläranlage	unerlaubter Abbau eines Füllstandmeßgerätes	Dosisermittlung noch nicht abgeschlossen	Meßanlage wurde außer Betrieb gesetzt

noch Tabelle 13

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und Beschleunigern

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiol. Folgen/Bemerkungen
1	2	3	4	5
10. 11. 1988	Verschlußstörung an einer medizinischen Gammabestrahlungseinrichtung (bei Pendelbestrahlung fuhr der Anlagenkopf auf die Bedienkonsole und blockierte den Verschluß)	Nichtbeachtung der Betriebsanweisung (Probependeln nicht ausgeführt)	der Patient wurde ca. 20 Sekunden fehlbestrahlt; die die Bergung durchführende Person erhielt keine nachweisbare Dosis	Fehlbestrahlung wurde durch Änderung des Bestrahlungsplanes aufgefangen
11. 11. 1988	Verlust von ca. 110 Überspannungableitern mit je ca. 110 kBq Pm-147	vermutlich Diebstahl	in Anbetracht der dichten Umschließung und ausreichenden Abschirmung: keine	

Tabelle 14

Vorkommnisse im Zusammenhang mit Ionisationsrauchmeldern im Jahr 1988

Datum	Vorkommnis	Gesamtaktivität	Bemerkungen
1988	Verlust von insgesamt 41 Ionisationsrauchmeldern	siehe Spalte „Bemerkungen“	12 Melder: Verbleib ungeklärt, Aktivität: 880,6 kBq 3 Melder: Beseitigung zusammen mit nicht-radioaktivem Abfall, Aktivität: 88,8 kBq 26 Melder: überwachte Beseitigung zusammen mit Brandschutt, Aktivität: 70,23 MBq
10. 1. 1988	Verlust von 28 Ionisationsrauchmeldern bei einem Brand in einer Papierfabrik	414,4 kBq	Kontaminationen im Brandschutt wurden nicht festgestellt
September 1988	Verlust von 18 Ionisationsrauchmeldern bei Abbrucharbeiten	29,5 MBq	Rauchmelder wurden vermutlich mit Bauschutt auf eine Mülldeponie transportiert
Oktober 1988	Verlust von 27 Ionisationsrauchmeldern beim Austausch einer Anlage in einem Industriebetrieb	16,5 MBq	Nachforschungen über den Verbleib blieben ergebnislos

Tabelle 15

Mittlere effektive Dosis durch inkorporiertes Caesium 134 und Caesium 137 in μSv im Jahre 1988 als Folge des Reaktorunfalls in Tschernobyl

	Südost-Bayern	Voralpen-gebiet	München	Karlsruhe	Homburg/Saar	Frankfurt	Berlin	Hamburg	Köln	Düsseldorf	Mainz
Männer	95	—	30	13	17	16	18	20	18	12	17
Frauen	41	—	15	11	10	10	9	11	11	7	11
Kinder und Jugendliche	37	18	14	< 7	< 10	< 12	14	—	—	—	—

Abbildung 1

**Anzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen
insgesamt und in der Medizin (in Tsd.)**

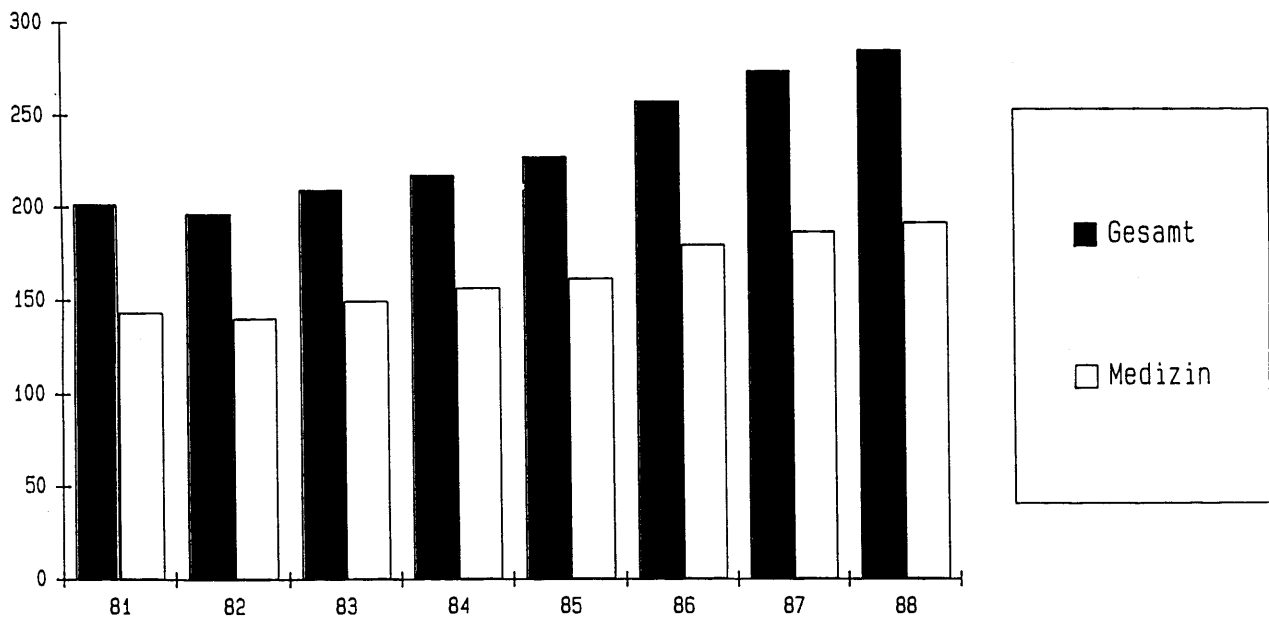


Abbildung 2

Verteilung der Jahreskollektivdosis auf verschiedene Arbeitsbereiche

