

## Unterrichtung durch die Bundesregierung

### Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2002

#### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Auftrag und Zusammenfassung</b>	
1. Auftrag .....	3
2. Zusammenfassung .....	3
2.1 Ionisierende Strahlung .....	3
2.2 Nichtionisierende Strahlung .....	5
<b>Berichtsteil Ionisierende Strahlung</b>	
<b>I. Natürliche Strahlenexposition</b> .....	5
<b>II. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition</b> .....	6
1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten .....	6
2. Radon in Wohngebäuden .....	8
3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus .....	8
3.1 Umgebungüberwachung im Zusammenhang mit der Sanierungstätigkeit der Wismut GmbH .....	8
3.2 Ermittlung der aus bergbaulicher Tätigkeit stammenden Umweltradioaktivität .....	11
4. Berufliche Strahlenexpositionen durch natürliche Strahlenquellen .....	11
5. Strahlenexposition des Flugpersonals .....	13
<b>III. Zivilisatorische Strahlenexposition</b> .....	13
1. Kerntechnische Anlagen .....	13
1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen .....	13
1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen .....	13
1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen .....	16

2.	Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin	22
2.1	Röntgendiagnostik	23
2.2	Nuklearmedizinische Diagnostik	25
2.3	Therapie mit ionisierender Strahlung	26
2.4	Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	26
2.5	Bewertung der medizinischen Strahlenexposition	27
2.6	Neues Strahlenschutzrecht	27
3.	Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt	27
3.1	Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	27
3.2	Störstrahler	27
3.3	Neues Strahlenschutzrecht	27
4.	Berufliche Tätigkeit	28
4.1	Personendosisüberwachung	28
4.2	Inkorporationsüberwachung	31
5.	Besondere Vorkommnisse	31
6.	Fall-out von Kernwaffenversuchen	31
<b>IV.</b>	<b>Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl</b>	<b>40</b>

#### **Berichtsteil Nichtionisierende Strahlung**

##### **Elektromagnetische Felder**

1.	Forschung	41
2.	Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“	41
3.	Umweltzeichen „Blauer Engel“	43
4.	Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen	43

##### **UV-Strahlung**

1.	Solarien	43
2.	Solares UV-Monitoring in Deutschland	43

##### **Anhang A:**

Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung	45
---	----

##### **Anhang B:**

Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen	52
---	----

##### **Anhang C:**

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen	58
---	----

## Auftrag und Zusammenfassung

### 1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 14. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3714), sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die Daten aus dem Jahr 2002. Er umfasst die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlen“ (NIR).

Ausführlicheres Datenmaterial wird jeweils in den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ wiedergegeben.

Zum 21. Juni 2002 trat die Novelle der Röntgenverordnung (RöV) in Kraft (BGBl. I S. 1869, zuletzt geändert am 30. April 2003, BGBl. I, S. 604). Sie dient der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlen und der Richtlinie 97/43/EURATOM über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlung bei medizinischer Exposition.

### 2. Zusammenfassung

#### 2.1 Ionisierende Strahlung

Der Berichtsteil über ionisierende Strahlung behandelt

- die natürliche Strahlenexposition,
- die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition,
- die zivilisatorische Strahlenexposition und
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl.

**Abbildung 1** gibt einen Überblick über die mittlere effektive Jahresdosis in diesen Bereichen.

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen.

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 natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere Radon in Gebäuden und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre. Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl, der am 26. April 1986 stattfand, verursachte auch im Jahr 2002 noch eine geringfügige Erhöhung der zivilisatorischen Strahlenexposition. Dies wird in einem besonderen Kapitel behandelt.

Die Daten der beruflichen Strahlenexposition (siehe **Abbildung 2**) werden entsprechend ihrer Ursache in den jeweiligen Kapiteln (II oder III) aufgeführt.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2002 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### Natürliche Strahlenexposition

Die effektive Dosis der natürlichen Strahlenexposition beträgt im Mittel ca. 1,2 mSv pro Jahr. Neben der direkten kosmischen Komponente von 0,3 mSv und der direkten terrestrischen Komponente von 0,4 mSv trägt die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv zur Strahlenexposition bei. Auch ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase Radon (Rn-222) und Thoron (Rn-220) einschließlich ihrer kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 0,2 mSv ist unvermeidbar und deshalb nicht zivilisatorisch bedingt.

#### Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

Radon- und Thoronzersfallsprodukte liefern über Inhalation den Hauptbeitrag zum zivilisatorisch erhöhten Teil der natürlichen Strahlenexposition mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von etwa 0,9 mSv pro Jahr.

Die wesentlichen beruflichen Bereiche, in denen die natürliche Strahlenexposition zivilisatorisch erhöht ist, sind die Exposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung und die Exposition durch Radonfolgeprodukte an Arbeitsplätzen.

#### Zivilisatorische Strahlenexposition

Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 2 mSv pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2002 deutlich unter 1% der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte.

Bei der beruflichen Strahlenexposition hat sich der Beitrag gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2002 ca. 314 000. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonen-

Abbildung 1

**Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2002  
(Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)**

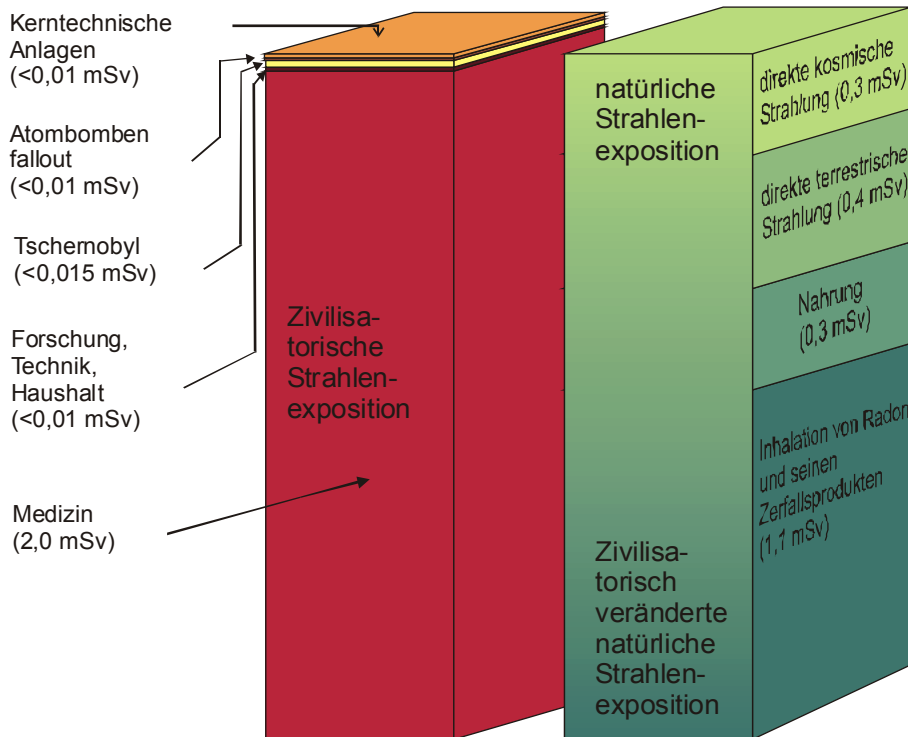
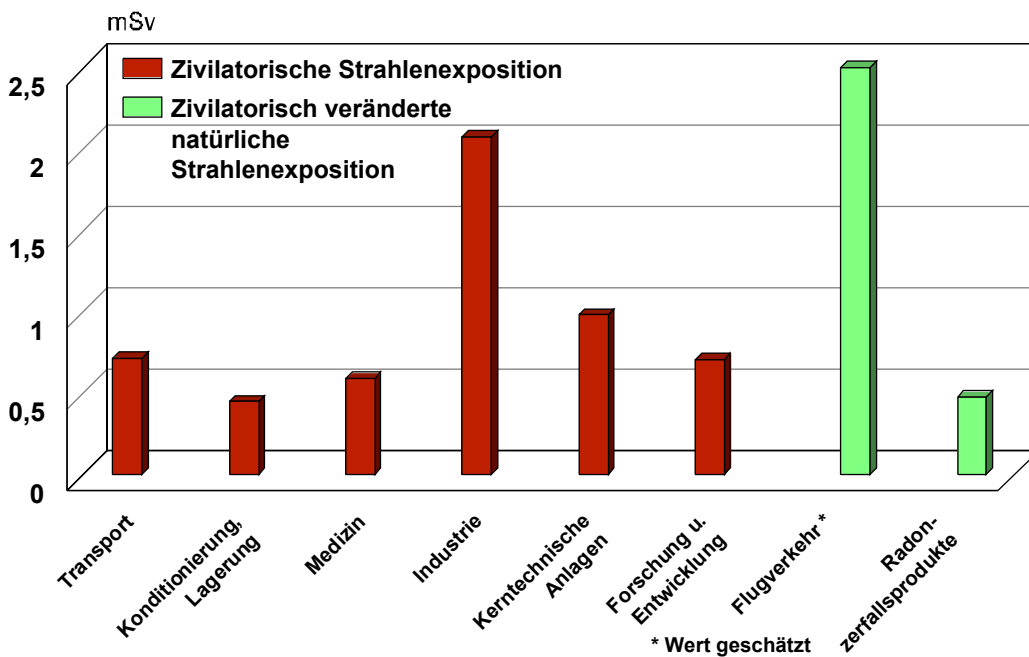


Abbildung 2

**Mittlere Jahres-Personendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland  
im Jahr 2002 in bestimmten Tätigkeitsbereichen**



dosiswerten (ca. 47 600 Personen) beläuft sich auf 1,0 mSv. **Abbildung 2** gibt einen Überblick der Strahlenexposition dieser Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Die Zahl für den Flugverkehr beruht auf einer Schätzung.

Der Anteil an der effektiven Dosis durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Er betrug 2002 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche mehr in der Atmosphäre durchgeführt.

### **Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl**

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,015 mSv im Jahre 2002 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Expositionen auf, die bis zu einer Größenordnung über den genannten liegen.

### **Gesamtbewertung für ionisierende Strahlung**

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition beträgt zusammen zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Unter Verwendung der Dosisfaktoren der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenbelastung wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin im Jahr 2002 auf etwa 2 mSv pro Jahr abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die Gesamtexposition in Höhe von 4,1 mSv ist gegenüber dem Vorjahr unverändert.

## **2.2 Nichtionisierende Strahlung**

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze, ausgesetzt. Der geplante Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, hat eine öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien ausgelöst.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (im Frequenzbereich von 0 bis 300 GHz) sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV-)Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) gehört. Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nieder- und hochfrequenten Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Hierdurch werden Ströme im Körper verursacht, die bei hohen

Frequenzen u.a. zu Temperaturerhöhungen führen können.

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden unter Berücksichtigung internationaler Erkenntnisse Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder; 26. BImSchV) festgeschrieben.

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Laut Aussage der RegTP wurden diese Grenzwerte bisher nicht überschritten.

Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von feststehenden Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, liegt laut einer bayerischen Studie im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Die UV-Belastung der Bevölkerung ist auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und des zunehmend in Mode kommenden „Wellness“-Bereiches mit Solariennutzung kontinuierlich angestiegen. Dies hat zu einer besorgniserregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamtes erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von etwa 8 in den Monaten Juni und Juli auf. Eine statistische Auswertung der vorliegenden Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung in den vergangenen Jahren schließen.

## **Berichtsteil Ionisierende Strahlung**

### **I. Natürliche Strahlenexposition**

Je nach Höhenlage des Aufenthaltsortes und der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes weist die natürliche Strahlenexposition deutliche Unterschiede auf.

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

Die effektive Dosis aus der äußeren Strahlenexposition beträgt im Mittel 0,7 mSv pro Jahr und wird etwa zu gleichen Teilen durch die kosmische und die terrestrische Strahlung verursacht.

**Abbildung I.1** zeigt die Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2002.

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

Die terrestrische Komponente der äußeren Strahlenexposition wird im Wesentlichen durch die Gammastrahlung des Kalium-40 sowie durch die Strahlung der Radionuklide aus den natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 verursacht. Im Boden liegt der Gehalt an Kalium-40 im Bereich von 40 bis über 1000 Bq pro Kilogramm Trockenmasse (TM). Innerhalb der U-238-Zerfallsreihe spielt das Radium-226 die wichtigste Rolle, der Gehalt im Boden liegt in Deutschland zwischen 10 und 200 Bq pro Kilogramm TM, in Ausnahmefällen auch darüber. Die Gehalte an Thorium-232 und der Nuklide aus der Thorium-Reihe liegen typischerweise zwischen 8 und 80 Bq pro Kilogramm. Die durch terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis errechnet sich im Mittel zu 0,41 mSv pro Jahr, wobei die effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,07 mSv und in Gebäuden 0,34 mSv beträgt. Für diese Abschätzung wurde eine Aufenthaltsdauer von 5 Stunden pro Tag im Freien und 19 Stunden in Gebäuden angenommen. Diese Werte leiten sich von einem Wertebereich für die effektive Jahresdosis bei ständigem Aufenthalt im Freien von 0,06 mSv bis 2,2 mSv bzw. bei ständigem Aufenthalt in Gebäuden von 0,09 mSv bis 2,4 mSv ab. Die höheren Werte findet man vor allem über Granitmassiven mit einer erhöhten spezifischen Aktivität der oben genannten Radionuklide.

Die innere Strahlenexposition durch die Inhalation radioaktiver Stoffe bei ständigem Aufenthalt im Freien beträgt ca. 0,2 mSv. Ein weitaus größerer Teil wird durch den Aufenthalt in Häusern verursacht. Er ist zivilisatorisch bedingt und wird im Kapitel II ausführlich behandelt.

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

Wenn man die Komponenten der effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 0,7 mSv für die äußere Strahlenexposition, 0,3 mSv für die Ingestion und 0,2 mSv für die Inhalation aufsummiert, ergeben sich im Mittel 1,2 mSv pro Jahr. Dieser Wert erhöht sich durch den zivilisatorisch bedingten Aufenthalt in Häusern um 0,9 mSv auf insgesamt 2,1 mSv pro Jahr.

## II. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

### 1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 25 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Natursteinen, Baustoffen und Rückständen industrieller Prozesse durchgeführt. In mehr als 1500 Proben dieser Materialien wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt (s. Tabelle III.1 im Bericht von 1999).

Die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide weisen von Material zu Material und auch innerhalb einer Materialart große Unterschiede auf. Unter den Natursteinen besitzen kieselsäurereiche Magmageschiebe, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe Konzentrationen an natürlichen Radionukliden.

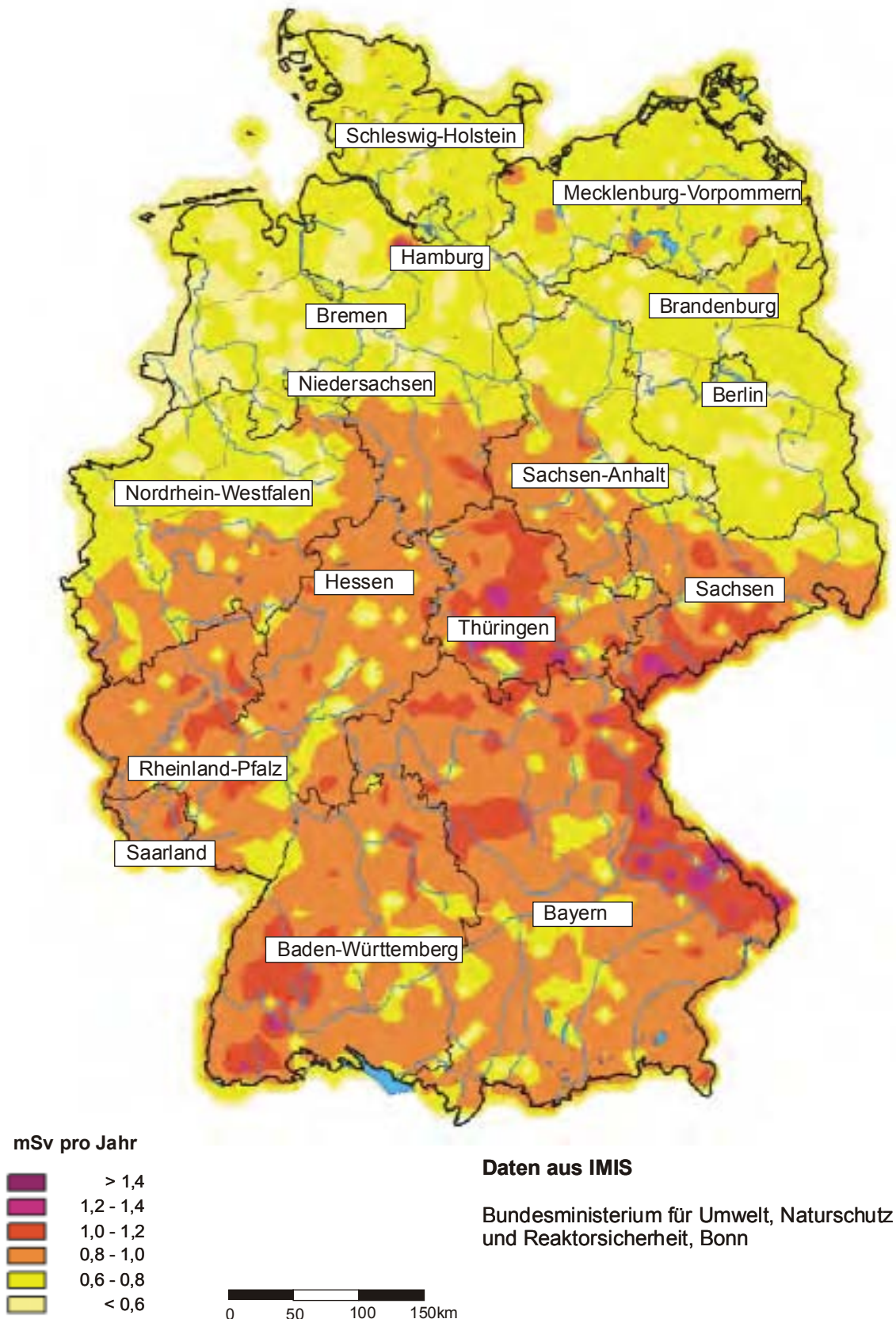
Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h. Werte der ODL über 200 nSv/h sind selten.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutschland verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering sind, dass sie nicht zu Überschreitungen der von der Europäischen Kommission empfohlenen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen führen.

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich die natürlichen radioaktiven Stoffe an. Bei unkritischer Verwendung dieser Rückstände z.B. als Sekundärrohstoff im Bauwesen sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden in der Anlage XII der novellierten StrlSchV die Rückstände ausdrücklich genannt, bei deren Verwertung oder Beseitigung der Strahlenschutz unbedingt beachtet werden muss. Dazu sind in der Anlage XII der StrlSchV Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien als Baustoff festgelegt worden. Bei deren Einhaltung ist sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird. Dies ist bei der Zulassung von Baustoffen zu beachten, denen Rückstände der genannten Art zugesetzt werden. Mit der neuen Regelung wird der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) entsprochen, nach der in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

Abbildung I.1

Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland in Bodennähe im Freien, 2002



## 2. Radon in Wohngebäuden

In Regionen, in denen in der Luft im Erdboden (Bodenluft) erhöhte Radonkonzentrationen vorkommen, treten auch in Gebäuden häufig erhöhte Radonkonzentrationen auf, da die Radonkonzentrationen in der Bodenluft eine wesentliche Ursache für die Radonkonzentrationen in Gebäuden sind. Die Radonkonzentration in der Bodenluft wurde im Rahmen bundesweiter Untersuchungen gemessen und kartographisch dargestellt. Durch eine sich an den geologischen Verhältnissen orientierende Dichte der Messpunkte sind mit den Ergebnissen nun repräsentative Bewertungen großer Gebiete möglich. Die in [Abbildung II.1](#) dargestellte Karte dient ausschließlich der regionalen Orientierung. Eine Bewertung von einzelnen Gebäudestandorten ist damit nicht möglich.

Um den Transfer des Radons aus dem Boden in ein Gebäude zu untersuchen, wurden im Jahre 2002 im Rahmen von Forschungsvorhaben Untersuchungen der Bodenluft und in 2900 Häusern über ein Jahr Messungen der Radonkonzentration durchgeführt. Aus diesen Untersuchungen folgt, dass das Verhältnis der Radonkonzentration in unterkellerten Erdgeschoss-Wohnräumen zu der in der Bodenluft etwa 1% beträgt (Medianwert). [Abbildung II.2](#) zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchungen.

Die Spannweite dieses Verhältnisses ist allerdings sehr groß und hängt von der Isolierung der Gebäude im erdberührten Bereich, aber auch von der Bauweise ab. Eine Analyse der Abhängigkeit der Radonkonzentrationen in Gebäuden der Region Oberpfalz vom Alter der Gebäude in Gebieten mit Radonkonzentrationen in der Bodenluft über 50 kBq/m<sup>3</sup> verdeutlicht diesen Zusammenhang (siehe [Abbildung II.3](#)). Während der Mittelwert der Radonkonzentration in Gebäuden, die vor 1900 errichtet worden sind, über 300 Bq/m<sup>3</sup> liegt, ergibt sich für Gebäude, die nach 1960 errichtet wurden, ein Mittelwert von deutlich unter 100 Bq/m<sup>3</sup>. Auch die Darstellung der Häufigkeitsverteilung macht diese Entwicklung deutlich ([Abbildung II.4](#)). Diese Veränderungen sind eine Folge der allgemeinen Entwicklung im Bauwesen, vor allem aber eine Folge der Erhöhung der Gebäudedichtheit im erdberührten Bereich. Mit einer Bauausführung in der heute üblichen Weise werden auch in Gebieten, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft vorkommen, die Radonkonzentrationen in der Raumluft in vielen Fällen bereits auf akzeptable Werte begrenzt. Für die Planung von Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden ist dieser Umstand von großer Bedeutung, denn das hohe Lungenkrebsrisiko von Radon verlangt eine Reduzierung in Wohnräumen auf akzeptable Werte.

Das vom Bundesamt für Strahlenschutz und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2001 gemeinsam herausgegebene Radon-Handbuch Deutschland hat sich als ein hilfreicher Ratgeber für den Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden bewährt. Es fasst den aktuellen Kenntnisstand zum Problem Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte zusammen und informiert über Methoden zur Ermittlung der Radonkonzentration in

Gebäuden und deren Ursachen. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Begrenzung der Radonkonzentrationen dargestellt.

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

### 3.1 Umgebungsüberwachung im Zusammenhang mit der Sanierungstätigkeit der Wismut GmbH

Die Wismut GmbH ermittelt unter Kontrolle der zuständigen Landesbehörden die Ableitungen radioaktiver Stoffe und die durch die bergbaulichen Tätigkeiten insgesamt verursachte radioaktive Kontamination der Betriebsflächen und des Umlandes. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abwettern wurden durch die zuständigen Landesbehörden Genehmigungswerte festgelegt.

Die für das Jahr 2002 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten wurden ([Abbildungen II.5](#) und [II.6](#)).

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsstandorte zeigten, führte die Ableitung von Uran und Radium-226 mit den Abwässern in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren zu keinen oder nur geringfügigen Konzentrationserhöhungen der Uran- und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau. Dagegen treten auf Grund der geringeren Abflussmenge in den unmittelbar von Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den o. a. Gewässern Uran- und Radium-226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürlichen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt.

Auch bei den Ableitungen von Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden diese Ableitungen weiter verringert. In den Anfangsjahren wurden auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (Inversion in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 500 Bq/m<sup>3</sup> Radon-222 festgestellt. Wie durch Messungen und Modellrechnungen nachgewiesen wurde, liegen in Entfernungen von meist einigen hundert Metern, höchstens aber einigen Kilometern von diesen Objekten die Werte der Radonkonzentration bereits wieder in der für das Gebiet typischen Spannweite von 25 bis 80 Bq/m<sup>3</sup>. Vergleichbare Werte wurden in bergbaufreien Gebieten im Süden der neuen Bundesländer festgestellt, die ähnliche geologische Verhältnisse wie die Bergbauregionen aufweisen.



Abbildung II.1

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft für die Bundesrepublik Deutschland

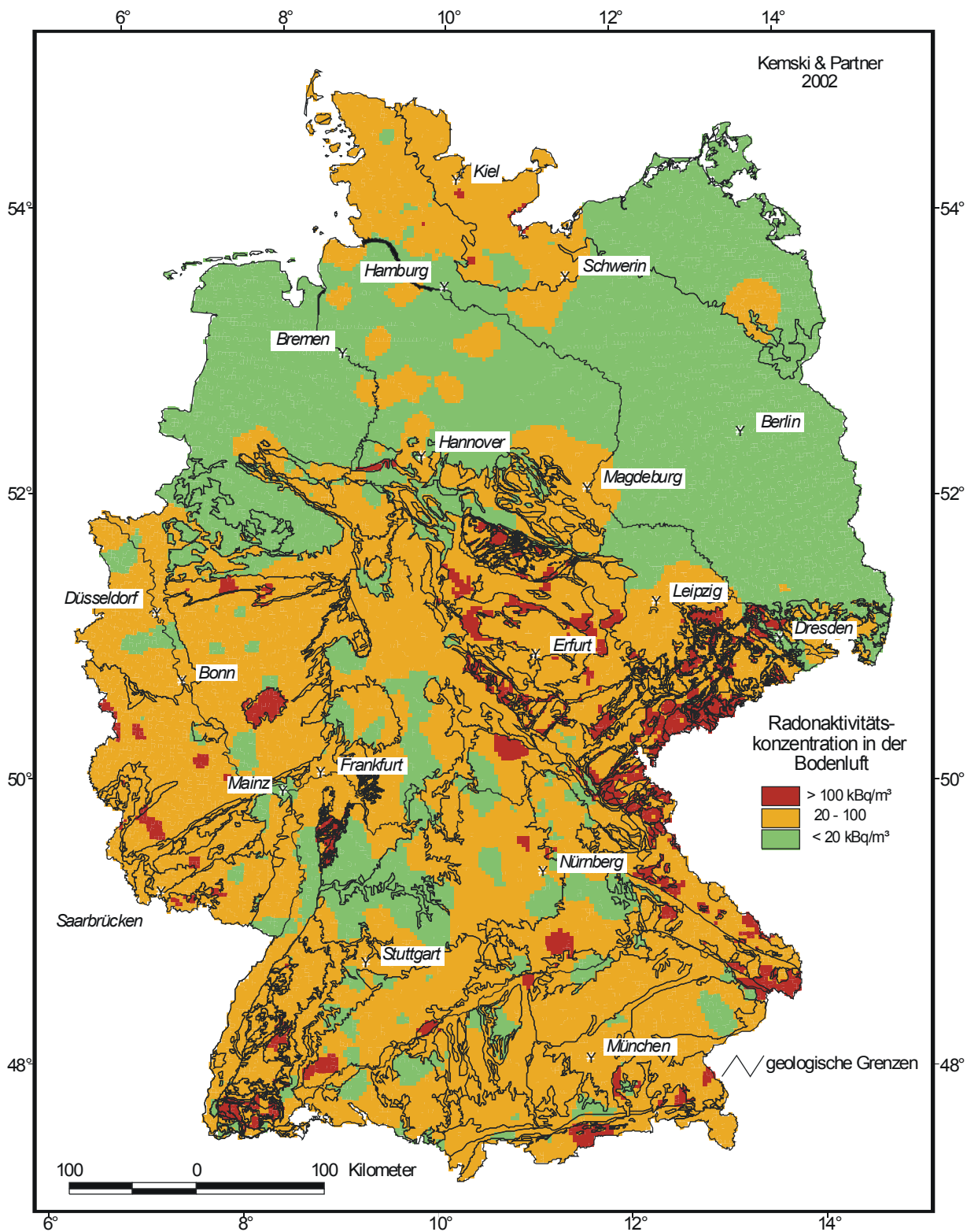


Abbildung II.2

Vergleich der Mittelwerte der Radonkonzentration in der Bodenluft mit derjenigen in Erdgeschossräumen in verschiedenen Testregionen

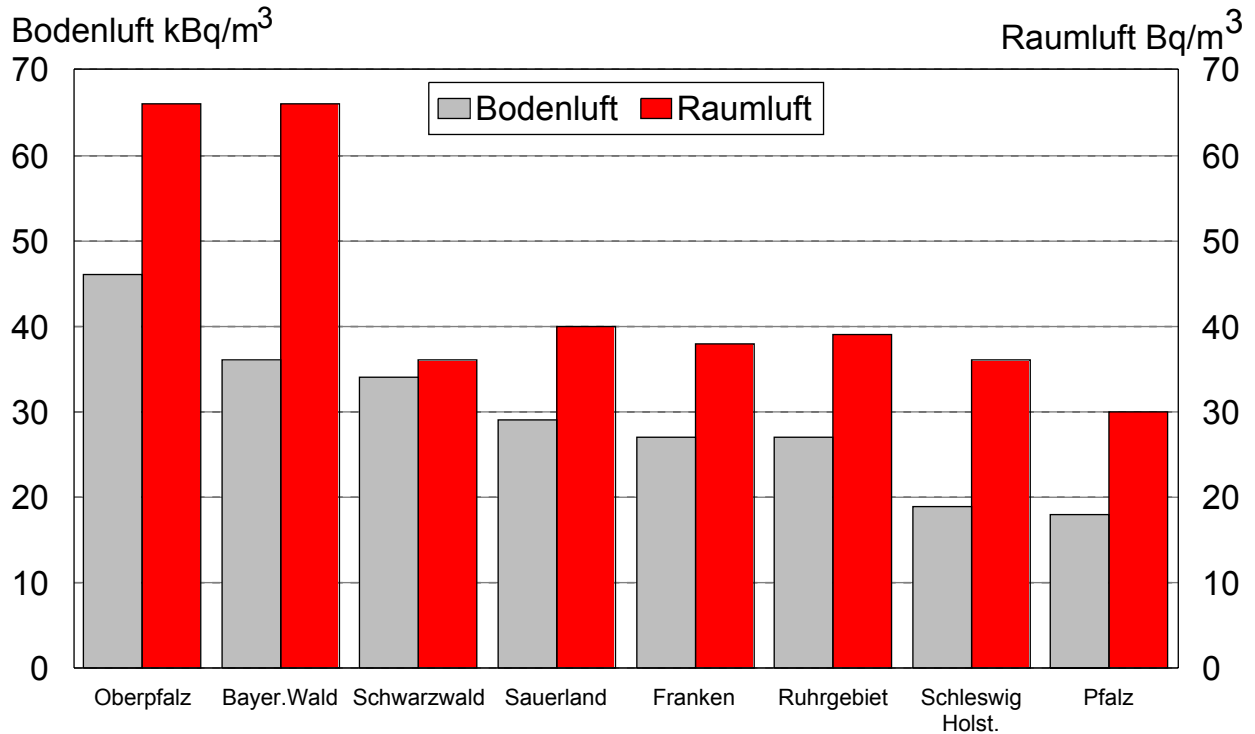


Abbildung II.3

Abhängigkeit der Radonkonzentration in Erdgeschossen vom Baujahr der Gebäude (Untersuchungsgebiet Oberpfalz)

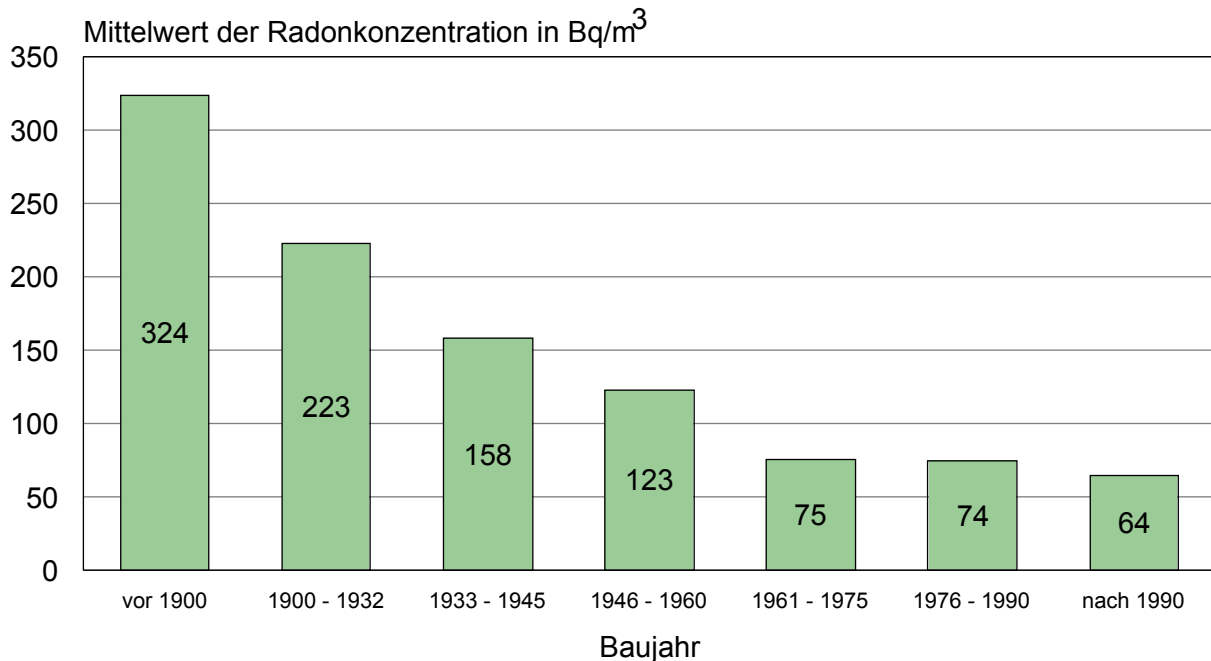
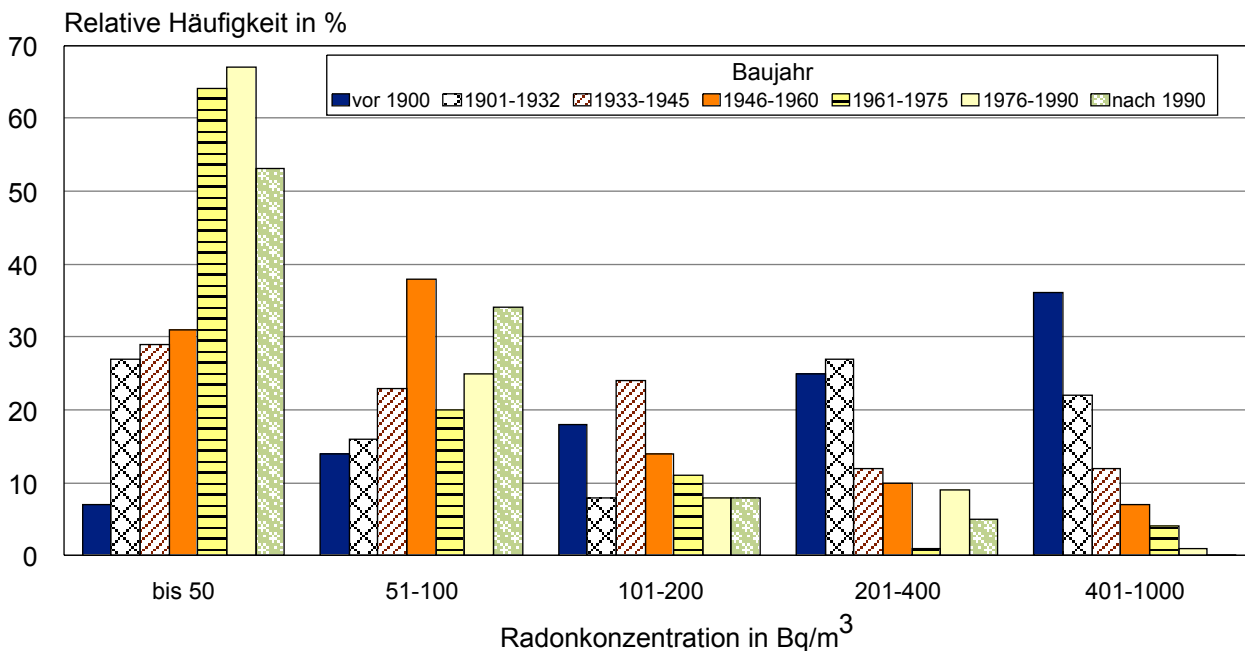


Abbildung II.4

**Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Erdgeschossen für verschiedene Bauperioden**



Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen der großräumigen Langzeitüberwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Luft im Freien wurden auch im Jahr 2002 fortgesetzt und lieferten keine von den Messungen der Wismut GmbH abweichenden Ergebnisse.

**3.2 Ermittlung der aus bergbaulicher Tätigkeit stammenden Umweltradioaktivität**

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für die Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis 1999 das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ durchgeführt. Mit dem Projekt wurden die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht mehr im Besitz der Wismut GmbH befinden, systematisch untersucht und bewertet.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeiten, in die ca. 8000 bergbauliche Objekte und Flächen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt einbezogen waren, haben wesentlich zur Klärung der Strahlenschutzsituation in den betroffenen Bergbauregionen beigetragen. Die für den Strahlenschutz zuständigen Landesbehörden wurden bereits während der Laufzeit des Projektes über wichtige Ergebnisse unterrichtet. Es handelt sich hier z.B. um Informationen über mögliche Expositionsschwerpunkte, die umgehend weitergeleitet wurden, damit erforderlichenfalls kurzfristig Schutzmaßnahmen eingeleitet werden konnten.

Im Ergebnis des Projektes hat sich gezeigt, dass die untersuchten Verdachtsflächen zum weitaus überwiegenden Teil frei von bergbaubedingter radioaktiver Kontamination sind. Von den untersuchten bergbaulichen Objekten, in der Mehrzahl handelt es sich um Halden, müssen lediglich für ca. 20% Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungseinschränkungen erwogen werden. Die Entscheidung hierüber muss für jeden Einzelfall auf der Grundlage standortspezifischer Untersuchungen und Expositionspfadanalysen getroffen werden. Die im Projekt gewonnenen Daten und Informationen sind dafür eine wesentliche Grundlage.

Die Daten und Informationen sowie die Ergebnisse der auf der Grundlage von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommenen radiologischen Bewertung wurden in Datenbanken gespeichert, die auch von den Landesbehörden genutzt werden können. Die Ergebnisse werden in ausführlichen verdachtsflächenbezogenen Berichten zusammengefasst, die den zuständigen Behörden zur Verfügung gestellt werden. Im Jahr 2002 hat das BfS die Auswertung der in Sachsen und Sachsen-Anhalt durchgeführten Untersuchungen abgeschlossen.

**4. Berufliche Strahlenexpositionen durch natürliche Strahlenquellen**

Nach § 95 der StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenex-

Abbildung II.5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Abluft in die Atmosphäre im Jahr 2002**

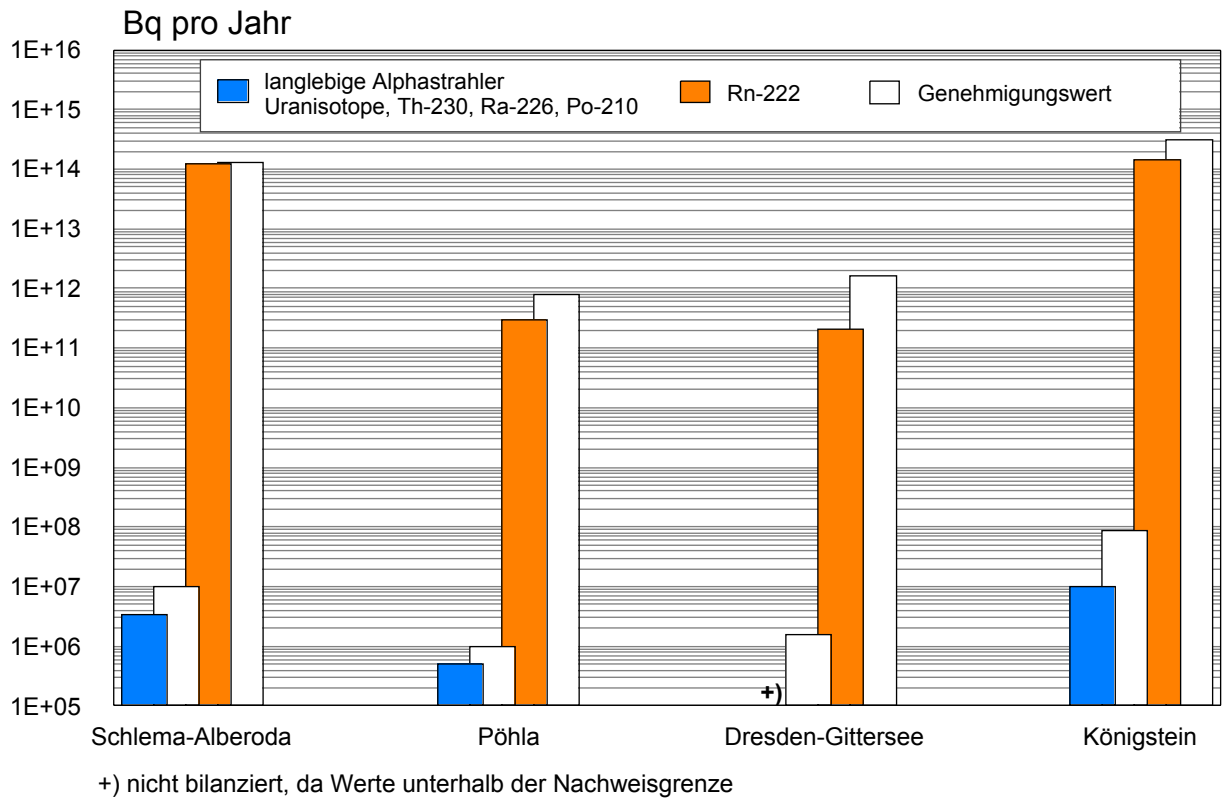
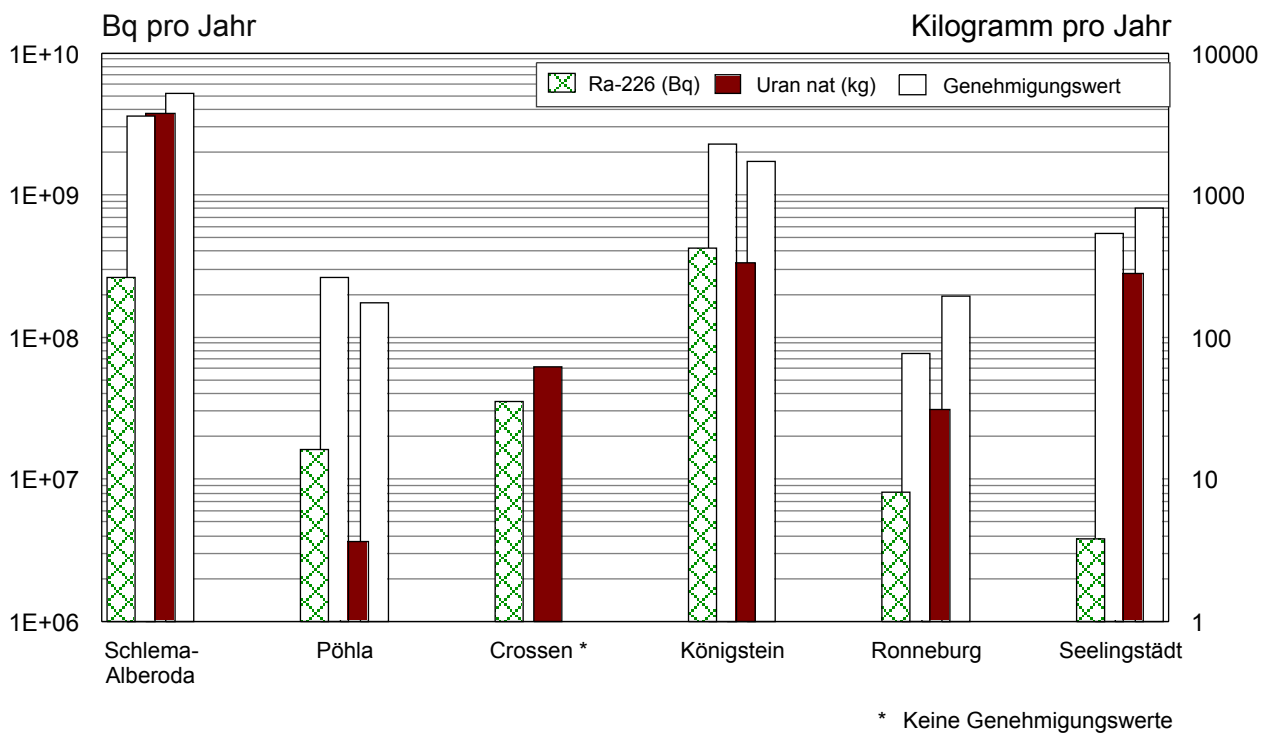


Abbildung II.6

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2002**



position festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln. Diese Regelungen gelten auch für die Abschätzung und Ermittlung der Strahlenexposition der Beschäftigten bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern.

Erlaubnisse, die nach dem Recht der DDR vor dem 1. August 2001 für Arbeiten erteilt wurden, die den Arbeitsfeldern nach Anlage XI StrlSchV zugeordnet werden können und nach dem 1. August 2001 fortgelten, gelten als Anzeige nach § 95 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH bei der Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues erfolgt die Ermittlung der Körperdosis auf der Grundlage des § 41 der StrlSchV. Für Beschäftigte der Wismut GmbH wird die durch Inhalation von Radonukliden der Uranerzfallsreihe, insbesondere von Radonzerfallsprodukten, und die durch äußere Gammastrahlung verursachte Körperdosis ermittelt. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI ausführen oder Beschäftigte bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern wurde die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt.

Im Jahr 2002 wurden die Körperdosen für 1860 Beschäftigte ermittelt, von denen ca. 85% Sanierungsarbeiten in der Wismut GmbH ausführten. Der Mittelwert der effektiven Dosis aller überwachten Personen betrug 0,62 mSv im Kalenderjahr. Die höchste mittlere effektive Dosis wurde für Beschäftigte in einem Radiumbad mit 3,61 mSv im Kalenderjahr festgestellt. Für Beschäftigte in Schauhöhlen und Schaubergwerken betrug der Mittelwert der effektiven Dosis 1,12 mSv im Kalenderjahr, in Wasserwirtschaftsbetrieben 1,15 mSv, bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau 1,76 mSv, in Bergsicherungsbetrieben 1,74 mSv und in der Wismut GmbH 0,47 mSv.

Im Jahr 2002 wurde bei 11 Beschäftigten eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Es gab keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv. Die höchste effektive Dosis wurde mit 11,3 mSv im Kalenderjahr bei einem Beschäftigten eines Nichturanbergbaubetriebes ermittelt.

## 5. Strahlenexposition des Flugpersonals

Die Strahlenexposition des Flugpersonals durch kosmische Strahlung wird maßgeblich durch die Flughöhe, Flugdauer, die Aktivität der Sonne und die geomagnetische Breite der Flugroute bestimmt. Die gewichtete Umgebungs-Äquivalentdosis, die die effektive Dosis im Flugzeug konservativ abschätzt, beträgt bei einem Langstreckenflug (Reiseroute nördlich 50° Nord) bei einer Flughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km im Mittel 0,009 mSv pro Stunde zur Zeit der maximalen kosmischen Strahlenexposition. Bei Berücksichtigung einer Aufenthaltszeit in Reise Flughöhe von 875 Stunden pro Jahr beträgt die Dosis rund 8 mSv pro Jahr (Anwendung der Qualitätsfaktoren

von ICRP 60, siehe auch: Berichte der Strahlenschutzkommission, „Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals“, Heft 1, 1995). Da die Strahlenexposition im Bereich höherer Breiten am höchsten ist und zum Äquator hin abnimmt, sind bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel die Dosiswerte um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Mit der Novellierung der StrlSchV ist auch die Überwachung des fliegenden Personals erforderlich, sobald die effektive Dosis im Kalenderjahr 1 mSv überschreiten kann. Der Grenzwert für die effektive Dosis beträgt beim fliegenden Personal ebenfalls 20 mSv pro Jahr.

## III. Zivilisatorische Strahlenexposition

### 1. Kerntechnische Anlagen

#### 1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 2002 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im Allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der [Abbildungen III.1](#) bzw. [III.2](#) und üblichen Genehmigungswerten von ca.  $10^{15}$  Bq für Edelgase, ca.  $3 \cdot 10^{10}$  Bq für Aerosole und ca.  $10^{10}$  Bq für Jod-131 zeigt.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2002 haben die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2002 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

#### 1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und an die zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in den 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.

Abbildung III.1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2002  
Aerosole und Jod-131**

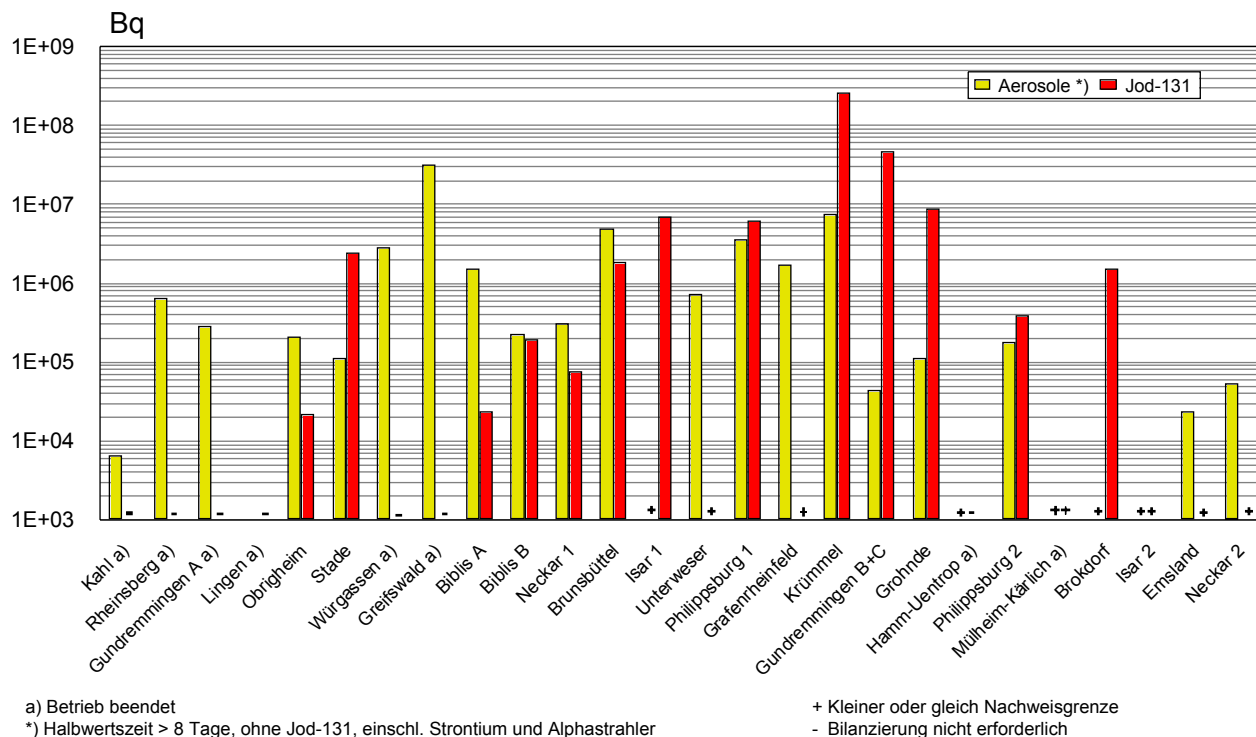


Abbildung III.2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2002  
<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, Tritium und Edelgase**

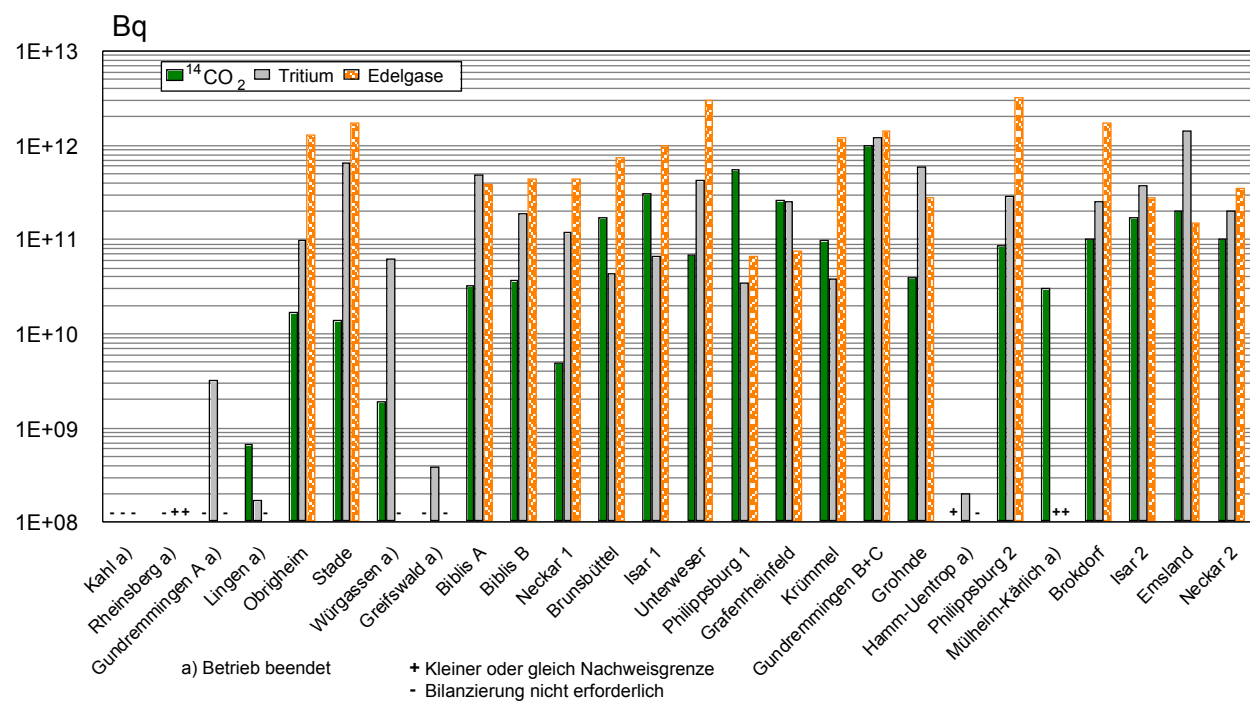


Abbildung III.3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2002  
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

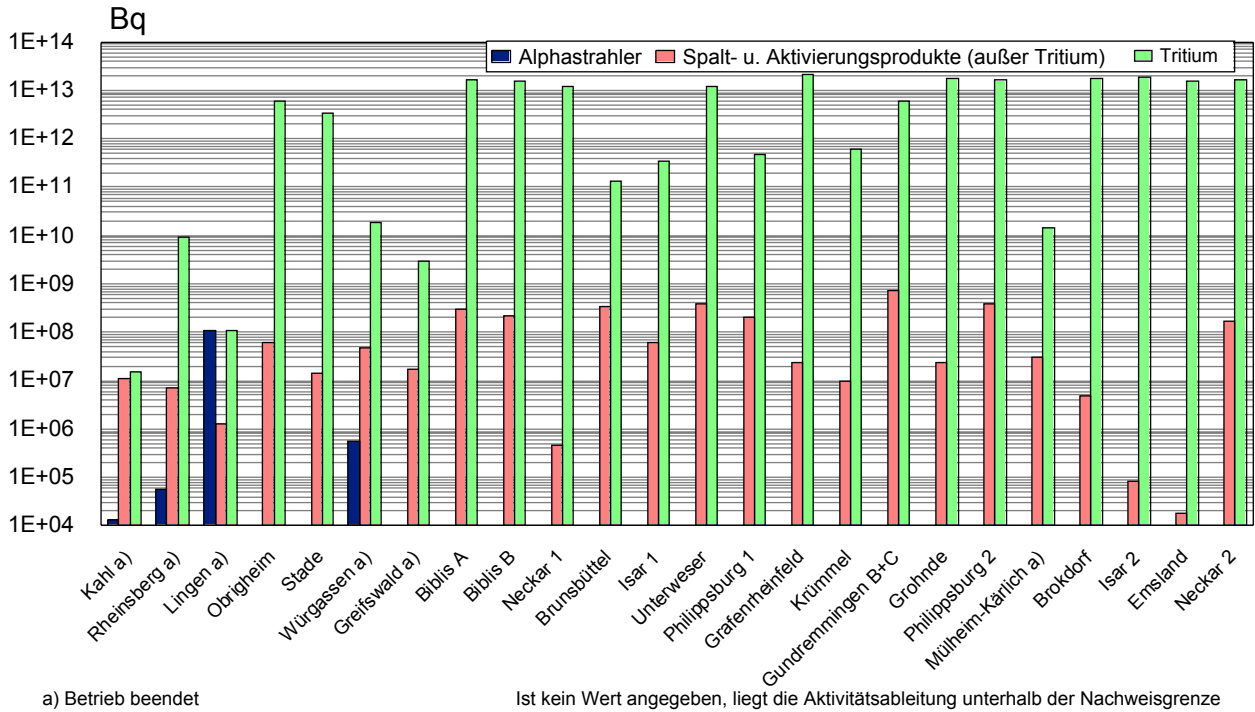
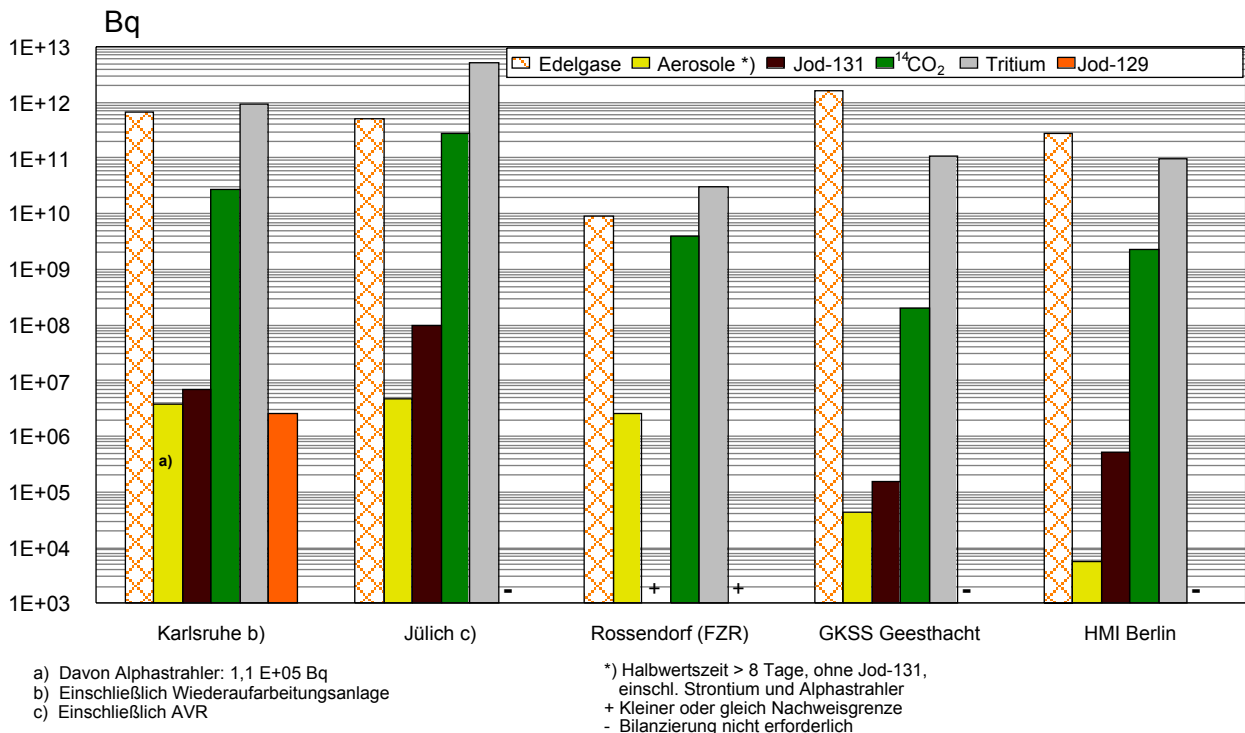


Abbildung III.4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 2002  
Aerosole, Jod-131 und Jod-129, <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, Tritium und Edelgase**



Die für 2002 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den [Abbildungen III.1 bis III.3](#) angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte. In [Abbildung III.4](#) sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin für das Jahr 2002 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In [Abbildung III.5](#) sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2002 zusammengestellt. [Abbildung III.6](#) enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2002 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in [Tabelle III.1](#) auf Seite 20 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten „Umweltradio-

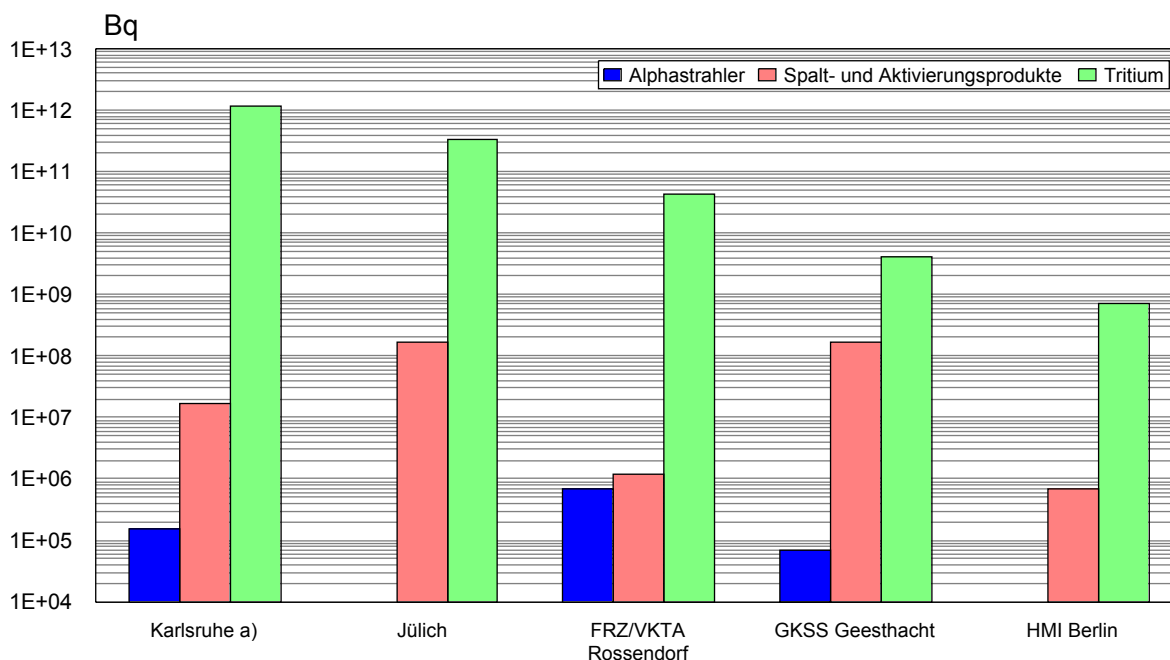
aktivität und Strahlendosen in der Schweiz“ des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

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

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der StrlSchV definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das im Entwurf vom 11.11.2002 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist. Die Dosisangaben für Forschungszentren sind deren Jahresberichten entnommen. Die in den [Abbildungen III.7 bis III.10](#) angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Abs. 2 der StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der StrlSchV (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Abbildung III.5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2002  
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**



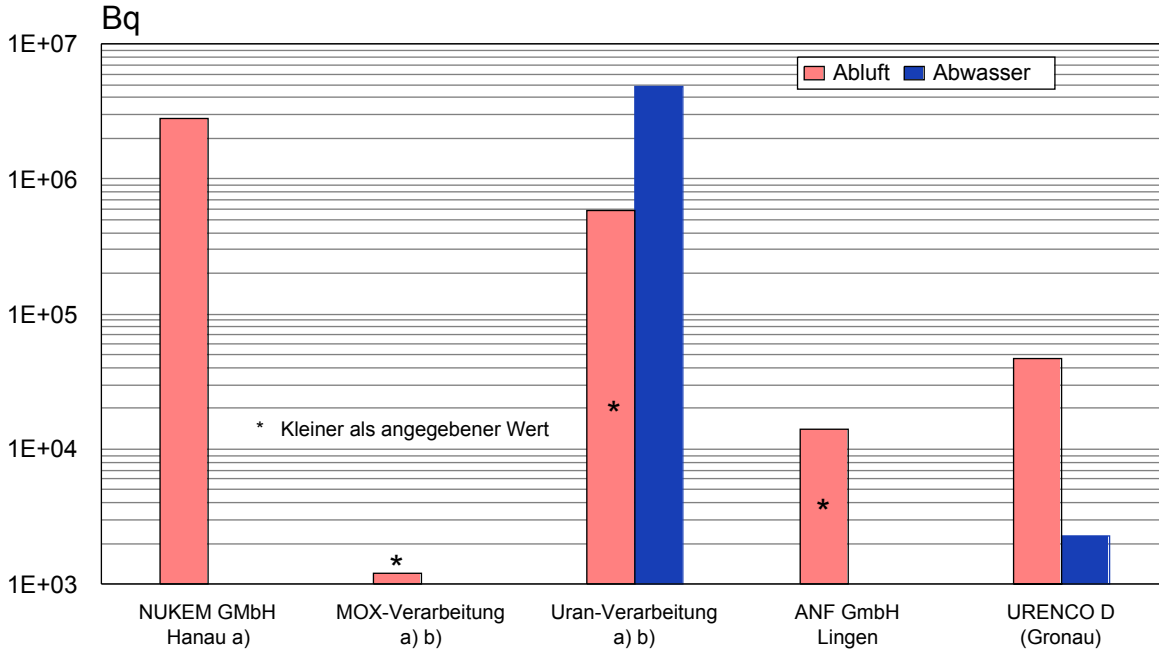
a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage

Ist kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze



Abbildung III.6

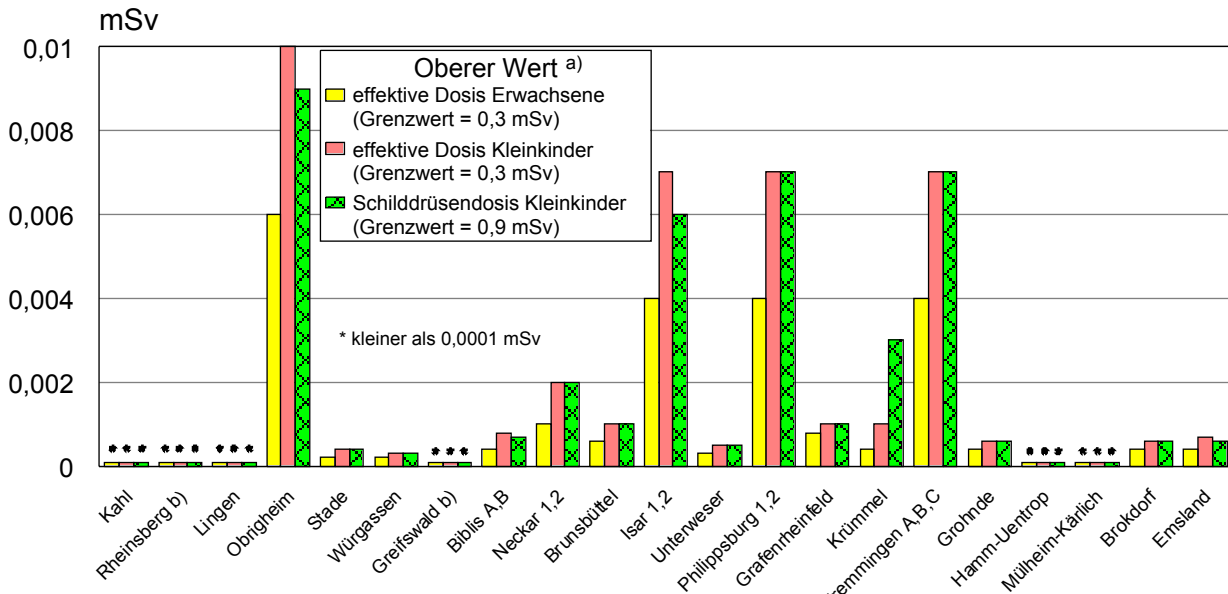
**Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Abluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2002**



a) Brennelementproduktion eingestellt  
 b) SIEMENS AG, Brennelementwerk Hanau

Abbildung III.7

**Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft**



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

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2002 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält [Abbildung III.7](#). Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe > 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. [Abbildung III.7](#) zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,006 mSv (2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) und für Kleinkinder 0,010 mSv (rund 3 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Obrigheim. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,009 mSv (1 % des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Obrigheim.

In [Abbildung III.8](#) sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,0011 mSv (entsprechend rund 0,3% des Dosisgrenzwertes) beim Standort der Kernkraftwerke Neckar 1 und 2.

Entsprechend dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Die

höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,001 mSv für Erwachsene bzw. Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,0002 mSv bzw. 0,0004 mSv, an der Donau bei 0,0006 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

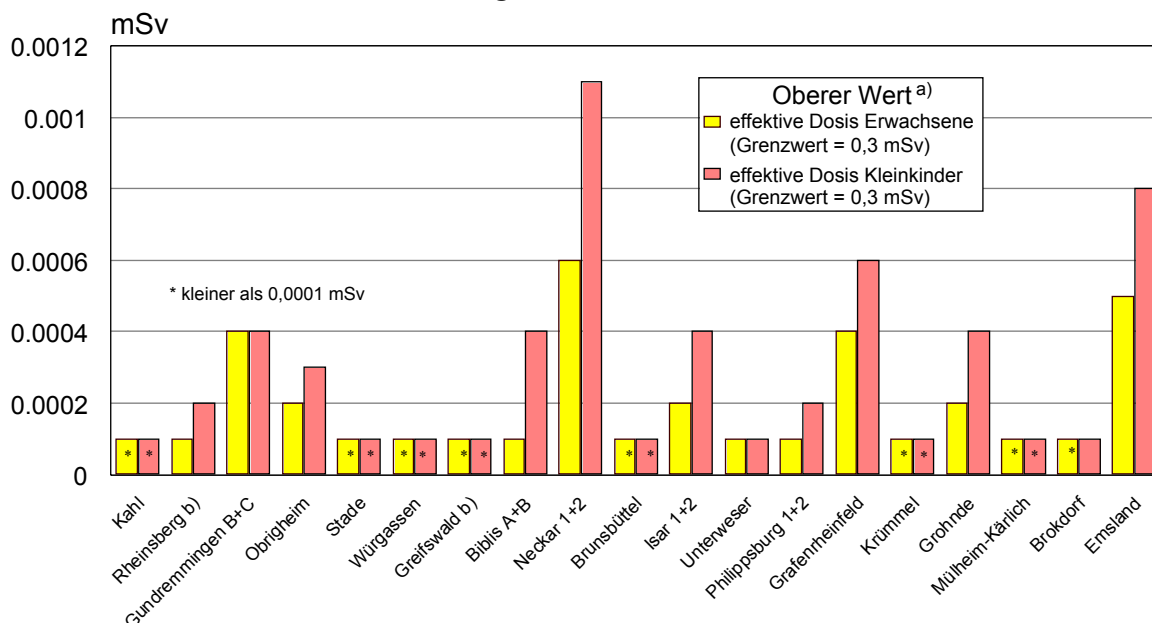
In [Abbildung III.9](#) sind Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2002 als höchsten Wert 0,017 mSv (rund 6% des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,025 mSv (rund 8% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,023 mSv (rund 3% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition durch die Ableitung von Abwasser aus Kernforschungszentren ergeben sich im Jahr 2002 für die Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte von 0,000015 mSv; 0,013 mSv bzw. 0,0008 mSv.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in [Abbildung III.10](#) die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

Abbildung III.8

### Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

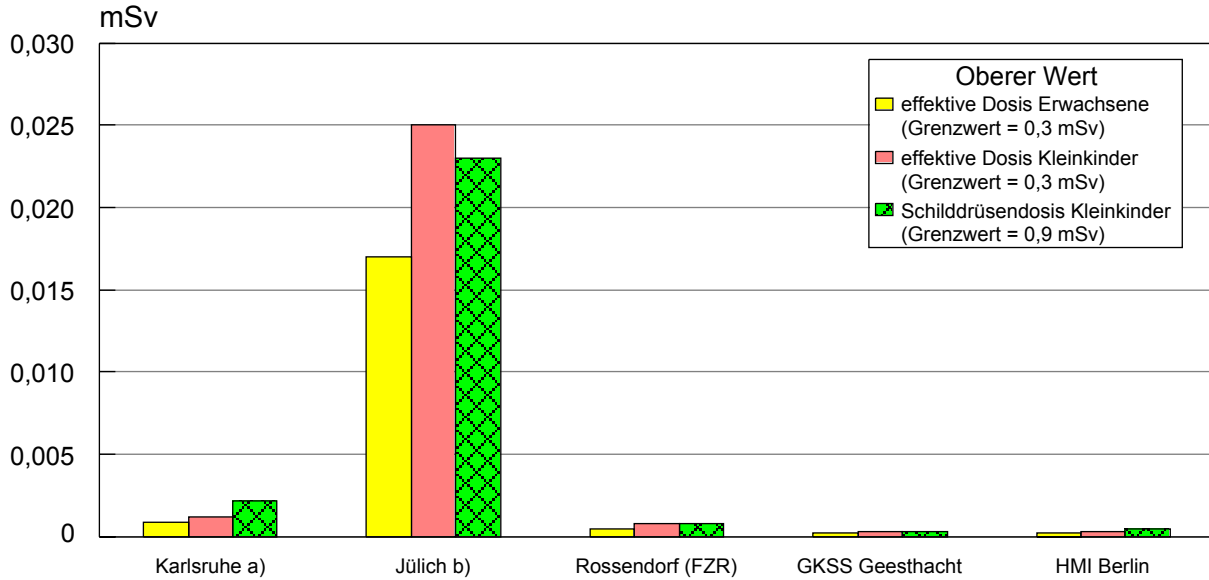


a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

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

Abbildung III.9

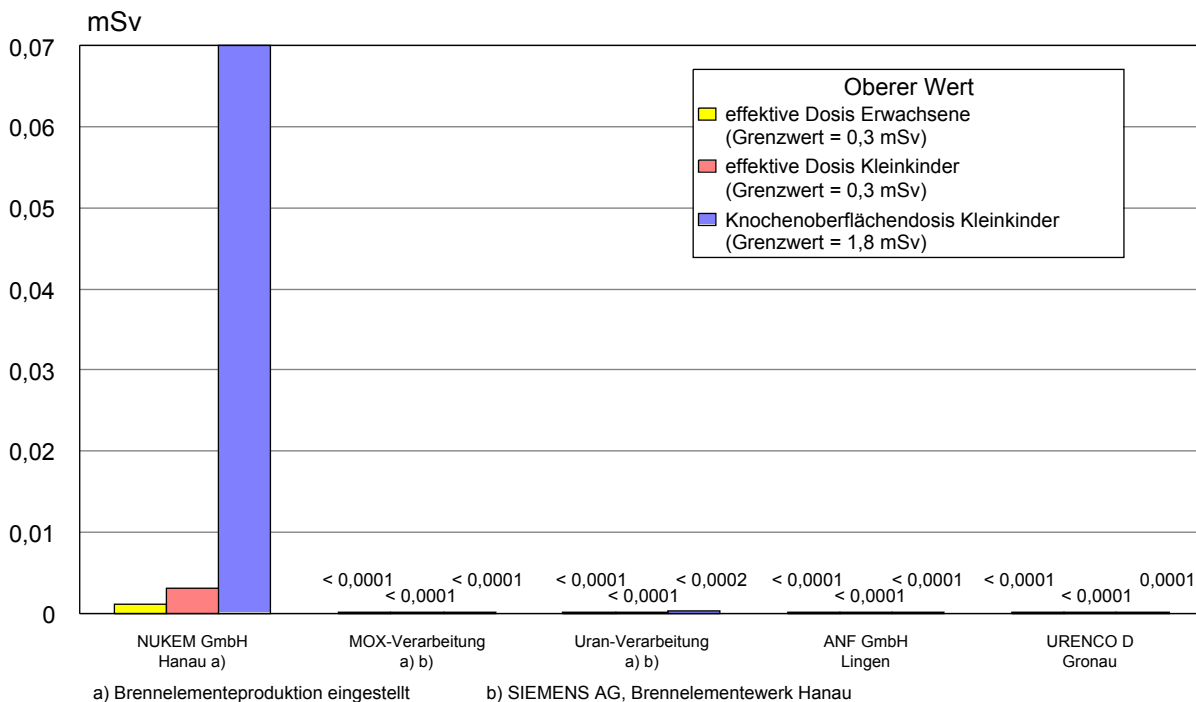
**Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft\***



\*) Entnommen aus den Jahresberichten 2002 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und HMI-Berlin  
 a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage  
 b) Einschließlich Versuchsreaktor AVR

Abbildung III.10

**Strahlenexposition im Jahr 2002 in der Umgebung von Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft**



a) Brennelementproduktion eingestellt  
 b) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau

Tabelle III.1

**Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland**

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen (Kernforschung)	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft angeben.

Beim Betrieb NUKEM ergeben sich infolge von höheren Emissionen, bedingt durch Abrissarbeiten, im Vergleich zum Vorjahr für eine Referenzperson deutlich höhere Expositionswerte. Der berechnete Wert der effektiven Dosis für Erwachsene beträgt 0,001 mSv (rund 0,3% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,003 mSv (1% des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder errechnet sich zu 0,07 mSv (rund 4% des Grenzwertes).

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

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in [Tabelle III.2](#) aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2002 mit der Abluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0002 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0008 mSv und für mit Mutter-

milch ernährte Säuglinge 0,0019 mSv; dies sind 0,1%, 0,2% bzw. 0,6% des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Dosis für das rote Knochenmark (am stärksten belastetes Organ) errechnete sich zu 0,0004 mSv für Erwachsene, 0,0017 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0059 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,6% bzw. 2,0% des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2002 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge.

Bei den Kernbrennstoff-Zwischenlagern, insbesondere Ahaus und Gorleben sowie Nord (bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine nennenswerten Emissionen radioaktiver Stoffe auf; dasselbe gilt für das im Dezember 2002 in Betrieb gegangene Standort-Zwischenlager Lingen und die Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg und Biblis sowie für die im Genehmigungsverfahren befindlichen weiteren dezentralen Zwischenlager. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist im Allgemeinen nur die Gamma- und Neutronendosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. [Abbildung III.11](#) zeigt eine Übersicht über beantragte, genehmigte und bereits in Betrieb genommene Zwischen- bzw. Interimslager in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2002.

Tabelle III.2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2002**

	Abluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	3,16 E+10	n.n.
Kohlenstoff-14	9,3 E+08	---
langlebige Aerosole	1,5 E+08	---
Radonfolgeprodukte	9,2 E+10	---
Nuklidgemisch außer Tritium	---	6,77 E+03

n.n.= nicht nachgewiesen

--- = Bilanzierung nicht erforderlich

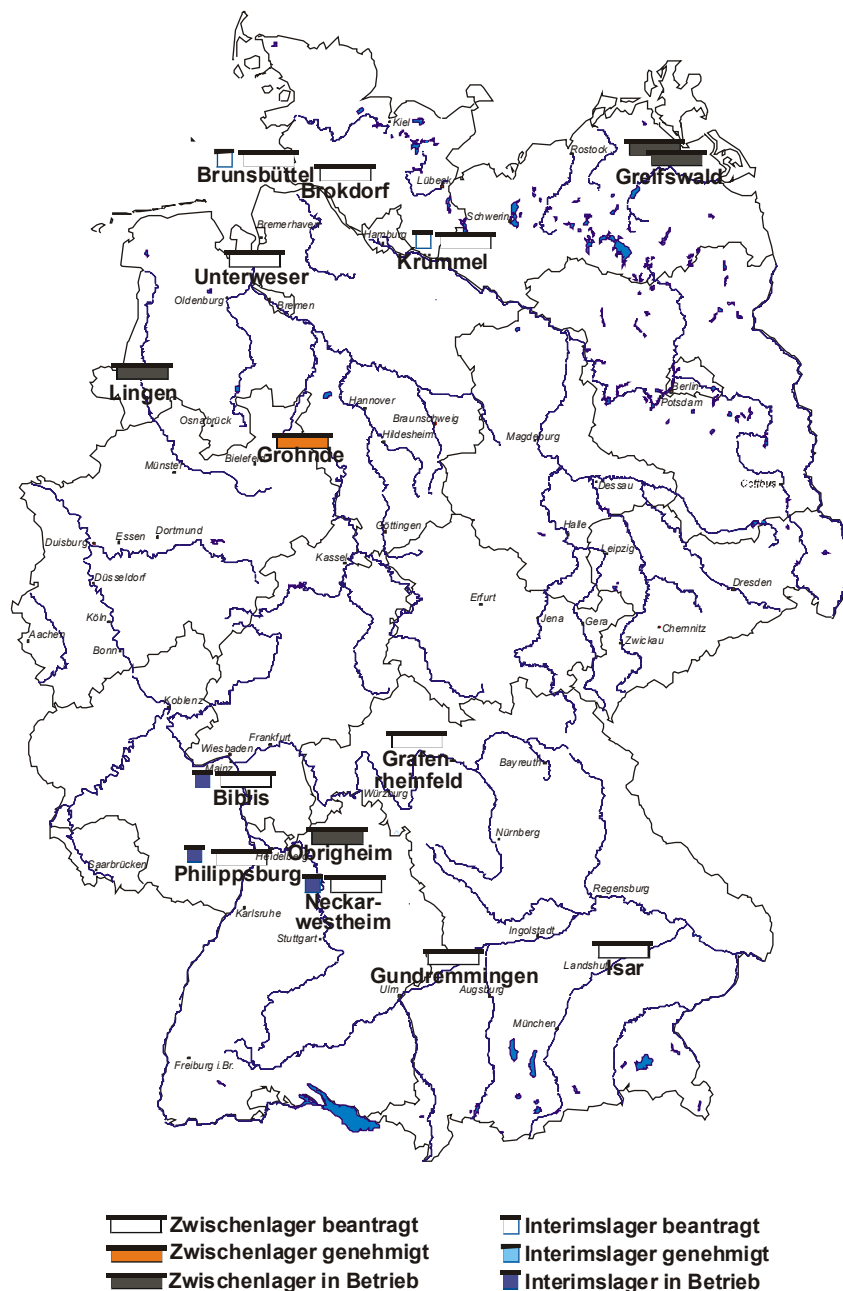
Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Abluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle III.1) führte 2002 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvor-

schrift zu § 47 StrlSchV auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer Referenzperson bis zu 0,02 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 0,03 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde im Jahr 2002 Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

Abbildung III.11

Übersichtskarte der Zwischenlager und Interimslager in Deutschland im Jahr 2002



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

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Standard erreicht. Sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der RöV und der Vorschriften der StrlSchV muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist

in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe der gewünschte medizinische Effekt nicht ebenso erzielt werden kann.

BMU und BfS sind auf dem Weg über die novellierte RöV und StrlSchV und die dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung weiter um eine Verringerung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen bemüht. Hierzu gehören u. a. die Vorschriften über die diagnostischen Referenzwerte. Nach wie vor ist die Häufigkeit der Untersuchungen Hauptursache für die Strahlenexposition.

Tabelle III.3

### Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland (82,05 Mio. Einwohner)

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

a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen

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

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

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

## 2.1 Röntgendiagnostik

Die derzeit aktuellste Auswertung der Daten zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen für Deutschland liegt für das Jahr 1997 vor. Die Erhebung weiterer Rohdaten erfolgte bis zum Jahr 2000, die Ergebnisse werden im Bericht für das Jahr 2003 dargestellt. Die Ergebnisse der Auswertung der Daten für das Jahr 1997 sind in [Tabelle III.3](#) auf Seite 22 zusammengestellt. Die Erhebung wurde durch das BfS durchgeführt und basiert im Wesentlichen auf Daten der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Daraus lässt sich eine Gesamtzahl von etwa 136 Millionen Röntgenuntersuchungen einschließlich zahnmedizinischer Untersuchungen pro Jahr abschätzen. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca.  $\pm 10\%$ . Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich eine Steigerung der Untersuchungshäufigkeiten zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%.

Eine Trendanalyse ist in [Abbildung III.12](#) zusammengestellt. Sie lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der Häufigkeit einzelner Untersuchungsarten erkennen. So zeigte sich einerseits im Vergleich zu 1994 eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts um 10 bis 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher

beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlen, wie Ultraschall bzw. Endoskopie, weiter anhält. Andererseits zeigt sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%. Hierbei ist die erstere im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Diagnose des Brustkrebses unterstreicht. Weitere Zunahmen finden sich bei der Computertomographie (CT) um ca. 11% und der Arteriographie einschließlich interventioneller Eingriffe um ca. 67%.

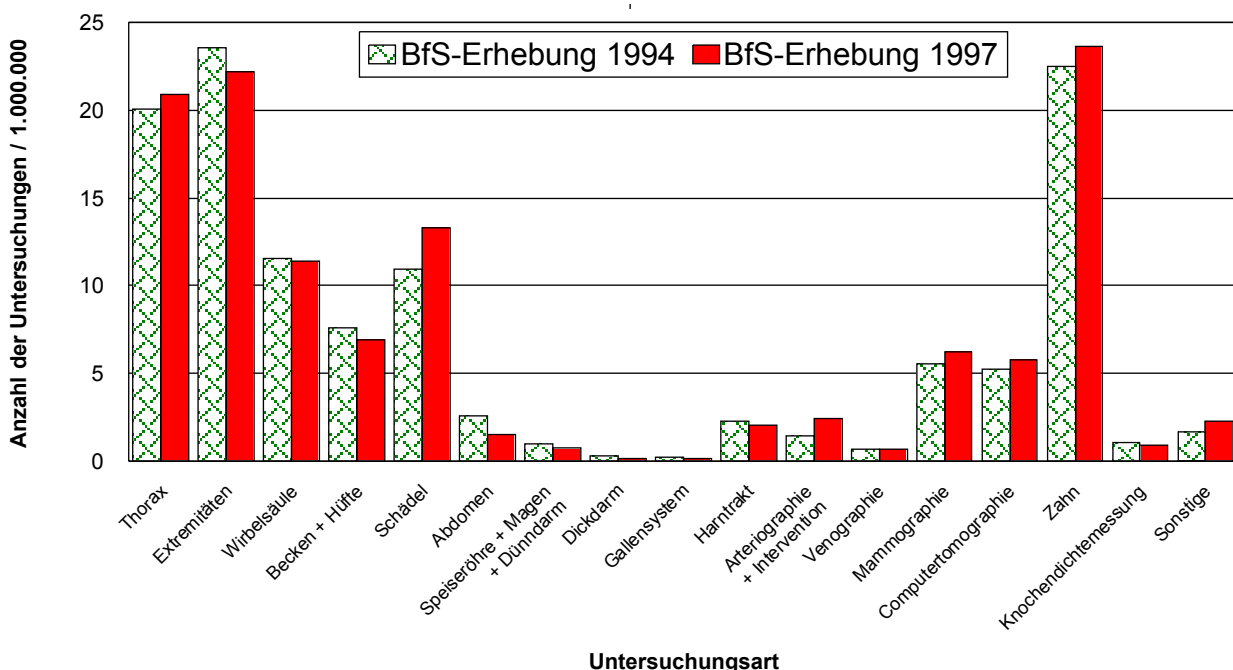
Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen sind in [Tabelle III.4](#) auf Seite 24 dargestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur **Röntgenaufnahmen** angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Bildempfänger sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine **Röntgendurchleuchtung** notwendig. Dabei durchdringt eine schwache, kontinuierliche oder gepulste Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem

Abbildung III.12

### Vergleich der Häufigkeiten von Röntgenuntersuchungen 1994 und 1997

Medizinische Röntgenuntersuchungen für die ambulante und stationäre Patientenversorgung, einschließlich Zahnmedizin



Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet werden kann. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden.

Die **Computertomographie (CT)**, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit Ausnahme der Magnetresonanztomographie (MRT) mit keinem anderen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen einer klinisch induzierten CT-Untersuchung für den Patienten in den Hintergrund tritt.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungs-dosis für die verschiedenen Untersuchungsregionen bzw. -arten berechnet. Die so rechnerisch ermittelte effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland liegt für das Jahr 1997 bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Unsicherheit von ca.  $\pm 25\%$ . Eine erste Abschätzung auf Grund von noch nicht vollständig vorliegenden neueren Daten lässt erkennen, dass der Wert von etwa 2 mSv zwischen 1997 und 1999 nicht angestiegen ist. Den prozentualen Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis zeigt [Abbildung III.13](#). Im Vergleich zu den für das Jahr 1994 vom BfS angegebenen Daten fällt insbesondere der Anstieg bei der Arteriographie und interventionellen Radiologie von etwa 18% auf jetzt 28% auf. Demgegenüber bleibt der Anteil der CT mit 37% weitgehend unverändert. Es kann vermutet werden, dass die Zunahme der Untersuchungshäufigkeit durch eine Dosis-einsparung je CT-Untersuchung auf Grund neuer Gerätetechniken ausgeglichen worden ist. Trotz der zunehmend

Tabelle III.4

**Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten  
70 ± 5 kg Körpergewicht**

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

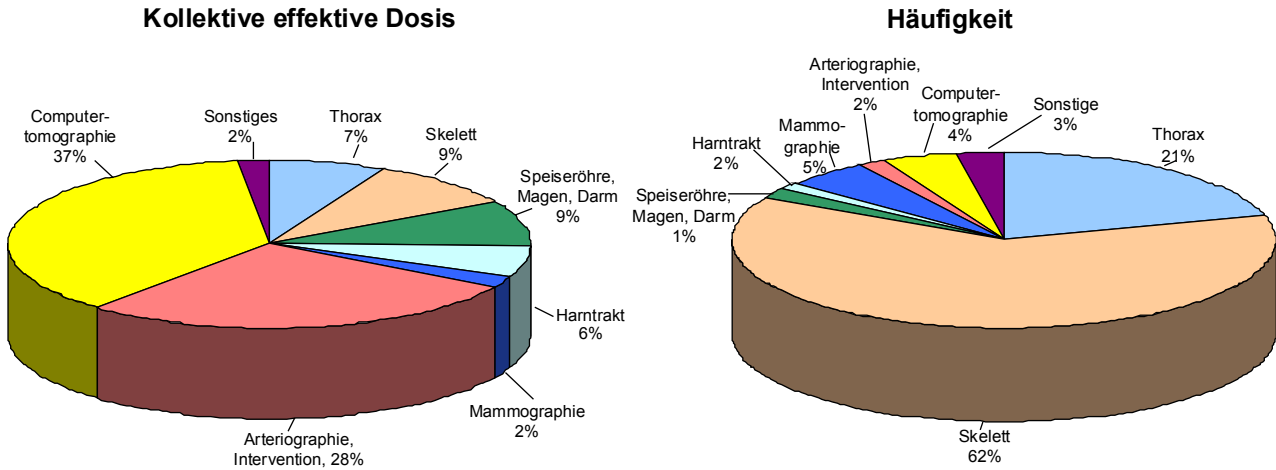
\* Neubewertung auf Grund neuer Forschungsergebnisse

\*\* CT: Computertomographie



Abbildung III.13

**Prozentualer Anteil der Röntgenuntersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für 1997**



häufiger eingesetzten MRT ist mit einer weiteren Zunahme bei der CT zu rechnen, weil durch neue Techniken, wie z.B. die Mehrschichttechnik, neue Untersuchungsarten mit hoher diagnostischer Aussagekraft möglich werden. Der prozentuale Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Häufigkeit ist ebenfalls in [Abbildung III.13](#) dargestellt. Obwohl CT und Arteriographie mit Intervention zusammen nur ca. 6% der Röntgenuntersuchungen ausmachen, liegt ihr gemeinsamer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis bei ca. 65%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bieten aber gerade diese Techniken einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patienten.

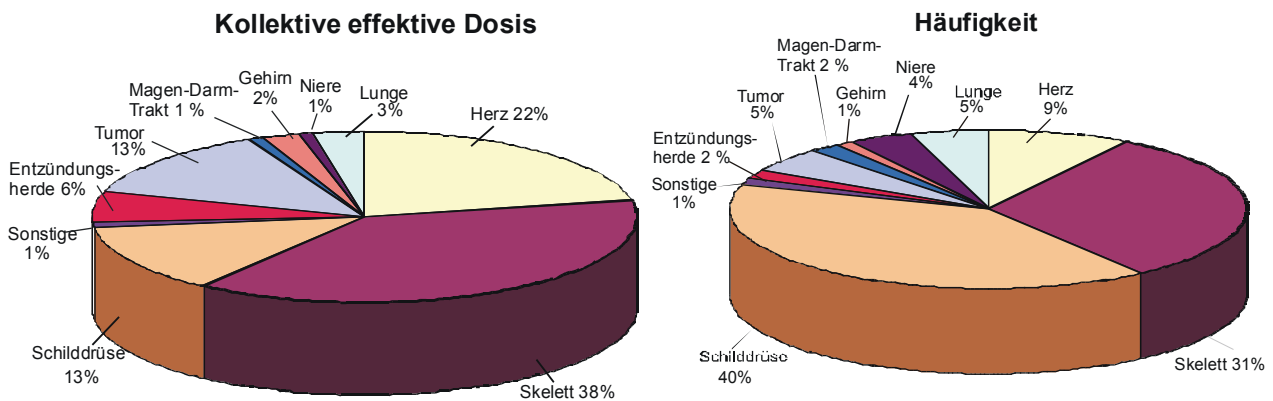
**2.2 Nuklearmedizinische Diagnostik**

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoff-

wechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z.B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten, bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Abbildung III.14

**Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der Häufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland (1996-2000)**



Insbesondere mit Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z. B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

In Deutschland wurden in den Jahren 1996-2000 im Mittel ca. 3,8 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abb. III.14).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 10.800 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,13 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen bestimmen die kollektive effektive Dosis: die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenzintigraphie (Abb. III.14).

Die mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei den Entzündungsuntersuchungen mit 9,4 mSv am höchsten, gefolgt von den Tumorszintigraphien mit 7,8 mSv, der Myokardszintigraphie mit 6,9 mSv, PET (FDG) mit 6,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 3,6 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenzintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,9 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,7 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,8 mSv.

Bei der Bewertung dieser Daten ist zu berücksichtigen, dass die Exposition nicht die gesamte Bevölkerung betrifft, sondern nur die Patienten, die einen diagnostischen Nutzen von der Untersuchung haben. Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (ca. 2 mSv pro Jahr und Person) ist die Strahlenbelastung durch die nuklearmedizinische Diagnostik (ca. 0,13 mSv pro Jahr und Person) relativ niedrig. Trotzdem sind Maßnahmen zur Dosisreduktion notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte für die Nuklearmedizin und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.

### 2.3 Therapie mit ionisierender Strahlung

In der Strahlentherapie muss angestrebt werden, dass der zu bestrahlende Tumor die therapeutisch erforderliche Strahlendosis erhält, um so krankes Gewebe zu zerstören, bei gleichzeitig möglichst geringer Bestrahlung des umgebenden gesunden Gewebes. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten und Medizin-

physik-Experten. Ständige Qualitätssicherung und -kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der Medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie dem Zusammenwirken dieser Bereiche. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z. B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, stellt neue Herausforderungen an die interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen oder schnelle Elektronen erzeugt werden. Derzeit werden in Deutschland jährlich etwa 220.000 Patienten mit ionisierender Strahlung behandelt. Davon entfallen 200.000 auf die Teletherapie und 20.000 auf die Brachytherapie.

Ziel ist es, das Tumorgewebe unter größtmöglicher Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. Dies wird zunehmend durch dreidimensionale, tumorconforme Bestrahlung unter Einsatz dynamischer Multi-leaf-Kollimatoren und Kompensatoren erreicht.

Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z. B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht werden kann. Die Therapie mit Röntgenstrahlen wird daher fast nur noch zur Behandlung von Hautkrankheiten sowie von entzündlichen oder degenerativen Skeletterkrankungen eingesetzt.

### 2.4 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid Jod-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 1999 wurden etwa 60.000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung besonders schmerzhafter Gelenkserkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen maligne Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Krebszellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie sehr hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu bewerten.

## 2.5 Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

Die Bewertung der medizinischen Strahlenexposition muss berücksichtigen, dass sich die Dosis sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen ist der Bevölkerungsanteil, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Wesentlich größer ist daher die Anzahl älterer Personen, die eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere. Die Daten der Strahlenexposition aus der Strahlentherapie werden zur Bewertung der Exposition der Normalbevölkerung nicht herangezogen.

Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten sowie der Indikationsstellung. Diese Angaben sind aus Gründen des Datenschutzes nur mit Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da hier eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erforderlich ist. Erste Ergebnisse brachte eine durch das BfS 1991 erhobene repräsentative Stichprobe aus Akutkrankenhäusern über die Altersverteilung stationärer Patienten bei sieben Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik, die zusammen etwa 86% der kollektiven effektiven Dosis der stationären Röntgendiagnostik ausmachen. Unter Berücksichtigung der Altersverteilung sowie der damit verbundenen Strahlenempfindlichkeit ergibt sich bei vorsichtiger Abschätzung für das 1991 untersuchte Patientenkollektiv ein Reduktionsfaktor von 0,6 bis 0,7 für das aus der Strahlenexposition zu ermittelnde Risiko im Vergleich zu einer Abschätzung, die die unterschiedlichen Altersverteilungen nicht berücksichtigt. Ein Forschungsvorhaben zur Aktualisierung der alters- und geschlechtsspezifischen Daten in der stationären Röntgendiagnostik wurde Ende 2002 in Auftrag gegeben.

## 2.6 Neues Strahlenschutzrecht

Mit Inkrafttreten der neuen RöV wurde insbesondere der Strahlenschutz des Patienten wesentlich verbessert. Analog zur StrlSchV ist die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie Röntgenstrahlung am Menschen angewendet wird, jetzt mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. Weiterhin wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlen anwenden bzw. Röntgenuntersuchungen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind jetzt auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ärztlichen Stellen Anwender herauszufinden, bei denen die Dosiswerte ständig deutlich über den diagnostischen Referenzwerten liegen, um dort offensichtlich vorhandene systematische Fehler zu finden und zu beseitigen.

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

Die Novelle der StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers explizit den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z.B. Spielsachen, kosmetischen Mitteln und Schmuck.

Sie regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

### 3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z.B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z.B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

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

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

### 3.2 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden (z.B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter). Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern eine Bauartzulassung nicht vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten, wie z.B. in Fernsehgeräten. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in der RöV § 5, Abs.2, Satz 1 geregelt.

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

### 3.3 Neues Strahlenschutzrecht

Die Freigabewerte in Anlage I zu § 29 StrlSchV basieren auf dem de-minimis-Konzept. Als Schutzziele für die Bevölkerung wurde neben der Individualdosis im Bereich von 10  $\mu$ Sv in einem Jahr auch eine Kollektivdosis von

1 Personen-Sievert in einem Jahr festgelegt. Mit den Daten der in § 70 StrlSchV festgelegten Buchführung der freigegebenen Stoffe werden zukünftig Kollektivdosen abgeschätzt. Hierzu wurden probabilistische Modelle entwickelt. Damit lassen sich die Kollektivdosen realistischer errechnen als mit Hilfe konservativ deterministischer Modelle. Selbst unter konservativen Annahmen zu Mengen und Aktivitäten freigegebener Stoffe liegen die Personendosen für Freigaben nach § 29 StrlSchV unterhalb 1 Personen-Sievert in einem Jahr.

## 4. Berufliche Tätigkeit

### 4.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von sechs behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl der überwachten Personen betrug im Jahr 2002 insgesamt ca. 314 000, davon im Bereich Medizin ca. 241 000. [Abbildung III.15](#) zeigt den Verlauf seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Bis einschließlich 1998 entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind. Ab dem Überwachungsjahr 1999 werden durch

eine personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 2002 betrug 47,4 Personen-Sv. Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die [Abbildung III.16](#). Es ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten von 0,15 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, dass bei dem größten Teil aller Überwachten (ca. 85%) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter liegen. In diesen Fällen setzen die Messstellen für die Personendosis den Wert Null fest. Im Bereich Medizin erhalten ca. 87% und in den nicht medizinischen Bereichen ca. 76% keine messbare Personendosis (siehe [Abbildung III.17](#)). Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 47 600 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 1,0 mSv.

Einige Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den [Abbildungen III.18](#) und [III.19](#) enthalten.

Abbildung III.15

**Mit Personendosimetern überwachte Personen in Deutschland**  
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

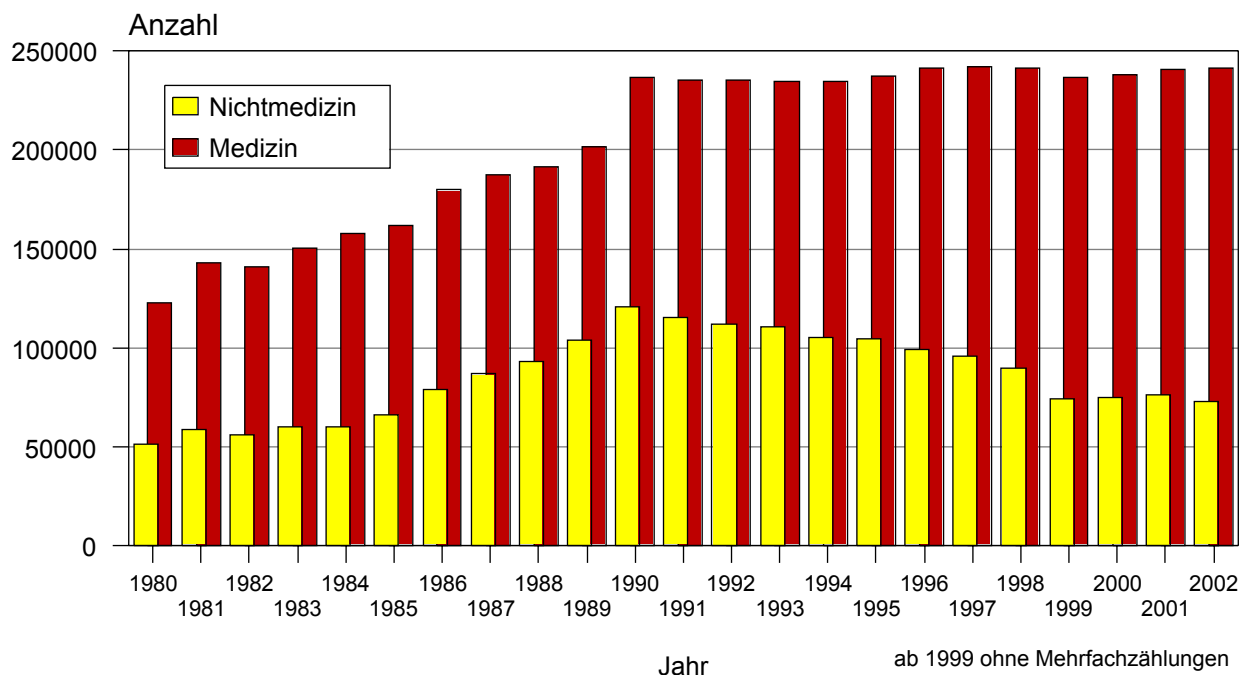


Abbildung III.16

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

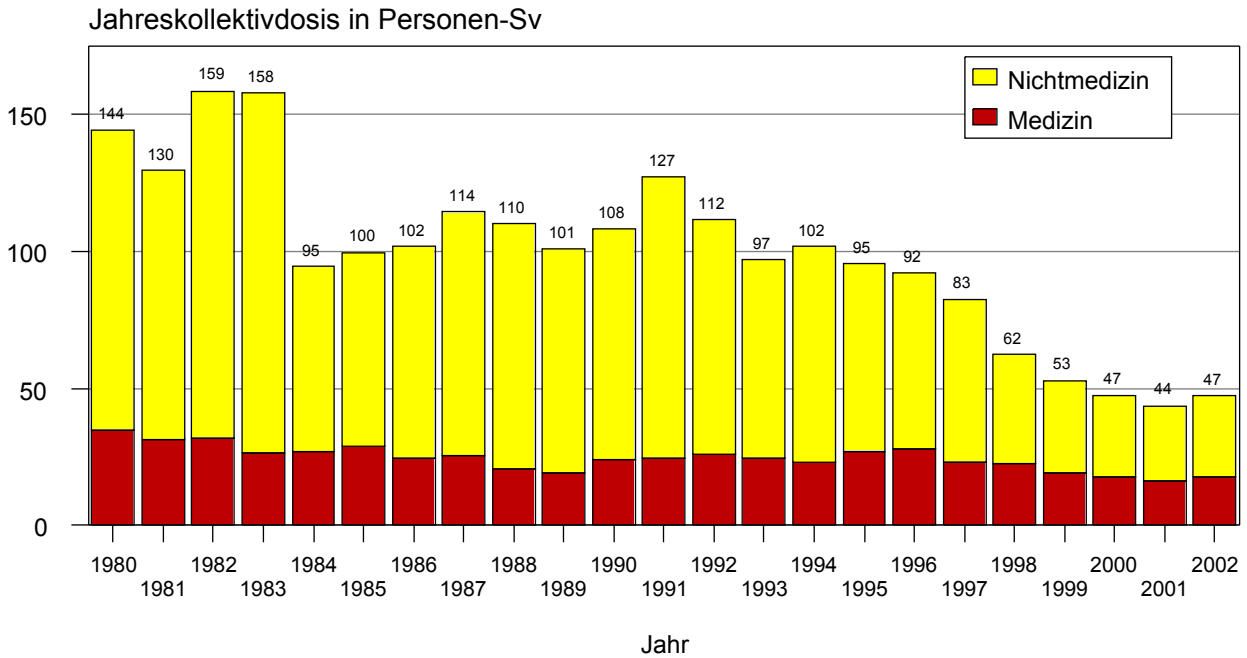


Abbildung III.17

**Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2002**

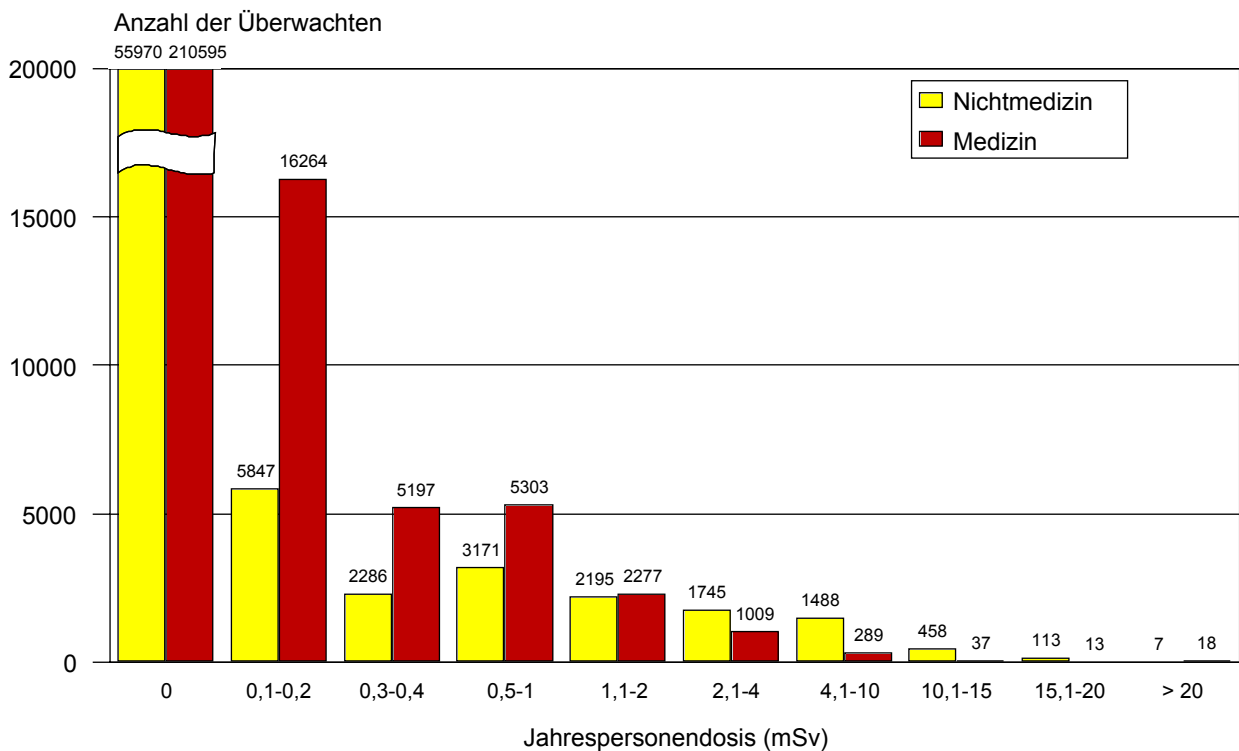


Abbildung III.18

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

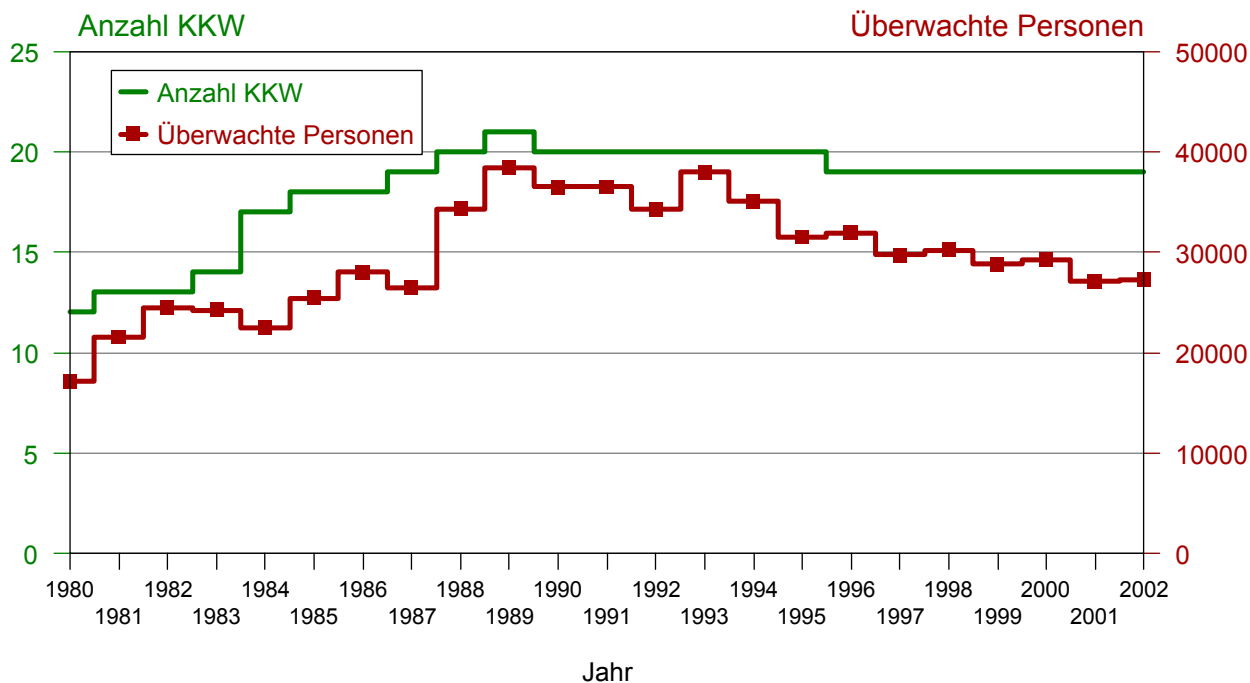
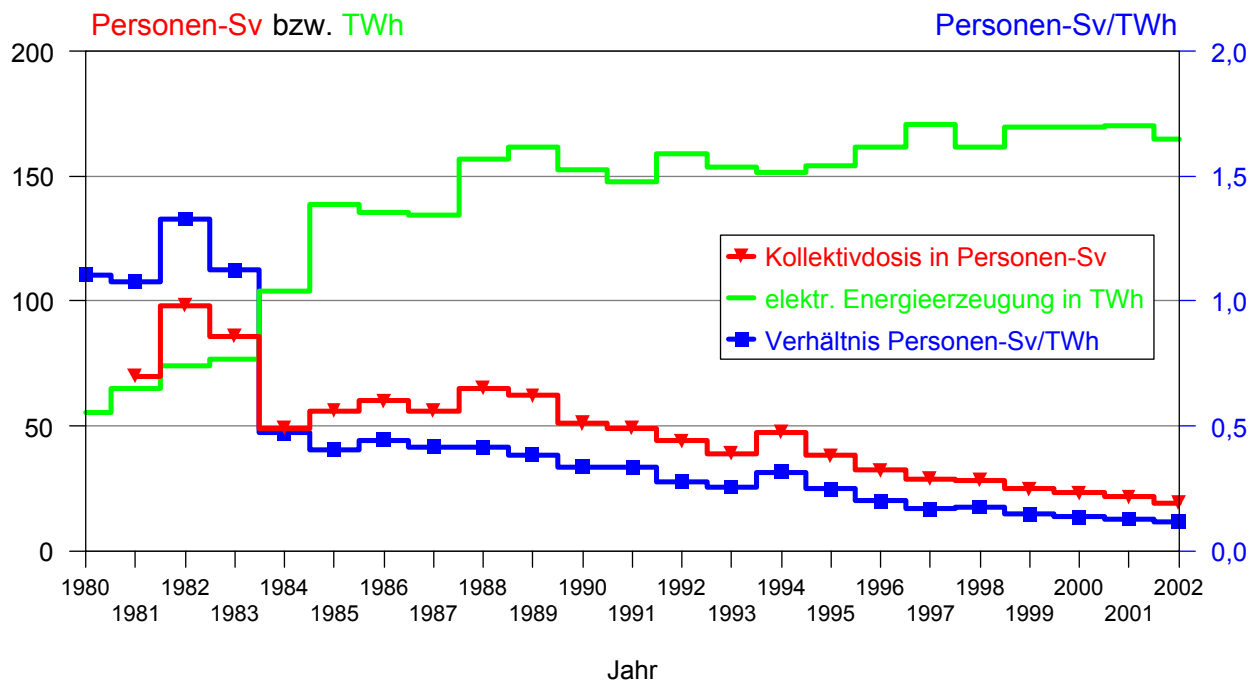


Abbildung III.19

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken



#### 4.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aktivitätszufuhr oberhalb 10% der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analysen ihrer Ausscheidungen überwacht. Nach den Erkenntnissen der zuständigen Aufsichtsbehörden der Länder werden bei diesen Inkorporationsmessungen nur geringfügige, beruflich bedingte Körpergehalte radioaktiver Stoffe ermittelt - ausgenommen in Fällen besonderer Vorkommnisse (siehe folgender Abschnitt).

Im Jahr 2002 begannen Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Nach diesen vorliegenden Meldungen wurden im Berichtsjahr 621 Personen inkorporationsüberwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,029 Personen-Sv.

#### 5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der StrlSchV (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2002 enthält [Tabelle III.5](#). Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden.

Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

#### 6. Fall-out von Kernwaffenversuchen

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl von oberirdischen Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Jahr 2002 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 38 Jahren stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
31.10.00 (Nachtrag)	Anonyme Abgabe einer Uranchemikalie (ca. 9,2 g Urancarbid mit Anreicherungen 1,6%); Dosisleistung an Umschlagoberfläche max. 0,7 µSv/h	Unterlassene Entsorgung	Keine	Untersuchung; Ordnungsgemäße Entsorgung
Januar 2002	Feststellung eines Symmetriefehlers bis zu 14,6% bei routinemäßigen Feldausgleichsmessungen an einem medizinischen Beschleuniger, Interlocksystem nicht angesprochen	Lockerung der mechanischen Befestigung des Ausgleichsfilters	Keine, da keine Patientenbestrahlung stattfand	Gerät nach Reparatur, Kalibrierung und Überprüfung des Interlocksystems wieder in Betrieb genommen; Stellungnahme des Herstellers angefordert
14.01.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) in der Katheterspitze bei einem Betabestrahlungsgerät während eines Funktionstests	Unbekannt	Keine	Bergung der Strahlerkette; Austausch des Gerätes durch Herstellerfirma
15.01.02	Fund eines Blechbehälters mit ca. 15 kg eines radioaktiven Schlammes (Th, 10-15 Bq/g) in Schrottcontainern bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ermittlung des Verursachers; Bußgeldverfahren

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
17.01.02	Feststellung erhöhter Ortsdosisleistung (max. 1,2 µSv/h am Fahrzeug, max. 4,6 µSv/h in 10 cm Abstand von der Ladung) an einem LkW bei der Einreise durch radioaktiv kontaminierte Abfälle	Unerkannte Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen	Keine	Transport zurückgewiesen
22.01.02	Fall des Strahlers (Co-60, ca. 5 MBq) einer Füllstandsmessanlage auf den Boden des Behälters (max. Dosisleistung 1,1 µSv/h an Außenstelle des Behälters)	Falsche Montage des Strahlers	Keine	Dichtheitsprüfung; Rückgabe des Strahlers an Hersteller
28.01.02	Fund von zwei Strahlern (Ra-226, max. 25,4 µSv/h an Waggon-Außenseite; 34 µSv/h in 10 cm Abstand von der Quelle) in einer Schrottlieferung bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.01.02	Störfall bei der Bestrahlung eines Patienten	Anwendungsfehler; Verwendung eines falschen Führungskatheters (Innendurchmesser zu klein)	Keine, da Strahlerkette nicht ausgefahren	Schriftliche Unterweisung des Personals; Dokumentation der verwendeten Katheter in den Bestrahlungslisten
30.01.02	Steckenbleiben von einigen Strahlern im Anschlussteil des Katheters nach Beendigung einer Behandlung mit einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Unbekannt	Keine	Überprüfung und Stellungnahme durch Hersteller
04.02.02	Verschlusstörung an einer Gammabestrahlungsanlage bei Patientenbestrahlung in einer Klinik	Defekt an einem Relais	Erhöhung der Patientenexposition um 0,5%	Austausch des Relais durch Herstellerfirma
07.02.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) in der Leistenregion des Patienten bei Behandlungsbeginn	Unbekannt	Dosis an der Gefäßwand ca. 600 mGy; Exposition der Mitarbeiter: max. 1 µSv	Ursachenermittlung durch Herstellerfirma
11.02.02	Abgabe radioaktiver Stoffe (I-131, 3,7 GBq) aus nuklearmedizinischer Therapiestation in öffentliches Abwassernetz	Unachtsamkeit, Fehler in der Dokumentation, Fehlinterpretation, Fehleinschätzung	Keine; Schätzung der Exposition des externen Personals ergab wenige µSv	Technische Nachrüstung, Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahren wird geprüft



noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.02.02	Fund von 200 Bombenzielgeräten mit radioaktiven Leuchtröhren (Ra-226, ca. 16 MBq Gesamtaktivität) im Metallschrott bei einer Recyclingfirma; Kontamination des Erdreichs (Ra-226 0,5 Bq/g) beim Verursacher	Unzulässige Entsorgung	Exposition der beteiligten Mitarbeiter: max. einige $\mu\text{Sv}$	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.02.02	Feststellung des Verlustes von Schulquellen (Cs-137, 88,7 kBq und Kr-85, 23,7 kBq) bei der Bestandskontrolle in einer Schule	Mangelhafte Kontrolle	Gefährdungspotenzial gering	Suche erfolglos, Polizeiliche Ermittlungen
21.02.02	Verlust eines gelagerten Strahlers (Cs-137, 0,4 GBq) einer Dichtemessanlage bei einer Firma	Unzureichende Bestandskontrolle	Gefährdungspotenzial gering	Suche nach Strahler erfolglos
21.02.02	Ableitung von Abwasser aus Strahlenschutzbereichen wurde nicht überwacht	Umgehung des Rückhaltebehälters bei Bauarbeiten	Keine	Veranlassung neuer organisatorischer Regelungen zur Einhaltung der StrlSchV bei Bau- und Rekonstruktionsmaßnahmen
01.03.02	Brand eines LkW mit radiopharmazeutischen Produkten	Reifenbrand	Keine; radioaktive Stoffe blieben unversehrt	Schnelle Löschung des Brandes
06.03.02	Freisetzung von Kr-85 (32 MBq) aus einem Aerosolneutralisator und Abgabe in die Abluft ( $6 \text{ kBq/m}^3$ ) in einer Forschungseinrichtung	Undichtheit des Strahlers	Keine	Meldung an Aufsichtsbehörde
07.03.02	Fund eines Radiumkissens im Nachlass eines Radiologen	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.03.02	Kontamination durch Zerschneiden einer Ampulle im Kontrollbereich bei Inspektion	Unachtsamkeit	Abgeschätzte Strahlenexposition der beiden Mitarbeiter: 0,2 bzw. 0,03 mSv	Sicherstellung und Entsorgung
19.03.02	Fund eines alten Behältnisses mit der Aufschrift „Lebensgefahr gefährliche Strahlungen Radium“ mit Prüfstrahler (Cs-137, ca. 180 kBq) im Keller einer Klinik	Unbekannte Herkunft	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung,
21.03.02	Verlust radioaktiver Stoffe (P-32, 10 MBq), Fläschchen (ca. 25 $\mu\text{l}$ ) in einer Universität	Irrtümlicher Rückversand an Absender	Keine	Erstattung einer Anzeige; Paket wurde am 25.03.02 wieder an die Universität geliefert
28.03.02	Beginn der Bestrahlung an einem Linearbeschleuniger (6 MeV) während die MTRA noch im Bestrahlungsraum war; Strahlzeit ca. 8,6 s	Unachtsamkeit	Geringfügige* Exposition der MTRA	Installieren eines Quittierschalters

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
April 2002	Verlust von 233 Ionisationsrauchmeldern (Ra-226 je 2,2 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung mit Elektroschrott im Jahr 2001	Gefährdungspotential gering	Verbleib retrospektiv nicht zu ermitteln
03.04.02	Fund eines Messgerätes mit Sr-90-Strahler (33 MBq) im Elektronikschrott bei einem Bauhof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe an den Hersteller
04.04.02	Feststellung der Kontamination des Erdreiches (Co-57, max. 1 Bq/kg) in der Nähe einer unterirdischen Abwasserleitung einer Zyklotronanlage und eines Instituts für Radiochemie bei Revisionsarbeiten	Abwasserleitung an mehreren Stellen durch Wurzeleinwuchs beschädigt	Keine	Austausch durch ein doppelwandiges Rohr, Freihaltung des Geländes von tiefwurzelnden Pflanzen
04.04.02	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, 12 µSv/h im Abstand von 2 cm, > 10 kBq) in einer Schrottverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.04.02	Verbleib von 17 der 24 Einzelstrahler im Patienten während der Strahlerrückführung nach einer Behandlung an einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Unbekannt	Erhöhung der Patienten - Bestrahlungsdosis um 4%; keine signifikanten Expositionen des Personals	Überführung des Katheters in den Notfallkoffer; ordnungsgemäße Entsorgung
17.04.02	Sondenabriss an einer Füllstandsmesseinrichtung	Beschädigung des Schutzrohres durch Materialfehler	Keine	Sicherstellung; Anwendung anderer Messprinzipien
19.04.02	Fund eines Strahlers (Ra-226, 7 MBq) in einer Schrottlieferung bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.04.02	Steckenbleiben der Strahlerkette (Sr-90) im Bereich des Katheteranschlusses eines Betabestrahlungsgerätes vor Behandlungsbeginn in einer Klinik	Abknicken des Katheters	Keine	Überführung des Katheters in den Notfallbehälter; Änderung des Katheters durch Herstellerfirma
08.05.02	Fund eines ca. 1 cm x 2 cm großen Metallsplitters mit Radioaktivität bei einem Schrottverwerter (Ra-226 ca. 22 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.05.02	Fund von ca. 1,5 kg Metallschrott (Skalenteile) mit radioaktiv markierter (Ra-226 ca. 4 MBq) Leuchtfarbe bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
17.05.02	Fund eines Dosismessgerätes mit eingebautem Kalibrierstrahler (Ra-226, 18 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.05.02	Fortsetzung des Scan-Ablaufes eines CT trotz betätigter Scan-Unterbrechungstaste während der erneuten Lagerung eines unruhigen Patienten	Technische Blockade der Verknüpfbarkeit von Standardprogrammen	Geringe Exposition* des Patienten und des Personals	Beseitigung des Softwarefehlers
08.06.02	Verformung eines Strahlers (Co-60, 146 TBq) beim Strahlerwechsel in einer Sterilisationsanlage und folglich Störung beim Absenken in Ruheposition	Entfernung eines Leitbleches	Geringe Strahlenexposition* des Bergepersonals; keine Kontamination	Bergung des Strahlers mit Hilfe von Manipulatoren; technische und organisatorische Maßnahmen
14.06.02	Versehentliche Bestrahlung von ärztlichem Personal	Aufenthalt von Personal im Bestrahlungsraum	Geringe Exposition* des Personals	Installation eines Personenüberwachungssystems mit automatischer Unterbrechung der Patienten-Bestrahlung bei Anwesenheit von Personal
18.06.02	Störung bei der Strahlerrückführung nach Behandlung mit einer Betabestrahlungsanlage in einer Klinik	Engpässe am Katheter	Zusätzliche Dosis des Patienten vernachlässigbar	Verbesserungen des Katheters durch Hersteller
25.06.02	Fund von zwei Urannitrat/Uranacetat-Glasröhrchen (1 x leer, 1 x 5 - 10 g) auf einem Wertstoffhof	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.06.02	Steckenbleiben des Strahlers im Katheter bei Sachverständigen-Prüfung an einem Betabestrahlungsgerät in einer Klinik	Knickstelle im Katheter	Keine	Verbesserung des Katheters durch Knickschutz von Herstellerfirma
27.06.02	Fund von Strahlern (8 x Cs-137 mit je bis zu 3700 kBq, 1 x Ba 37 kBq) und von 5 kontaminierten Strahlenschutzbehältern bei Durchsuchung von zwei Firmensitzen	Ungenehmigter Umgang mit radioaktiven Stoffen	Keine	Ermittlungsverfahren
Juli 2002	Verlust von 3 Ionisationsrauchmeldern (2x Am-241 je 2,664 MBq, 1x Am-241 29,6 kBq) in einer Stahlfirma bei jährlicher Bestandsaufnahme festgestellt	Unterlassene Kontrolle bei Umbauarbeiten	Keine	
03.07.02	Verwechslung von 2 Patienten bei der Bestrahlung mit einem Beschleuniger	Unachtsamkeit	Unbekannt	Unbekannt

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.07.02	Störung beim Schließen des Quellschachtes an einer Gammabestrahlungsanlage nach Patientenbestrahlung in einer Klinik	In den Quellschacht gefallene Markierungsbuchstaben	Exposition des Personals durch Patientenberingung: < 0,1 mSv; Dosis des Mitarbeiters der Herstellerfirma: 86 µSv	Technische Veränderung eingeleitet, Information an alle Anwender dieses Gerätetyps
11.07.02	Fund von 15 Herzschrittmachern mit eingebautem Strahler (Pm-147 Gesamtaktivität 22,2 GBq) in einem Tresor in einer Universität	Unzulässige Lagerung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.07.02	Fund uranhaltiger Farben in einer Töpferei im Rahmen von Umbaumaßnahmen	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.07.02	Abriss einer Neutronenmesssonde (Am-241/Be-Strahler, 185 GBq) in einem Bohrloch	Technischer Defekt	Keine	Bergung der Neutronen-sonde
17.07.02	Störung bei der Strahlerrückführung nach Behandlung mit einer Betabestrahlungsanlage in einer Klinik	Zusätzlicher Draht im Katheter, Verengung des Lumens	Zusätzliche effektive Dosis des Personals <5 µSv; Erhöhung der Bestrahlungszeit des Patienten um 25% (effektive Dosis < 5 µSv)	Überführung des Katheters mit Strahler in den Notfallbehälter; keine Funktionsbeeinträchtigung der Anlage festgestellt
18.07.02	Fund von Luftfiltern mit Spaltprodukten des Reaktorunfalls in Tschernobyl in einem Spezialtank (Ce-144, Cs-134, Cs-137, Te-129, Sb-125, Ag-110m) im Erdreich einer Mülldeponie	Spezialtank 1986 nach damaligen umweltschutzrechtlichen Bestimmungen entsorgt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach derzeitigem Recht
22.07.02	Verlust von 20 Ionisationsrauchmeldern (IRM) Typ BR 716 bei Abbrucharbeiten	Unachtsamkeit	Gefährdungspotenzial gering	Suche nach IRM erfolglos
24.07.02	Störung beim Aus- und Einfahren des Strahlers (Ir-192, 19,4 GBq) einer Afterloadinganlage bei Eigenprüfung in einer Klinik	Mechanik defekt	Keine	Reparatur durch Herstellerfirma
25.07.02	Fund eines Flugkompasses mit radioaktivem Zifferblatt (Ra-226, ca. 200 kBq) in einem Aluminiumschrottballen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
August 2002	Exposition der haltenden Person während der Durchleuchtung eines sperrigen Gepäckstückes bei einer Gepäckkontrollstelle	Fehlerhaftes Verhalten der Kontrollperson	Keine; geringe Strahlenexposition* der haltenden Person	Entlassung des verantwortlichen Mitarbeiters, behördliche Maßnahmen
08.08.02	Abgabe eines Prüfstrahlers (Ba-133) im Bleicontainer bei einer Abfallsammelstelle durch einen pensionierten Service-Techniker	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung; Ordnungsgemäße Entsorgung
08.08.02	Prüfmolch mit einem Ir-192 Strahler (666 GBq) geriet bei Durchstrahlungsarbeiten in einer Gaspipeline außer Kontrolle	Bedienungsfehler oder elektrischer/ elektronischer Fehler in der Steuerung des Molches	Keine	Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen eingeführt
09.08.02	Unkontrollierte Freisetzung radioaktiver Gase (Kr-85, ca.1 TBq) bei einer Firma	Defektes Ventil	Exposition der Mitarbeiter: < 0,1 mSv	Einstellung der Produktion; Installation eines zweiten Ventils, Einhausung der Füllgasmischanlage, Einbau einer Messeinrichtung zur Überwachung möglicher Freisetzungen gefordert
12.08.02	Schließung des Strahlenschutztores und Beginn der Bestrahlung eingeschaltet; MTRA befand sich in unmittelbarer Nähe des Strahlenschutztors - abgeschirmt durch die Betonzunge	Elektronische Betriebsstörung	Keine	Technische Umrüstung des Bedientableaus; Uptake der Betriebssoftware des Beschleunigers durchgeführt
13.08.02	Störung der Absenkung des Quellenkorbes in Ruheposition an einer technischen Gammabestrahlungsanlage	Fehlerhafte Weiterleitung der Störmeldung des Transportsystems durch Leitreechnerabsturz	Keine; manuelle Absenkung des Quellenkorbes	Aufhebung des manuellen Anlagebetriebes; Installation einer separaten Schaltuhr
04.09.02	Verletzung und Kontamination eines Mitarbeiters im Kontrollbereich eines Kernkraftwerks, Verlust der Atemmaske	Unbekannt	Personendosis 0,7 mSv, Hautdosis 4,6 mSv, Dosis durch Inhalation 0,05 mSv	Ärztliche Behandlung

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.09.02	Schwelbrand im Schredder einer Anlage zur Konditionierung schwachradioaktiver Abfälle (H-3; C-14; Ra-226)	Unbekannt	Keine; geringfügige Kontamination im Bereich des Schredders (17 Bq/cm <sup>2</sup> ), keine Freisetzung mit der Abluft	Schwelbrand erkannt und gelöscht
16.09.02	Zeitweiliger Verlust eines Typ A-Versandstückes UN 2915, Inhalt Th-201, 1,17 GBq, während des Transportes zum Empfänger	Nicht ordnungsgemäß verschlossene Laderaumtür des Transportfahrzeuges und ungenügende Ladungssicherung	Keine, Verpackung blieb unversehrt	Bußgeldverfahren gegen Fahrer
19.09.02	Aufenthalt von 3 Personen im Maschinenraum bei Wartungsarbeiten an einem Linearbeschleuniger in einer Klinik	Unterlassene Kontrolle des Maschinenraums, unzureichende Zutrittsbeschränkungen	Strahlenexposition der Mitarbeiter < 0,1 mSv	Zusätzliche Unterweisungen; Strahlenschutzvereinbarung mit Wartungsfirma
20.09.02	Störung bei der Strahlerrückführung (Se-75) nach Durchstrahlungsprüfungen auf einem Firmengelände	Unbekannt	Keine	Rücktransport des Strahlers in das Gerät durch Spezialfirma
25.09.02	Freisetzung von kontaminiertem Regenwasser in das Regenwassersystem eines Kernkraftwerkes bei der Reinigung eines Filterkonzentratbehälters	Menschliche Fehlhandlung	Gefährdungspotential gering	Festlegung umfangreicher administrativer Maßnahmen
11.10.02	Fund eines Kupfertellers mit 4 Segmenten als Teil eines Blitzableiters (Ra-226, 20 MBq) bei Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.10.02	Unsachgemäße Verbringung von 55 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 Gesamtaktivität: 1,68 MBq) auf verschiedenen Depo-nien bei Umbauarbeiten durch eine Abbruchfirma	Unsachgemäße Entsorgung	Keine	Einleitung aufsichtsrechtlicher Verfahren gegen Abbruchfirma
21.10.02	Fund eines Ionisationsrauchmelders	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und Entsorgung

noch Tabelle III.5

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
25.10.02	Abgabe von kontaminiertem Abwasser in das öffentliche Abwassernetz von einer Radiojodtherapieeinrichtung (13 m <sup>3</sup> , 962 kBq Gesamtaktivität)	Kapazitätsverringern durch Reparaturarbeiten	Keine, da zulässige Aktivitätskonzentration im Jahresdurchschnitt nicht überschritten	Auswertung im technischen Bereich der Klinik
12.11.02	Steckenbleiben eines Strahlerkettengliedes (Co-60, 629 GBq Gesamtaktivität) im Ausfahrtschlauch einer Gammadiagnostik-Anlage auf einem Firmengelände	Quetschung des Ausfahrtschlauchs, Abtrennen des Strahlerkettengliedes	Exposition des Bergepersonals unterhalb der Grenzwerte	Bergung des Strahlers durch Hersteller
16.11.02	Fund von Gegenständen mit Strahlenzeichen in einem 100-l-Fass auf einem Firmengelände	Unbekannt		Sicherstellung und Analyse der gefundenen Stoffe
22.11.02	Fund eines umschlossenen radioaktiven Strahlers (Cs-137, 2,5 µS/h an der Oberfläche) bei einer Sicherheitsbegehung	Strahler wurde bei radiometrischen Messungen vergessen	Keine	Ordnungsgemäße Einlagerung; Gespräch mit Verantwortlichem
26.11.02	Fund eines Metallstückes mit Radioaktivität (Cs-137, ca. 300 MBq) bei einem Schrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.12.02	Fund von radioaktiv kontaminiertem Schrott (max. 5 µSv/h) in Form von Leuchtmarkierungen bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherung in separatem Container; Ordnungsgemäße Entsorgung vorgesehen
04.12.02	Wiederholte Feststellung von Undichtheit an Kr-85-Strahlern beim Auspacken aus Transportbehältern bei einer Firma	Mechanische Beschädigung durch unbekannte Ursache	Keine; ordnungsgemäßes Verhalten der Mitarbeiter	Einleitung qualitätssichernder Maßnahmen durch den Hersteller
05.12.02	Fund einer radioaktiven Quelle (Sr-90) auf einem Waggon bei einer Schrottanlieferung; Dosisleistung an der Fundquelle max. 80 µSv/h, Oberflächenkontamination an der Fundquelle max. 520 Bq/cm <sup>2</sup>	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

\* Geringfügige Exposition bedeutet: klein im Verhältnis zu geltenden Grenzwerten

#### IV. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2002 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Radiocäsiums verursacht, andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch 67,5% der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3% ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv). Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,3 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran

und Thorium und deren Folgeprodukte) vernachlässigbar klein.

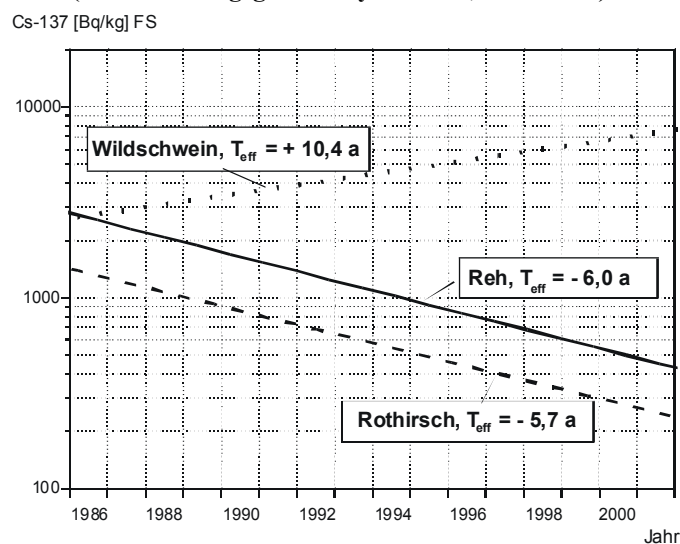
In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq und darüber pro Kilogramm Frischmasse zu verzeichnen.

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten häufig den Grenzwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens 57 Wildschweinproben aus dem Bayerischen Wald analysiert (Abbildung IV.1). Das Untersuchungsgebiet zählt zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands. Die Messungen ergaben spezifische Aktivitäten zwischen 430 Bq/kg und 20000 Bq/kg für Cäsium-137 in Muskelfleisch. Der Mittelwert lag bei 6400 Bq/kg. Cäsium-137 wird von Schwarzwild über das Futter aufgenommen. Eine besondere Rolle spielen dabei Hirschtrüffel, die sehr viel höher belastet sind als Speisepilze, und die von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen nur sehr geringe Kontaminationen.

Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv. Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung sichergestellt.

Abbildung IV.1

#### Regressionsgeraden zu den Cs-137-Messwerten von Rehen, Rothirschen und Wildschweinen (Untersuchungsgebiet Bayer. Wald, 1986-2000)





## Berichtsteil Nichtionisierende Strahlung

### Elektromagnetische Felder

Die biologischen Wirkungen der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit werden seit etwa 50 Jahren intensiv untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung, belegt in über 20.000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bilden die Grundlagen der bestehenden Grenzwerte. Neben den wissenschaftlich gut dokumentierten Gefahren *oberhalb* der Grenzwerte existieren auch einzelne Hinweise zu Wirkungen bei niedrigen Intensitäten (*unterhalb* der Grenzwerte), deren Mechanismen, deren gesundheitliche Relevanz und in vielen Fällen auch deren wissenschaftliche Validität trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte nicht geklärt sind. Das Bundesamt für Strahlenschutz verfolgt und bewertet nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen internationalen und nationalen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Journalen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die sorgfältige Versuchsplanung, die wissenschaftlich einwandfreie Versuchsdurchführung und eine nachvollziehbare Auswertung und Darstellung der gesamten Ergebnisse gelegt. Darüber hinaus ist zu bewerten, inwieweit die Ergebnisse von gesundheitlicher Relevanz für den Menschen sind. Die Gesamtheit der Forschungsergebnisse liefern die Grundlage für die Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Die bislang sowohl national als auch international durchgeführten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks auch durch Strahlenschutzgremien haben gezeigt, dass eine gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung heute wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden kann. Gleichzeitig wurden aber auch Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde deutlich. Um diese Wissenslücken zu schließen, unternimmt das BfS zum einen eigene Forschung, zum anderen initiiert und koordiniert es nationale Forschungsvorhaben.

### 1. Forschung

#### Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Im Jahr 2001 wurde eine im Auftrag des BMU vergebene epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von  $> 0,4 \mu\text{T}$  bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte (siehe Vorjahresbericht). Um einen Nachweis für ein mögliches Ursachen-Wirkungsprinzip zu führen, wurde 2002 durch das BfS im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFO-Plan) ein Forschungsprojekt mit dem Thema „Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR-Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder“ vergeben. Ergebnisse liegen bislang nicht vor.

#### Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Um Wissenslücken im Bereich Mobilfunk zu schließen, fand am 21. und 22. Juni 2001 im BfS in Salzgitter ein Fachgespräch unter breiter Beteiligung von Wissenschaftler/innen, Behördenvertreter/innen und Vertreter/innen verschiedener Organisationen statt. Ziel war es, die wichtigsten Forschungsschwerpunkte zur Thematik „Wirkung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ zu identifizieren und zu diskutieren. Das Protokoll dieses Fachgesprächs ist als BfS-Schrift 25/2002 ([www.bfs.de/elektro/forsch\\_mobil/programm.html](http://www.bfs.de/elektro/forsch_mobil/programm.html)) veröffentlicht worden.

Auf der Basis der Ergebnisse dieses Fachgesprächs wurde ein Forschungsprogramm ausgearbeitet, das im Rahmen des jährlich fortgeschriebenen Umweltforschungsplans vom Bundesumweltministerium in den Jahren 2002 bis 2005 mit 8,5 Mio. € gefördert wird (UFO-Plan; s.: [www.bmu.de/files/ufoplan2003.pdf](http://www.bmu.de/files/ufoplan2003.pdf)). Im Rahmen einer Selbstverpflichtung der Betreiber der Mobilfunknetze in Deutschland wurde eine paritätische finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprogramms durch die Netzbetreiber zugesagt. Das Forschungsprogramm wird im BfS betreut und hat folgende Schwerpunkte:

- Wirkungsmechanismen der hochfrequenten Felder
- Auswirkungen bei Tier und Mensch
- Epidemiologische Untersuchungen
- Erfassung der Exposition
- „Elektrosensibilität“
- Risikokommunikation

Zukünftige technische Anwendungen wie UMTS werden in den Vorhaben besonders berücksichtigt. In [Tabelle 1](#) sind die im Berichtsjahr geplanten und 2002 vergebenen oder ausgeschriebenen Vorhaben zusammengestellt.

Ergänzend zu den bereits festgelegten und in der Umsetzung befindlichen *in-vivo*-Untersuchungen sind weitere Themenkomplexe geplant. Sie sollen sich schwerpunktmäßig mit der Kanzerogenese (Krebsentstehung), Einflüssen auf die Blut-Hirn-Schranke in Verbindung mit UMTS, biologischen Effekten bei Tieren und Pflanzen, und mit neuen Technologien der Datenübertragung befassen. Zudem sind weitere Fachtagungen zur Diskussion der laufenden Projekte und zur Modifikation des Gesamtprogramms geplant.

### 2. Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“

Das in [Tabelle 1](#) aufgeführte Projekt „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ wurde vom BfS erstmalig im Jahr 2001 initiiert. Dazu wurde eine repräsentative Umfrage in Auftrag gegeben. Die abschließende Auswertung im Jahr 2002 ergab, dass mehr Personen wegen der elektromagnetischen Felder, die von Handys ausgehen, besorgt sind (knapp ein Drittel der Bevölkerung), als in Bezug auf Sendeanlagen (20%). In dieser Untersu-

Tabelle 1

**Forschungsvorhaben zum Thema hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk),  
die 2002 vergeben oder ausgeschrieben wurden**

	Thema
<b>Biologische Wirkungen</b>	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Demodulation/ Kommunikation)
	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Funktionen)
	Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie (Pinealdrüse)
	Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
	<i>in vivo</i> - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation (Langzeituntersuchungen)
	<i>in vivo</i> - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation (Blut-Hirn-Schranke UMTS)
<b>Dosimetrie</b>	Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren
	Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren, die es ermöglichen, die Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Funksendeanlagen zu ermitteln. Die Verfahren sollen zur Überprüfung von Grenzwerten geeignet sein
	Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter
	Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden
<b>Epidemiologie</b>	Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
	Epidemiologische Studie zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen Mobilfunk und Hirntumoren
	Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie: Die Kohortenstudie soll anhand hochexponierter (Berufs-) Gruppen zur Erfassung eines möglicherweise erhöhten Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durchgeführt werden
	Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
<b>Risikokommunikation</b>	Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks (jährliche Umfragen)
	Wissensbasierte Literaturliteraturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
	Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern unter besonderer Berücksichtigung des Mobilfunks

chung zeigte sich auch, dass die Wahrnehmung bzgl. Mobilfunk durch Faktoren wie Alter, Bildung, Einkommen, aber auch Region beeinflusst wird. So ist z. B. die Besorgnis in Bayern im Vergleich zu den anderen Bundesländern deutlich höher. Damit einhergehend ist auch das Interesse bzw. die Teilnahme an Bürgerinitiativen stärker ausgeprägt. In den neuen Bundesländern zeigte sich hingegen ein relativ geringes Interesse am Thema Mobilfunk. Weiterhin ergab diese Umfrage, dass knapp 6% der

Befragten sich durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks gesundheitlich beeinträchtigt fühlen, wobei als häufigste Beschwerden Kopfschmerzen, gefolgt von Schlafstörungen, Unruhe, Nervosität, Ohrengeräusche, und Konzentrationsschwäche genannt wurden. Allerdings waren rund 30% dieser Beeinträchtigten nicht in der Lage, die Art der Beeinträchtigungen konkret zu benennen.

Diese Umfrage wird jährlich wiederholt. Aus dem Vergleich der Umfrageergebnisse sollen Rückschlüsse darauf gezogen werden, ob Maßnahmen zur Verbesserung des Informationsflusses und zur Vermittlung des aktuellen Wissensstandes die Bevölkerung erreichen, und auf welche Weise diese Maßnahmen die Diskussion zum Thema „Mobilfunk“ beeinflussen.

### 3. Umweltzeichen „Blauer Engel“

Um besonders strahlungsarme Handys, die nach dem GSM-, GPRS- oder UMTS-Standard arbeiten, für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Juni 2002 festgelegt. Mit der Vergabe des Umweltzeichens ist der RAL e.V. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., gegründet 1925) beauftragt.

Der „Blaue Engel“ kann nur an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt. Dieser Wert orientiert sich am derzeit technisch Machbaren.

Gleichzeitig signalisiert dieses Zeichen eine umwelt- und recyclingfreundliche Produktion. Chemische Verbindungen, die sich umweltbelastend auswirken, sind für die Kunststoffe, Beschichtungen, Leiterplatten und elektronischen Bauelemente der Mobiltelefone weitgehend verboten. Das große Materialspektrum erfordert zudem, dass die Geräte trotz ihrer geringen Abmessungen geeigneten Recycling- und Entsorgungswegen zuzuführen sind, und keinesfalls in den Hausmüll gegeben werden dürfen. Die Rücknahme der Geräte soll kostenlos bei benannten Annahmestellen erfolgen. Es wurde jedoch noch für keinen einzigen Handytyp der „Blaue Engel“ vergeben, da sich die Hersteller bislang weigern, das Umweltzeichen anzunehmen.

### 4. Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997) sind für Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 3 GHz (300 000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. 10% der im Rahmen des Bescheinigungsverfahrens neu erfassten Standorte werden einer stichprobenartigen Nachprüfung unterzogen. Es wird somit nicht nur vor der Inbetriebnahme, sondern auch wäh-

rend des Betriebes die Gewährleistung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern überprüft.

Des Weiteren werden von der RegTP bundesweite Messaktionen durchgeführt. Dabei werden bis 30 MHz die magnetischen und oberhalb von 30 MHz die elektrischen Feldstärken messtechnisch aufgenommen. Diese Messreihen stehen nicht im direkten Zusammenhang mit dem von der RegTP durchgeführten Standortverfahren. Die Ergebnisse dieser Messungen werden zeitnah von der RegTP im Internet unter [www.regtp.de/tech\\_reg\\_telestart/in\\_06-04-02-00-00\\_m/index.html](http://www.regtp.de/tech_reg_telestart/in_06-04-02-00-00_m/index.html) veröffentlicht.

## UV-Strahlung

### 1. Solarien

In den letzten Jahren ist eine zunehmende Nutzung künstlicher Strahlung zu kosmetischen Zwecken (z. B. Bräunung) zu beobachten. In Deutschland gibt es ca. 7500 Solarienbetriebe. Infolge der damit verbundenen Zunahme der UV-Exposition der Bevölkerung wird eine Zunahme der UV-bedingten Gesundheitsschäden erwartet.

Im Januar 2002 wurde daher vom BfS ein „Runder Tisch Solarien“ (RTS) gegründet mit Teilnehmern wissenschaftlicher und staatlicher Institutionen sowie Vertretern von Solarienbetrieben und Solarienherstellern. Der RTS hatte das Ziel, auf Basis der SSK-Empfehlung vom 8.6.2001 einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarienbetrieben festzulegen und eine freiwillige Zertifizierung für die Betriebe anzubieten, die diesen Mindeststandard erfüllen.

Im Mai 2003 konnte Einigkeit über einen Kriterienkatalog und das Verfahren für die Zertifizierung der Solarien erzielt werden. Das BfS ist Akkreditierungsstelle für die Institutionen, die Solarienbetriebe nach den Kriterien des RTS zertifizieren wollen. Die Zertifizierung gilt für 3 Jahre. Als Qualitätssicherungsmaßnahme kann das BfS während der Zeitdauer der Zertifizierung durch stichprobenartige Prüfungen die Einhaltung der Kriterien überwachen.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung von Sonnenstudios sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung
- Prüfungsvorschriften
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter

### 2. Solares UV-Monitoring in Deutschland

Seit 10 Jahren wird die bodennahe solare UV-Strahlung mittlerweile an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das Bundesamt für Strahlenschutz, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in München gesundheit-

lich bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de) veröffentlicht. Aktuelle Informationen werden in Form von Pressemitteilungen weitergegeben.

Eine wichtige Kenngröße für die aktuelle Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index. Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden als UVI-Werte veröffentlicht. In **Abbildung 1** wurden für das Jahr 2002 die maximalen und minimalen UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstation Zingst), die Mitte

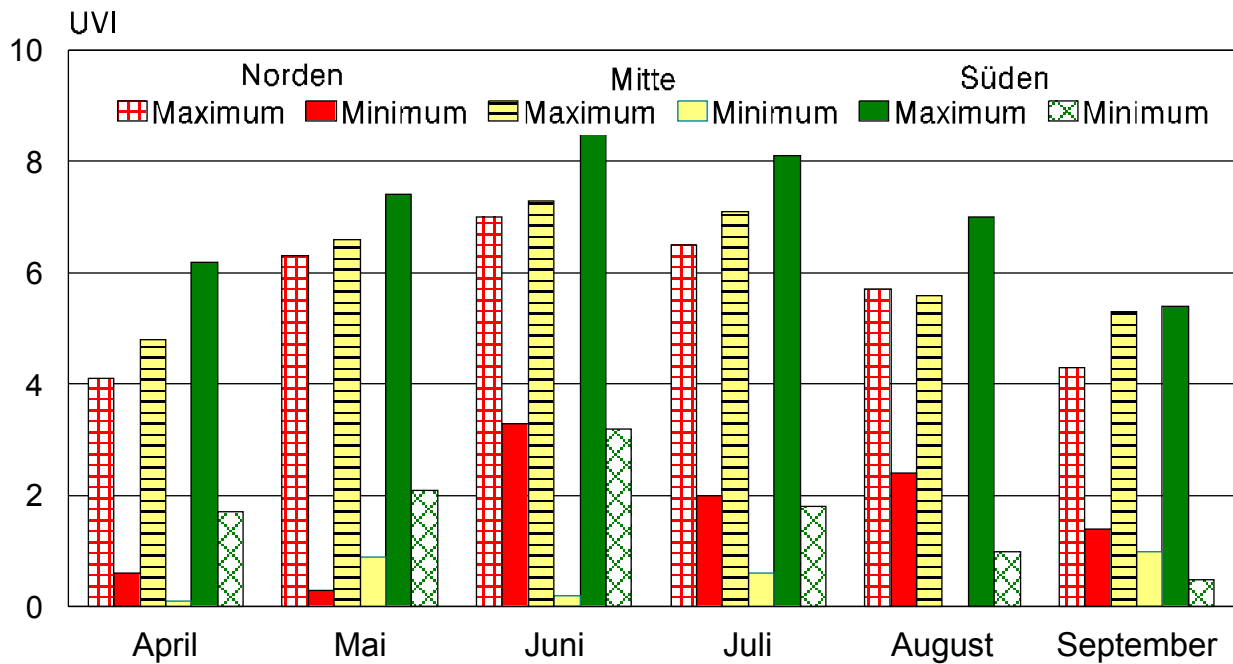
(Messstation Langen) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt sind. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in der Mitte Deutschlands UVI – Werte von 5 auftraten, d.h., dass Schutzmaßnahmen ab dieser Zeit empfehlenswert waren.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen, ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden.

Abbildung 1

**Maximale und minimale UVI-Werte der Monate im Sommerhalbjahr 2002 im Norden, Süden und in der Mitte Deutschlands**



## Anhang A:

### Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes<sup>1</sup>.

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z.B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm – bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atom unter Abgabe von Strahlung in ein anderes umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schädenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt „Strahlendosis und Strahlenwirkung“). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

<sup>1</sup> ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable“

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten – besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon – individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

### Die Strahlendosis und ihre Einheiten

Man charakterisiert die physikalischen und biologischen Auswirkungen am „Zielort Mensch“, an dem Strahlung absorbiert wird, durch verschiedene Dosisgrößen, u. a. die effektive Dosis, die in Millisievert (mSv) angegeben wird. Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition, d. h. die Strahlenbelastung des Menschen. Sie beruht auf der Energiedosis als Maß für die von einem Stoff aufgenommene Energie. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert die StrlSchV in ihrer Fassung vom 1. August 2001 außerdem als Messgrößen die Personendosis und die Ortsdosis.

Als Maß für die physikalische Strahlenwirkung kann die von einem Stoff aufgenommene Energie verwendet werden. Dafür ist die Energiedosis definiert worden. Die **Energiedosis** einer ionisierenden Strahlung gibt die pro Masse eines durchstrahlten Stoffes absorbierte Energie an.

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}}$$

Der Quotient Joule pro Kilogramm wird als Einheit für die Energiedosis verwendet. Der besondere Einheitenname für die Energiedosis ist das Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$$

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z.B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z.B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die **Organdosis**. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$  **Energiedosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

$w_R$  Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$  **Organdosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten StrlSchV wie folgt festgelegt:

Tabelle A-1

**Strahlungs-Wichtungsfaktoren  $w_R$  nach StrlSchV,  
Anl. VI, Teil C**

Strahlenart und Energiebereich	$w_R$
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das **Sievert (Sv)**. Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Da Strahlendosen im Sievertbereich selten auftreten, wird üblicherweise die Untereinheit **Millisievert** verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden unterschiedlich empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die **effektive Dosis** eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

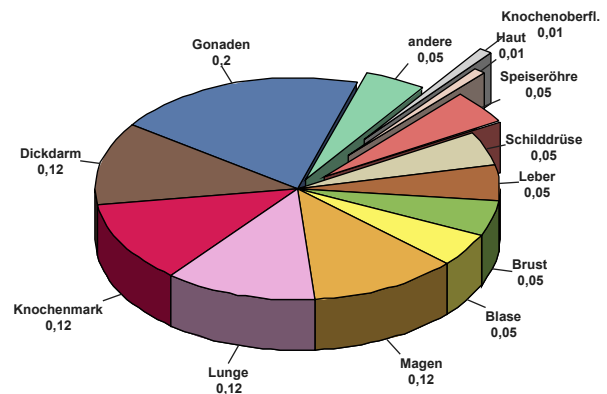
$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden **Abbildung** dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert 1.

Da dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müs-

Abbildung A-1



Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C

sen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

### Die Messung der Dosis

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als **Körperdosen** bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind **Schutzgrößen**. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den **Messgrößen** überwacht. Diese **Äquivalentdosen** sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g cm<sup>-3</sup>, Massenzusammensetzung 76,2% Sauerstoff, 11,1% Kohlenstoff, 10,1% Wasserstoff und 2,6% Stickstoff), der sogenannten **ICRU-Kugel** mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Die StrlSchV definiert als Messgrößen die **Personendosis** als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die **Tiefen-Personendosis**  $H_p(10)$  in einer Messtiefe von 10 mm und die **Oberflächen-Personendosis**  $H_p(0,07)$  in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z.B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z.B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter

zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das **Film-dosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Film-dosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Film-dosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlen-exponierter Personen verwendet.

Ohne Vorhandensein einer Person wird die Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  und die Richtungs-Äquivalentdosis  $H'(0,07, \Omega)$ . Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

### Äußere und innere Bestrahlung

Quelle: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart - New York, 1989, S. 25 ff.

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betaeilchen relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann für das Strahlenrisiko relevant, wenn sie mit der Nahrung, dem Trinkwasser oder durch Atmung dem Körper zugeführt werden und die Bestrahlung von innen erfolgt. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in ein-

zelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben zahlreichen, u. a. altersabhängigen biokinetischen Parametern gehen in die Dosisermittlung die physikalischen Eigenschaften der Strahlung und die physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide ein.

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

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen in einem kurzen Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Äquivalentdosis<sup>2</sup> und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen (s. Kennzeichnung der Strahlenqualität durch den linearen Energietransfer) hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts  $60 \mu\text{m}^2$  den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen - für Alphateilchen bei etwa 500 mGy - kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30% aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in

<sup>2</sup> Dieser Begriff wurde in der Novelle der StrlSchV 2001 als „Organdosis“ neu definiert

diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem LET liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelt Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Aerosole) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alpha-Teilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

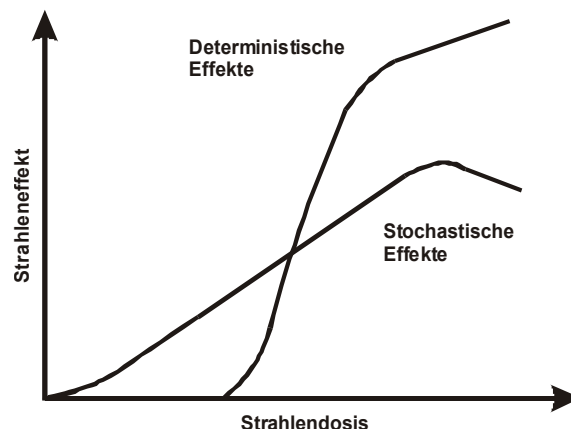
### Stochastische und deterministische Strahlenwirkung

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische<sup>3</sup> Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadentypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb. A-2). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abb. A-2). Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d.h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraus-sagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im

<sup>3</sup> deterministische

Abbildung A-2



Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; den Quotienten Risiko/Äquivalentdosis nennt man „Risikoeffizient“.

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

### Genetisch vererbare Defekte

Beim Menschen sind bisher keine genetischen Mutationen durch ionisierende Strahlen beobachtet worden, die zu einer quantitativen Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos führen können. Auch bei Untersuchungen von Nachkommen der Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki sind bisher derartige Effekte nicht statistisch signifikant nachgewiesen worden. Man hat in diesem Zusammenhang bei der Untersuchung von mehr als 70.000 Kindern, deren Väter oder Mütter bzw. beide Elternteile bei den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki exponiert worden sind, lediglich einen angedeuteten, statistisch nicht ausreichend gesicherten Trend zu erhöhten Raten an genetischen Mutationen festgestellt.

Die quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos beruht daher auf tierexperimentellen Untersuchungen, die vor allem an Mäusen durchgeführt worden sind. Bei diesen Untersuchungen werden lokale Bestrahlungen der Gonaden vorgenommen und nach Möglichkeit leicht diagnostizierbare Merkmale wie die Fellfarbe, Form der Ohren, Form des Schwanzes, die Bildung von Katarakten usw. analy-



siert. Diesen Veränderungen liegen dominante, aber auch rezessive Mutationen zugrunde. Es werden sehr häufig lineare Dosiswirkungsbeziehungen für diese Effekte ermittelt, so dass aus der Steigung derartiger Dosiswirkungsbeziehungen die Mutationsrate pro Gray bzw. Sievert errechnet werden kann.

Die Versuchsergebnisse an Mäusen sind in überwiegendermaßen nach Strahlendosen im Bereich von 1 Gy und höher gewonnen worden, im Allgemeinen hat eine Bestrahlung mit hoher Dosisleistung stattgefunden. Um diese Versuchsergebnisse für die Abschätzung des Strahlenrisikos beim Menschen verwenden zu können, sind zwei Annahmen notwendig:

1. Bei locker ionisierenden Strahlen und relativ kleinen Dosen und Dosisleistungen besteht zwischen Dosis und Zahl der induzierten Mutationen eine lineare Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellenwert. Diese Form der Dosiswirkungsbeziehung ist bereits bei den stochastischen Strahlenwirkungen besprochen worden.
2. Die Mutationshäufigkeit pro Locus in Keimzellen des Menschen und der Maus ist nach identischen Bestrahlungsbedingungen und Strahlendosen etwa gleich groß.

Auf Grund der vorhandenen Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus ionisierender Strahlung und der Entstehung der Mutationen in Keimzellen, die zu vererbaren Defekten führen, steht es in der wissenschaftlichen Diskussion heute weitgehend außer Zweifel, dass eine Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellendosis existiert und damit auch bei niedrigen Dosen und niedriger Dosisleistung mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit Mutationen auftreten können. Es ist gezeigt worden, dass bei einer chronischen Bestrahlung über 300 Tage mit Gammastrahlen und einer Dosisleistung von 0,01 Gy pro Tag, ebenso wie nach einer fraktionierten Bestrahlung von 0,1 Gy pro Tag über 60 Tage, Mutationen bei Mäusen induziert werden können.

### Induktion von Leukämie und Krebs

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an<sup>4</sup>

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

<sup>4</sup> ebenso kommen Personen mit einer signifikanten Strahlenbelastung durch die Tschernobyl-Katastrophe in Betracht

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer „spontanen“ malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden. Die Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z.B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopulation, dass nach Strahlendosen im Bereich von 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die unter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologischen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbevölkerung nicht zu einer statistisch signifikant erhöhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dieses nicht, dass geringere Strahlendosen als 0,5 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass letzteres sich aus den Schwankungen der „spontanen“ Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki ist das Leukämierisiko nach einer Strahlendosis von 4 Gy etwa um den Faktor 15 erhöht. Dagegen ist das Risiko für alle Krebsformen außer Leukämien bei der gleichen Strahlendosis nur etwa um den Faktor 2 angestiegen. Dieser Zuwachsfaktor wird als „relatives Risiko“ bezeichnet; die „sponta-

nen“ Raten an Leukämie und Krebs (Raten ohne Bestrahlung) entsprechen einem relativen Risiko von 1,0.

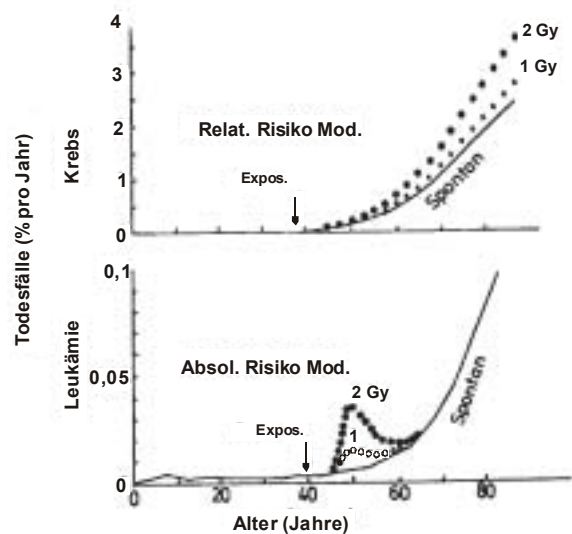
Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Auch bei der Induktion von Knochentumoren liegen Erfahrungen nach Exposition durch Alphastrahlen vor. In diesem Falle sind Untersuchungen nach Behandlung mit Radiumpräparaten durchgeführt worden. Das Radium wurde injiziert und hat sich vor allem im Knochengewebe abgelagert.

### Risikoabschätzung

Für die Risikoabschätzung wird außer bei Leukämie und Knochentumoren von einem sogenannten relativen Risikomodell ausgegangen. Für Leukämien und Knochentumoren dagegen wird das absolute Risikomodell zur Risikoabschätzung eingesetzt. Bei dem letzteren Risikomodell geht man davon aus, dass nach einer Latenzzeit die Rate an Erkrankungen über der „spontanen“ Rate liegt, nach einer weiteren Periode aber keine zusätzlichen strahlenbedingten Erkrankungen auftreten (Abb. A-3). Offensichtlich haben sich dann alle strahlenbedingten Erkrankungen manifestiert. Beim relativen Risikomodell liegt die Rate an malignen Erkrankungen in der bestrahlten Personengruppe ebenfalls nach einer Latenzzeit über der „spontanen“ Rate, aber diese Erhöhung bleibt bis zum Lebensende erhalten. Das „relative Risiko“, d. h. die relative Zunahme der strahlenbedingten Rate im Vergleich zur „spontanen“ Rate, wird dabei als über die Lebenszeit konstant angenommen (Abb. A-3). Das bedeutet, dass auch die strahlenbedingten Tumoren vorwiegend erst in einem Alter beobachtet werden, in dem die „spontanen“ Tumoren ohne Bestrahlung manifest werden. Die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos auf der Basis des relativen Risikomodells stellt eine maximale Risikoabschätzung dar.

Die vielfältigen epidemiologischen Untersuchungen haben ergeben, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung maligner Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. In niedrigeren Dosisbereichen, die für die berufliche Strahlenexposition (einige mSv/a bis einige 10 mSv/a) und vor allem für Expositionen der Bevölkerung etwa in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (einige 10  $\mu$ Sv/a) von Bedeutung sind, müssen daher die Strahlenrisiken durch rechnerische Extrapolation, ausgehend von diesen höheren Strahlendosen, ermittelt werden. Ferner sind die statistisch signifikanten epidemiologischen Daten der Leukämie- und Krebserhöhung nicht nur nach Exposition mit hohen

Abbildung A-3



*Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie. Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane“ Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell“ und dem „Absoluten Risikomodell“ an.*

Strahlendosen, sondern häufig auch nach Bestrahlung mit hoher Dosisleistung erhalten worden. Da die Exposition am Arbeitsplatz und in noch stärkerem Maße in der Umwelt bei niedriger Dosisleistung stattfindet, ergeben sich hier zusätzliche Schwierigkeiten bei der Extrapolation zur Ermittlung der Risikoeffizienten.

Für die Extrapolation wird angenommen, dass eine Schwellendosis nicht existiert und dass die Dosiswirkungsbeziehung für die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auch in diesem niedrigen Dosisbereich linear mit der Strahlendosis verläuft. Auf Grund unserer wissenschaftlichen Kenntnisse ist eine solche Annahme für den Strahlenschutz sinnvoll, der Beweis dafür steht aber noch aus. Um der niedrigen Dosisleistung im niedrigen Dosisbereich Rechnung zu tragen, werden für den Risikoeffizienten häufig Reduktionsfaktoren von 2-3 eingesetzt. Für die Induktion von Leukämie und Krebs hat sich in einer Reihe von Fällen ergeben, dass sowohl eine lineare als auch eine linear-quadratische Dosiswirkungsbeziehung angenommen werden kann. Allgemein wird heute davon ausgegangen, dass für die Induktion von Brustkrebs und Schilddrüsentumoren eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung die genaueste Beschreibung der Daten ergibt, während für andere maligne Erkrankungen eine linear-quadratische Dosis-Wirkungsbeziehung resultiert. Für die Zwecke des Strahlenschutzes wird jedoch häufig der Einfachheit halber, und um Unterschätzungen auszuschließen, eine lineare Dosiswirkungskurve zu Grunde gelegt

Unter Zugrundelegung dieser Annahmen ist eine Risikoabschätzung durch Extrapolation, ausgehend von den Daten nach hohen Strahlendosen, zu geringen Strahlendosen

hin möglich. Es ergeben sich dann Risikokoeffizienten, die im Bereich von 200 bis 1 000 Todesfällen durch Leukämie und Krebs nach Ganzkörperexposition einer Million Menschen mit 10 mSv (1 rem) liegen (Risikokoeffizient:  $2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  bis  $1 \cdot 10^{-1}$  pro Sv). Bei Berücksichtigung dieses Bereiches des Risikokoeffizienten ergibt eine Strahlendosis von 10 mSv eine Erhöhung der Leukämie- und Krebstodesrate, die im Bereich von einem bis einigen Promille der „spontanen“ Leukämie- und Krebstodesrate unserer Bevölkerung liegt. Die Exposition der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland liegt beim bestimmungsgemäßen Betrieb einschließlich von Auslegungsstörfällen im Bereich von einigen  $10 \mu\text{Sv}$ . Es müssen also Extrapolationen über mehrere Größenordnungen der Dosis (etwa um den Faktor  $10^4$ ) vorgenommen werden, um von dem Dosisbereich mit epidemiologisch ermittelten Daten in den Dosisbereich dieser Exposition zu kommen.

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

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

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

**Anhang B:****Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen****1. Statische Felder**

Der Begriff „Statische Felder“ umfasst elektrostatische Felder, die z.B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und statische Magnetfelder, wie z.B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichströmen. In Feldern oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind vor allem elektrostatische Aufladungen für Funkenentladungen verantwortlich und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits beschränkt auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände (z.B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind) und andererseits beschränkt auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z.B. Blutströmung). An der Aorta führt dieser Mechanismus z.B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z.B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z.B. Straßenbahnen), die zukünftigen Magnetschwebebahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten z.B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 µT) auf. Für den Menschen konnte ein derartiger Mechanismus bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch „nuclear magnetic resonance“ –

NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten. Eine Analyse der Daten zu biologischen Wirkungen dieser Felder erlaubt es nicht, Schwellenwerte für gesundheitsschädliche Effekte exakt anzugeben. Deswegen sind Sicherheitsfaktoren bei der Festlegung von Richt- und Grenzwerten, wie die SSK sie 1998 empfohlen hat, erforderlich.

**2. Niederfrequente Felder**

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 <sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz) entstehen.

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (s. [Tabelle B-1](#)).

Tabelle B-1

**Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)**

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (µT)
16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz	10	300
50 Hz	5	100

Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem etablierten Strom-Dichte-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 µT im menschlichen

Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m<sup>2</sup> entsteht. Bei diesem Wert, welcher der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht, gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für biologische Effekte. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m<sup>2</sup> bekannt.

In der Öffentlichkeit wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen. Vor allem der Zusammenhang zwischen der Exposition durch niederfrequente Magnetfelder und einem erhöhten Leukämierisiko für Kinder steht hier im Vordergrund. Eine Voraussetzung für die Entstehung von Krebs ist die Schädigung des Erbguts, der DNS. Substanzen, die solche Schäden hervorrufen, bezeichnet man als genotoxisch. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wirken niederfrequente Felder nicht genotoxisch. In zahlreichen Zell- und Tierstudien wurde untersucht, ob niederfrequente Magnetfelder einen indirekten Einfluss auf den Verlauf von Krebserkrankungen haben, indem sie Schädigungen der DNS begünstigen oder die Entwicklung der Krankheit beschleunigen. Die Bewertung der Studien ergibt, dass bislang kein solcher Einfluss nachgewiesen werden kann. Auf Grund der vorliegenden Befunde aus epidemiologischen Untersuchungen hat die WHO niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend eingestuft.

**3. Hochfrequente Felder**

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. [Tabelle B-2](#)) für gewerblich genutzte Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz, entspricht 300 000 MHz) festgelegt worden.

Tabelle B-2

**Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen**

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 – 400 MHz	27,5	0,073
400 MHz – 2 GHz	1,375 √f *	0,0037 √f *
2 – 300 GHz	61	0,16

\*f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken ausgenutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Sys-

tems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. Die vom Körper des Patienten absorbierte Energie kann nur im Mittel abgeschätzt werden, da auf Grund der komplexen Verhältnisse zwischen Körper und Gerät keine genauen Vorhersagen der Energieabsorption durch Berechnungen, Simulationen oder anhand von Phantomen möglich sind.

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als 1 °C konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperatureausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Damit sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

Während der thermische Effekt unumstritten ist, werden die sog. nicht-thermischen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z.B. Veränderungen in der Ionenpermeabilität der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Bislang kann diesen Effekten jedoch weder ein Wirkungsmechanismus noch eine gesundheitliche Relevanz zugeordnet werden. Sie machen aber deutlich, dass wissenschaftlich nicht geklärte Wirkungsmechanismen dieser Felder existieren können. Das heißt, dass es Risiken geben könnte, die bisher noch nicht nachgewiesen sind. Die Notwendigkeit zur Vorsorge ist also eine Folge des sich ständig fortentwickelnden Erkenntnisstandes.

Die elektromagnetischen Felder, die beim Telefonieren mit Handys auftreten, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, denen man z. B. durch benachbarte Mobilfunkbasisstationen ausgesetzt ist. Daher hält es das BfS für besonders wichtig, die Felder, denen die Nutzer von Handys ausgesetzt sind, so gering wie möglich zu halten und empfiehlt:

- In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden

- kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.
- Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden.
- Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z.B. aus Autos ohne Außenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation.
- Verwendung von Handys, bei denen der Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate).
- Die Nutzung von Head-Sets: Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab. Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert.

Ganz besonders gelten diese Empfehlungen für Kinder, da diese sich noch in der Entwicklung befinden und deshalb gesundheitlich empfindlicher reagieren könnten. Mit den oben aufgeführten Empfehlungen lässt sich die persönliche Strahlenbelastung einfach und effizient minimieren, ohne auf die Vorteile eines Handys verzichten zu müssen.

**4. Optische Strahlung**

Zum Bereich der optischen Strahlung gehört die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320 – 400 nm), UV-B- (280 – 320 nm) und UV-C- (200 – 280 nm) Anteil auf. Wirkungen von solarer UV-Strahlung auf Mensch und Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des Gesamt ozongehaltes würde diesen Einfluss weiter erhöhen. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und strahlenhygienisch sowie ökologisch bewertet werden muss.

Auf den Menschen bezogen, ist neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D<sub>3</sub>-Synthese allerdings die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebserkrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Um das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten, ist ein vernünftiger Umgang mit der Sonne geboten. Dazu ist es notwendig, der Bevölkerung eine Einschätzung ihrer aktuellen und zukünftigen UV-Belastung zu ermöglichen (s. UV-Index, Seite 56).

Darüber hinaus ist bei einer Erhöhung der erwarteten UV-Strahlung mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich im Wasser lebende Organismen durch ihre Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützen kann, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Fragen nach den möglichen pflanzlichen

Reaktionen auf UV-Strahlung, insbesondere bei Nutzpflanzen.

**Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit**

Akute Wirkungen des kurzwelligen solaren UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen der Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und Hautkrebs.

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemale Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m<sup>2</sup> für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle Erythemschwelldosis.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt die folgende [Tabelle](#). Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

Tabelle B-3  
**Medikamente und chemische Stoffe, die Lichtempfindlichkeit auslösen können**

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel / Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (harntreibende Mittel)
Cyclamate	Süßstoffe
Sulfonamide	Antibiotika / Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylisatin	Abführmittel

Fototoxische Reaktionen können klinisch gewöhnlich als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter entsprechenden Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

### **Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV-Strahlung**

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. In Deutschland liegt nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention die Neuerkrankungsrate für Hautkrebs schätzungsweise bei knapp 120.000 pro Jahr im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 330.000 pro Jahr. In den letzten Jahrzehnten hat diese Rate deutlich zugenommen. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird das geänderte Freizeitverhalten mit zunehmendem Aufenthalt im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II.

Über 90% der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzinomen konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarme auf. Als weitere Risikofaktoren kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braun gefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20%. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

### **Solare UV-Strahlung und Ozon**

Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre verändern sich die Intensität und spektrale Verteilung der Sonnen-

strahlung durch Absorption, Reflexion und Streuung. Die UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch das Ozon in der Stratosphäre und Troposphäre absorbiert. Diese Filterfunktion ist für die UV-Strahlung stark wellenlängenabhängig und setzt bei ca. 330 nm ein. Mit kleiner werdender Wellenlänge fällt die UV-Bestrahlungsstärke sehr stark ab (sog. UV-B-Kante). Unterhalb von ca. 290 nm ist die spektrale UV-Bestrahlungsstärke selbst im Sommer in unseren Breitengraden nicht mehr nachweisbar.

Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum Einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum Anderen verschiebt sich die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, d. h., sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht zusätzlich den Erdboden. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, haben auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial.

Der Gesamtzongehalt in unseren Breitengraden unterliegt jahreszeitlich natürlichen Schwankungen mit einem Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Herbst. In den letzten Jahren wurden jedoch zunehmend extrem niedrige Werte, so genannte „Mini-Ozonlöcher“, gerade im Spätwinter/Frühjahr registriert. Dies ist vornehmlich auf den Zustrom ozonarmer Luft aus subtropischen Breiten zurückzuführen. Durch die Auflösung des Polarwirbels im Frühjahr kann ebenfalls auf Grund des FCKW-bedingten Ozonabbaus polare Luft mit geringem Ozongehalt in die gemäßigten Breiten transportiert werden.

### **UV-Monitoring**

Im Jahr 1993 haben das Bundesamt für Strahlenschutz und das Umweltbundesamt den Betrieb an den 4 Stationen des UV-Messnetzes in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde das Messnetz zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst und weiteren assoziierten Institutionen zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit der UBA-Station in Westerland/Sylt, das Meteorologische Observatorium Potsdam des DWD, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach und das Niedersächsische Landesamt für Ökologie mit der Messstation in Hannover und auf der Insel Nordemey.

Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV-Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm

gemessen, d.h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z.B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV bis Infrarot) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)). Von April bis September werden darüber hinaus für das nördliche, mittlere und südliche Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht. Komplette Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner gespeichert.

Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht. Aktuelle Informationen werden in Form von Pressemitteilungen weitergegeben. Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index.

**UV-Index**

Um das gesundheitliche Risiko solarer UV-Strahlung zu bestimmen, sind die UV-Werte der bodennahen UV-Strahlung von hoher Bedeutung. Nur so ist ein bestmöglicher Schutz für die Bevölkerung möglich. Dazu wurde in den 90er Jahren in verschiedenen Ländern ein UV-Index (UVI) eingeführt, der zwischenzeitlich international harmonisiert worden ist.

Der globale solare UV-Index ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. An unbewölkten Tagen ist dieser Wert zur Mittagszeit am höchsten. In Deutschland ist der UVI im Winter am kleinsten (<1) und erreicht im Sommer im süddeutschen Raum Werte bis 8.

Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab; er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamt ozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet vier Hauttypen, die in [Tabelle B-4](#) aufgeführt sind.

Menschen mit empfindlichem Hauttyp I erreichen bei hohem UVI die Sonnenbrandschwelle etwa in der halben Zeit wie Personen mit Hauttyp II. Bei Hauttyp III und IV kann von rund der doppelten Zeit bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle ausgegangen werden, wenn die Haut nicht vorgebräunt ist.

Tabelle B-4

**Die vier Hauttypen**

Hauttyp I	hat auffallend helle Haut mit Sommersprossen, blaue Augen und rötliche Haare. Im Hochsommer bekommt er während der Mittagszeit bereits nach 5 bis 10 Minuten einen Sonnenbrand; braun wird er niemals.
Hauttyp II	hat blonde Haare, graue, blaue oder grüne Augen. Zwar rötet sich seine Haut nach 10 bis 20 Minuten, wenn sie Sonne nicht gewöhnt ist, mit der Zeit wird er aber mäßig braun.
Hauttyp III	hat dunkelblonde Haare, graue oder braune Augen. Er kann sich ungebräunt 20 bis 30 Minuten in der Sonne aufhalten, bevor ein Sonnenbrand einsetzt. Nach wiederholten Bestrahlungen wird er fortschreitend braun.
Hauttyp IV	bleibt mit seiner hellbraunen Haut weitgehend vom Sonnenbrand verschont. Er hat meist dunkle Haare und braune Augen. Wenn seine Haut nicht sonnengewöhnt ist, rötet sie sich frühestens nach 40 Minuten. Wiederholte Bestrahlungen lassen die Haut schnell und deutlich braun werden; sie führen auch zu Hautverdickungen, sog. Lichtschwielen.

Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen. In [Tabelle B-5](#) sind die UVI-Schutzschemata aufgeführt, die seit kurzem von der WHO, dem WMO und der ICNIRP veröffentlicht worden sind. Die Schutzhinweise und Zeiten bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

**Solarien**

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z.B. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten, wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke  $E_{er}$  auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei der Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Dabei spielt der Hauttyp eine entscheidende Rolle. Die vom RTS auf Grund der SSK-Empfehlung erarbeiteten Kriterien sollen Grundlage eines künftigen Verfahrens für die freiwillige Zertifizierung von Solarien durch das BfS sein. Ziel ist ein Mindestschutz vor zu hoher UV-Belastung und damit zu hohem gesundheitlichen Risiko, wenn ausschließlich



nach diesen Kriterien zertifizierte Solarienbetriebe aufgesucht werden.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung und Prüfungsvorschriften, sowie einheitliche Be-

triebsabläufe bzgl. der Hygiene und Arbeitsschutzmaßnahmen. Weiterhin werden die fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter und der Umfang der Kundeninformation und -beratung durch Schulungsmaßnahmen geregelt.

Tabelle B-5

**Empfohlenes UVI-Schutzschema der WHO/WMO/ICNIRP mit Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)**

UVI	Klassifikation	Zeit zum Erreichen eines Erythems	Schutz	Schutzmaßnahmen
>10	extrem		Extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
10	sehr hoch		Extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
9	sehr hoch	< 20 min.	Extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
8	sehr hoch	< 20 min.	Extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
7	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
6	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
5	moderat	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
4	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
3	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
0-2	niedrig	ab 30 min	nicht erforderlich	

Nachfolgend sind die wichtigsten Messgrößen für nichtionisierende Strahlung aufgeführt:

Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	<b>E</b>	<b>V/m</b> (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	<b>H</b>	<b>A/m</b> (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	<b>B</b>	<b>Vs/m<sup>2</sup></b> (Voltsekunde pro Quadratmeter); <b>T</b> (Tesla) 1 Vs/m <sup>2</sup> = 1 T gebräuchlich: 1 µT veraltet: G (Gauss)	

$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$   
 für Luft und organische Materialien:  
 $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$   
 $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	<b>E</b>	<b>V/m</b> (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ Dabei ist $Z_0$ der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = $376,7 V/A$
Magnetische Feldstärke	<b>H</b>	<b>A/m</b> (Ampere pro Meter)	
Leistungsflussdichte	<b>S</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b> (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	<b>SAR</b>	<b>W/kg</b> (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

**Anhang C:****Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen**

<b>Aerosol</b>	Feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft (Durchmesser: $10^{-3}$ bis $10^{-8}$ cm). Der überwiegende Teil der natürlichen und künstlichen Radionuklide der Luft ist an Aerosole gebunden.
<b>Aktivität (Radioaktivität)</b>	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Zerfälle eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i.A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
<b>AKR-Mäuse</b>	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen
<b>Alphastrahler</b>	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
<b>Anthropogen</b>	Durch den Menschen beeinflusst, verursacht
<b>Äquivalentdosis</b>	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. $1 \mu\text{Sv} = \text{Mikrosievert}$ ist der millionste Teil des Sievert. $1 \text{mSv} = \text{Millisievert}$ ist der tausendste Teil des Sievert.
<b>AVR</b>	Atomversuchsreaktor (Jülich)
<b>Becquerel</b>	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. $1 \text{Becquerel (Bq)} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{Curie}$
<b>Betastrahlung</b>	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betaspektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie)
<b>Betasubmersion</b>	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>Brachytherapie</b>	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen
<b>Computertomographie (CT)</b>	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
<b>Dekontamination</b>	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
<b>Deterministisch</b>	Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z.B. Hautrötung, Augenlinsentrübung).
<b>Diuretika</b>	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
<b>Dosis</b>	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
<b>Dosisfaktor</b>	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
<b>DNS</b>	Desoxiribonukleinäure - Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst

---

<b>Effektive Dosis</b>	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor
<b>Elektrische Feldstärke</b>	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
<b>Elektrische Ladung</b>	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist das Coulomb (C)
<b>Elektrisches Feld</b>	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
<b>Elektrostatisches Feld</b>	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
<b>Energiedosis</b>	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)
<b>Fall-out</b>	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Aerosolen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
<b>Frequenz</b>	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)
<b>Gammastrahlung</b>	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann. Sie ist von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen
<b>Gammasubmersion</b>	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
<b>Globalstrahlung</b>	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
<b>Gray</b>	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
<b>HF</b>	Hochfrequenz, hochfrequente
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
<b>Induktion</b>	Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird
<b>Influenz</b>	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsverteilung stattfindet, so dass an der Oberfläche dieses Körpers lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
<b>Ingestion</b>	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
<b>Inhalation</b>	Allgemein: Einatmung Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
<b>Inkorporation</b>	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
<b>Interventionelle Radiologie</b>	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden

---

<b>Intravitalmikroskopisch</b>	Mikroskopische Aufnahmen im lebenden Organismus
<b>Ionisierende Strahlung</b>	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung)
<b>Isotop</b>	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleiche Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
<b>Kollektivdosis</b>	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert
<b>Kontamination</b>	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen a) Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratcentimeter. b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann
<b>Kosmische Strahlung</b>	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
<b>Magnetfeld</b>	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
<b>Magnetische Feldstärke</b>	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
<b>Magnetische Induktion</b>	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist das Tesla (T). $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$ (Voltsekunde pro Quadratmeter)
<b>MED</b>	Minimale erythemale Dosis
<b>Medianwert</b>	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
<b>Nichtionisierende Strahlung</b>	Elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können
<b>NIR</b>	Englisch „non ionizing radiation“ - Nichtionisierende Strahlung
<b>Nuklearmedizin</b>	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
<b>Nuklid</b>	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
<b>Organdosis</b>	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition
<b>Ortsdosis</b>	Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV angegebenen Messgrößen
<b>Ortsdosisleistung</b>	Ortsdosis pro Zeitintervall
<b>Perzentil</b>	Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z. B. 95. Perzentil ist der Wert, der von nur 5% der Stichprobe überschritten wird)

---

<b>Pyranometer</b>	Meßgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
<b>Radioaktive Stoffe</b>	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
<b>Radioaktivität</b>	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
<b>Radiojod</b>	Radioaktive Jodisotope
<b>Radionuklide</b>	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
<b>RTS</b>	Runder Tisch Solarien
<b>Sendeleistung</b>	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
<b>SI-Einheiten</b>	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
<b>Sievert</b>	SI-Einheit der Organdosis, der effektiven Dosis sowie der Äquivalentdosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
<b>Spezifische Absorptionsrate (SAR)</b>	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
<b>Stochastisch</b>	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere
<b>Strahlenbelastung</b>	Siehe Strahlenexposition
<b>Strahlenexposition</b>	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ionisierender Strahlung ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers.
<b>Teletherapie</b>	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Patienten von außen
<b>Terrestrische Strahlung</b>	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
<b>Tritium</b>	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UV</b>	Ultraviolette Strahlung (100 - 400 nm)
<b>UVI</b>	UV-Index, Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung
<b>UV-Index</b>	Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung. Der Bevölkerung wird dadurch die Möglichkeit gegeben, sich über die Gefahren der solaren UV-Strahlung aktuell beim Bundesamt für Strahlenschutz zu informieren
<b>WHO</b>	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization