

## Unterrichtung durch die Bundesregierung

### Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2003

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>Auftrag und Zusammenfassung</b>	
1. Auftrag .....	4
2. Zusammenfassung .....	4
2.1 Ionisierende Strahlung .....	4
2.2 Nichtionisierende Strahlung .....	6
<b>Berichtsteil Ionisierende Strahlung</b>	
<b>I. Natürliche Strahlenexposition</b> .....	6
<b>II. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition</b> .....	7
1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten .....	7
2. Radon in Wohngebäuden .....	9
3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus .....	9
3.1 Umgebungüberwachung im Zusammenhang mit der Sanierungstätigkeit der Wismut GmbH .....	9
3.2 Ermittlung der aus bergbaulicher Tätigkeit stammenden Umweltradioaktivität .....	11
4. Berufliche Strahlenexpositionen durch natürliche Strahlenquellen .....	12
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 .....	22
2.2 Nuklearmedizinische Diagnostik .....	26
2.3 Therapie mit ionisierender Strahlung .....	27
2.4 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen .....	27

2.5	Bewertung der medizinischen Strahlenexposition .....	27
2.6	Neues Strahlenschutzrecht .....	28
3.	Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt .....	28
3.1	Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen .....	28
3.2	Störstrahler .....	28
3.3	Neues Strahlenschutzrecht .....	28
4.	Berufliche Tätigkeit .....	28
4.1	Personendosisüberwachung .....	28
4.2	Inkorporationsüberwachung .....	30
5.	Besondere Vorkommnisse .....	34
6.	Fall-out von Kernwaffenversuchen .....	42
<b>IV.</b>	<b>Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl ..</b>	<b>42</b>

### **Berichtsteil Nichtionisierende Strahlung**

#### **Elektromagnetische Felder**

1.	Forschung .....	44
2.	Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“ .....	48
3.	Umweltzeichen „Blauer Engel“ .....	49
4.	Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen .....	49

#### **UV-Strahlung**

1.	Forschung .....	50
2.	Solarien .....	50
3.	Solares UV-Monitoring in Deutschland .....	50

#### **Anhang A:**

Strahlendosis und Strahlenwirkung .....	52
-----------------------------------------	----

#### **Anhang B:**

Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen .....	59
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

#### **Anhang C:**

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen .....	65
-----------------------------------------------------------	----

## Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2003

### Kurzfassung

**Medizinische Strahlenexposition:**

- Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen auf 1,9 mSv (von 1996–2001)
- Zunahme der Computertomographien um 7%

**Berufliche Strahlenexposition:**

- Überwachte Personen: unverändert 314.000, davon 85% ohne messbare Dosis
- Rückgang der Dosis tatsächlich exponierter Personen von 1,0 auf 0,9 mSv

**Strahlenexposition Flugpersonal:**

- Überwachung der Strahlenexposition seit August 2003
- Keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr

**Tschernobyl-Folgen:**

- Jährliche Abnahme der Cäsium-137-Kontamination um 2–3%
- Nunmehr sehr geringe Kontamination der Grundnahrungsmittel; meist unter 1 Bq pro Kilogramm
- Kontamination von Wild stellenweise immer noch sehr hoch

**Immissionen der Mobilfunksendeanlagen:**

- Keine Grenzwertüberschreitungen in für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen

**Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm:**

- Start mit geplanten 8,5 Mio. € vom BMU sowie 8,5 Mio. € von den Betreibern

**Standortauswahl für Mobilfunksendeanlagen:**

- Erheblich verbesserte Abstimmung zwischen Betreibern und Kommunen
- Bundesregierung drängt auf stärkere Information und Einbeziehung der betroffenen Bevölkerung

## Auftrag und Zusammenfassung

### 1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 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 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.

### 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 2003 noch eine geringfügige Erhöhung der zivilisatorischen Strahlenexposition. Dies wird in einem gesonderten 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 2003 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 Thoronzerfallsprodukte in Wohnungen liefern über Inhalation den Hauptbeitrag zum zivilisatorisch erhöhten Teil der natürlichen Strahlenexposition mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von etwa 0,9 mSv pro Jahr. Schutzziel ist, die Radonkonzentration in Wohnungen zu reduzieren, um das resultierende Lungenkrebsrisiko niedrig zu halten.

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 mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,9 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. Auf Grund eines neuen Verfahrens zur Abschätzung der Strahlenexposition durch Röntgendiagnostik hat sich der berichtete Wert gegenüber dem Vorjahr verändert. Der Beitrag der Röntgendiagnostik ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen (siehe Abschnitt III.2).

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2003 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 wesentlich verändert. Mit der Absenkung des Jahresgrenzwertes von 50 mSv auf 20 mSv ging die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten haben, deutlich zurück (Abschnitt III.4.1). Ebenfalls neu in diesem Bericht sind auch erste Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung, die seit 2002 an das Strahlenschutzregister des BfS übermittelt werden (Abschnitt III.4.2).

Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2003 wie im Vorjahr ca. 314.000. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 48.000 Personen) be-

Abbildung 1

**Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2003  
(Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)**

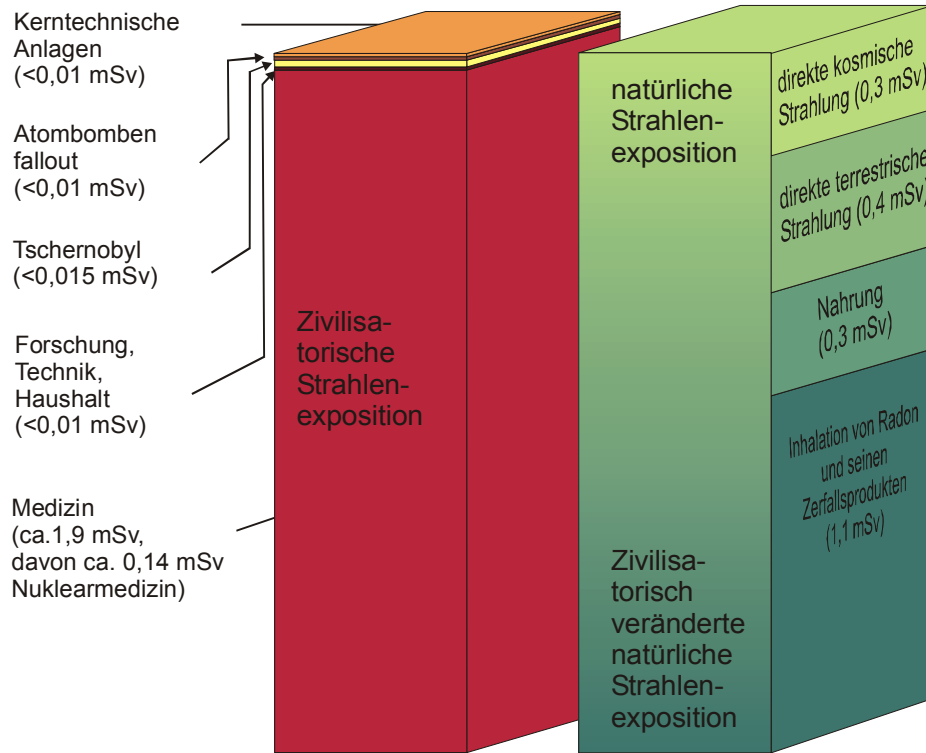
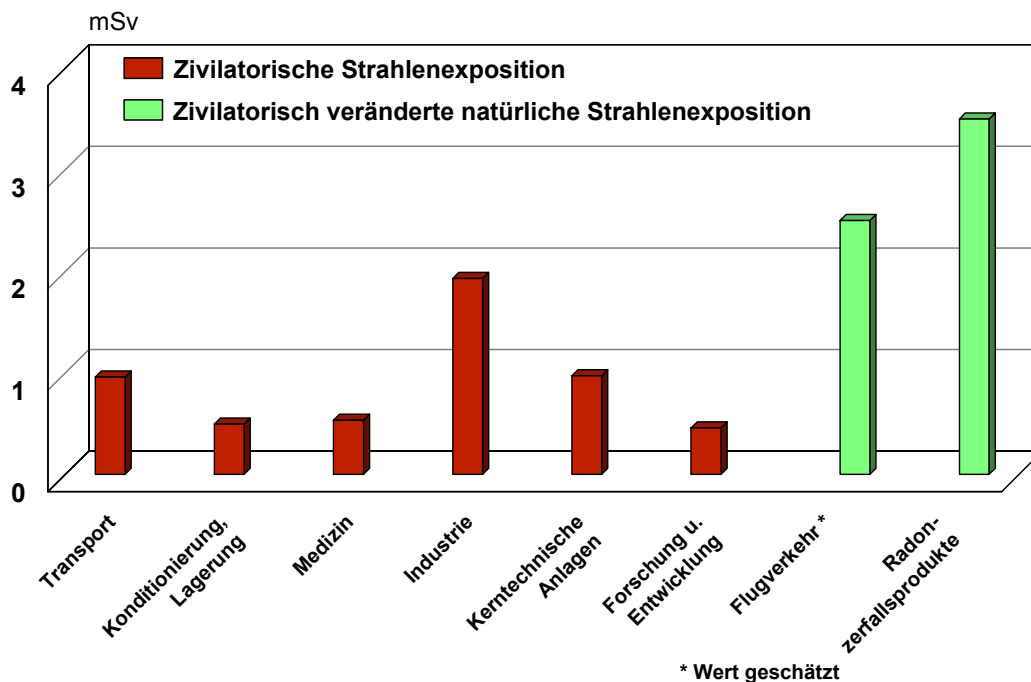


Abbildung 2

**Mittlere Jahres-Personendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland  
im Jahr 2003 in bestimmten Tätigkeitsbereichen**



trägt 0,92 mSv. **Abbildung 2** gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Die Zahl für den Flugverkehr beruht auf einer Schätzung. Für 2003 liegen Dosiswerte ab August vor, die noch nicht vollständig sind. Die mittlere Dosis aus diesen Daten steht nicht im Widerspruch zu dem geschätzten Wert.

Die Dosis durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2003 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 2003 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte (Cs-137). 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 auf etwa 1,9 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die berechnete Gesamtexposition beträgt 4,0 mSv gegenüber einem Wert von 4,1 mSv im Vorjahr. Die Änderung beruht auf einer neuen Abschätzung des Beitrages der medizinischen Strahlenexposition.

## **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 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 (im Frequenzbereich von 0 bis 100 kHz) bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (100 kHz 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 Ionisie-

rungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Im Falle der hochfrequenten Felder kann dies zu Temperaturerhöhungen führen.

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 Bundesimmissionschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigten jedoch Unsicherheiten insofern auf, als Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten von nieder- und hochfrequenten Feldern unterhalb der gültigen Grenzwerte existieren. Nationale wie internationale Organisationen, wie z.B. die SSK empfehlen deshalb, dass weiterhin Forschung betrieben werden muss, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können.

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

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. In verschiedenen Messkampagnen der RegTP wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

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 zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen erfasst und bewertet kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von etwa acht in den Monaten Juni bzw. Juli auf. Ein ozonbedingter Trend zu einem Anstieg der UV-Strahlung lässt sich aus den vorliegenden Daten noch nicht nachweisen.

## **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 2003.

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.

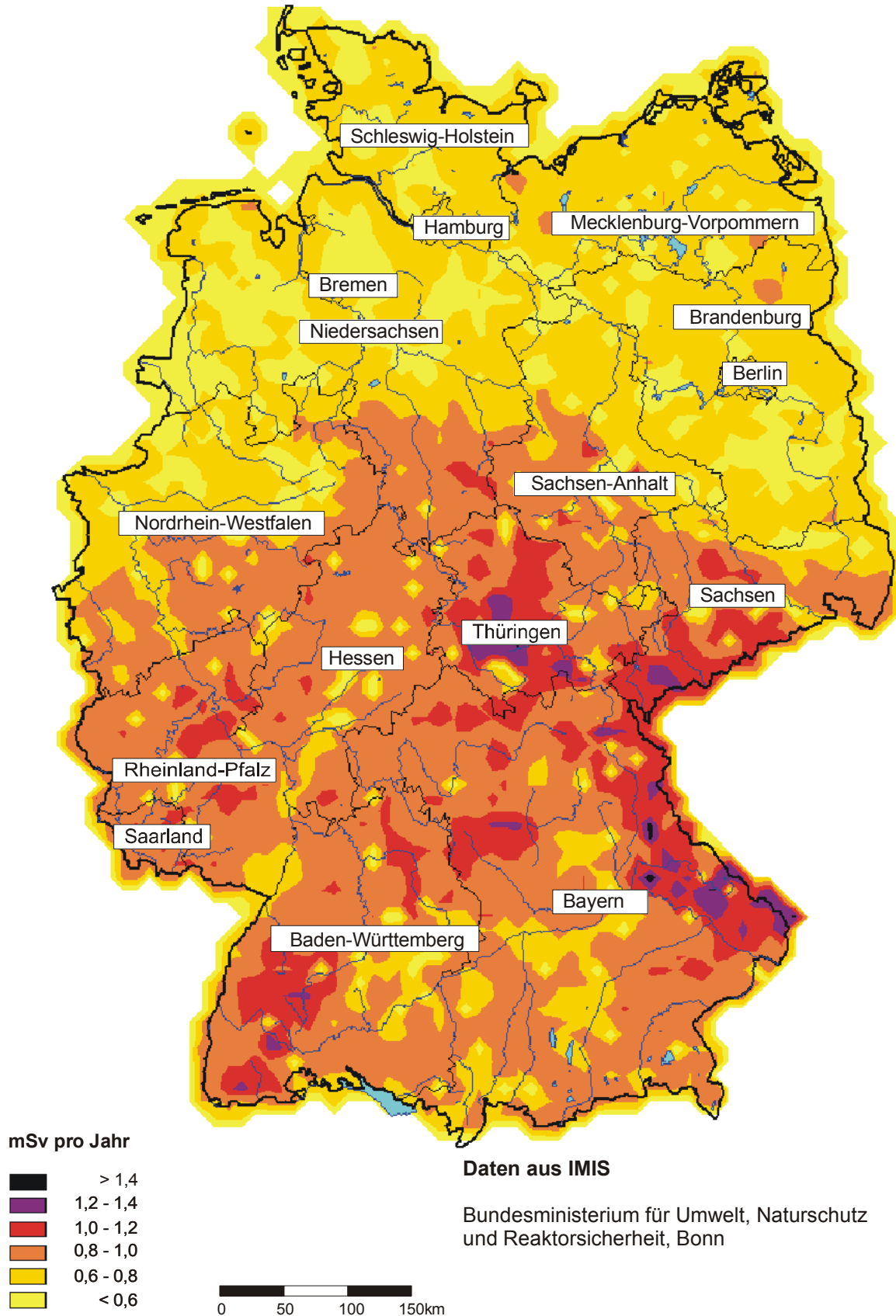
Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutschland verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering 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 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



Abbildung I.1

Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland in Bodennähe im Freien, 2003





in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

## 2. Radon in Wohngebäuden

Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt in Deutschland ungefähr  $50 \text{ Bq/m}^3$ . Für die Radonkonzentration in Gebäuden ist die Radonkonzentration in der Luft im Erdboden (Bodenluft) ein bestimmender Parameter. Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen kommen deshalb vor allem in Regionen vor, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft typisch sind.

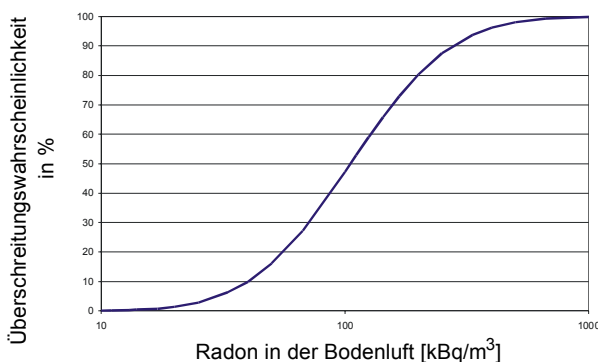
Die Radonkonzentration in der Bodenluft wurde bundesweit untersucht. Die Kartendarstellung (Abbildung II.2) zeigt den abschließenden Stand dieser an 2346 geologisch repräsentativen Messorten durchgeführten regionalen Untersuchungen.

Die Ausbreitung des Radons aus dem Baugrund in die Gebäude wird durch den sogenannten Transferfaktor beschrieben, das Verhältnis der Radonkonzentration im Gebäude zu der in der Bodenluft. Für den Quotienten aus der Radonkonzentration in unterkellerten Erdgeschosswohnräumen bzw. Kellerräumen zu der Radonkonzentration in der Bodenluft wurden für den Medianwerte von 1,1% bzw. 1,6% ermittelt. In Abhängigkeit von der Isolierung der Gebäude im erdberührten Bereich, der Gebäudestruktur und anderen Parametern ist die Spannweite des Transferfaktors sehr groß (zwischen 0,1% und 20%).

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden unter Beachtung der Verteilung des Transferfaktors die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung verschiedener Konzentrationsniveaus abgeschätzt. In der Abbildung II.1 ist als Beispiel die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der Konzentration von  $100 \text{ Bq/m}^3$  in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft dargestellt.

Abbildung II.1

### Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der Radonkonzentration von $100 \text{ Bq/m}^3$ in Gebäuden in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft



Bei einer Bauausführung entsprechend den heutigen Anforderungen, vor allem einer DIN-gerechten Abdichtung der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte, werden in Gebieten, in denen Radonkonzentrationen in

der Bodenluft über  $20 \text{ kBq/m}^3$  vorkommen, die Radonkonzentrationen in der Raumluft in vielen Fällen bereits auf Werte unter  $100 \text{ Bq/m}^3$  begrenzt. Für die Planung von Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden ist dieser Umstand von großer Bedeutung. Durch unter Umständen weitere ergänzende Maßnahmen kann beim Neubau gesichert werden, dass bei vertretbarem zusätzlichen finanziellen Aufwand selbst an Standorten mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft akzeptable Radon-Innenraumkonzentrationen erzielt werden. Wenn bauliche oder heizungs-, lüftungstechnische Maßnahmen in Umsetzung der Energieeinsparverordnung durchgeführt werden, sind objektbezogene Lösungen anzuwenden, die zu keiner Erhöhung der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen führen.

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

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

Die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH ermitteln 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 2003 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Fortluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten wurden (Abbildungen II.3 und II.4).

Die Ableitungen von Uran und Radium-226 mit den Schacht- und Abwässern wurden im Vergleich zum Vorjahr weiter verringert. Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsbetriebe zeigten, führten diese Ableitungen 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 Urankonzentrationen 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 nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt.

Auch bei den Ableitungen für Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden diese Ableitungen erneut verringert. Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen

Abbildung II.2

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft für die Bundesrepublik Deutschland

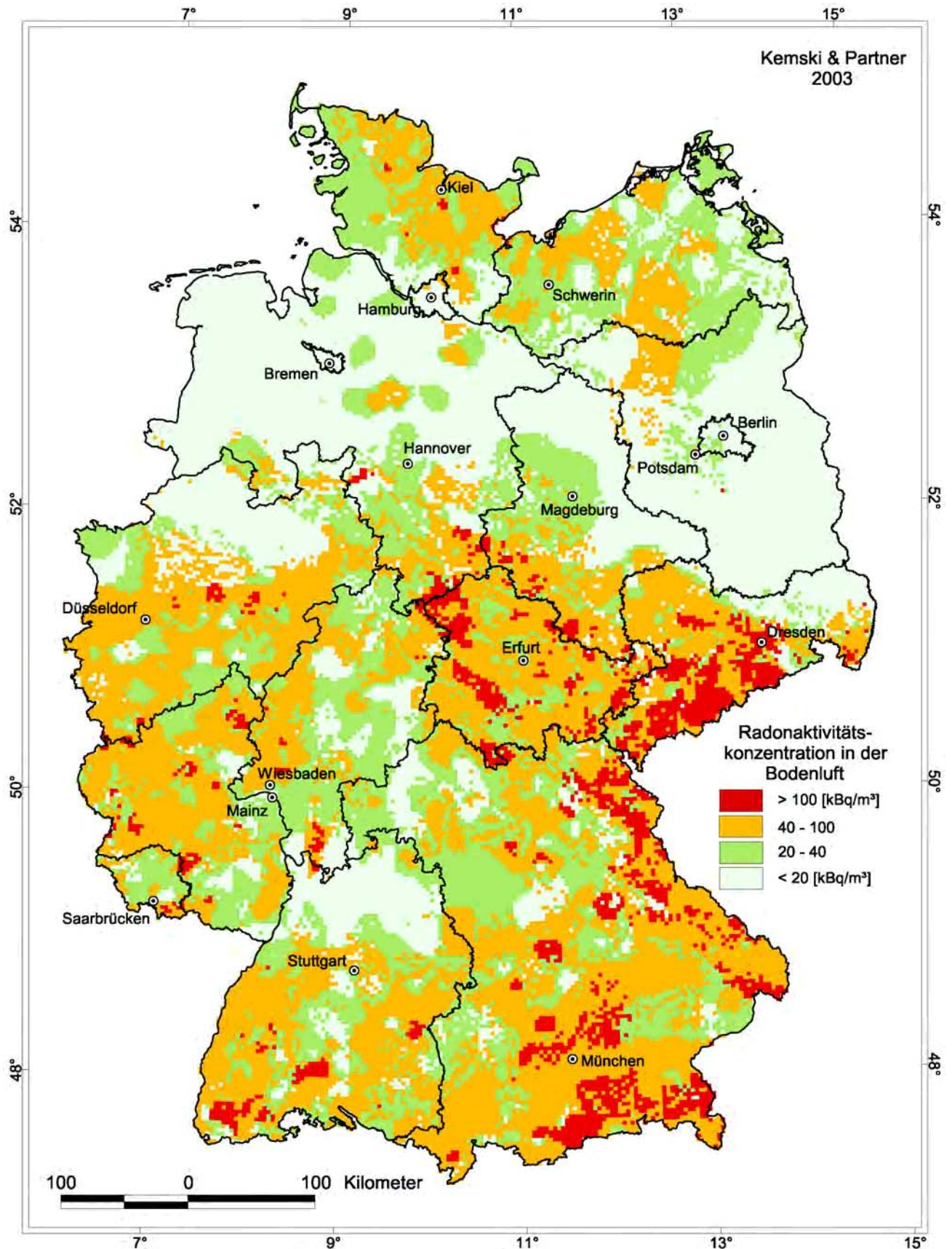
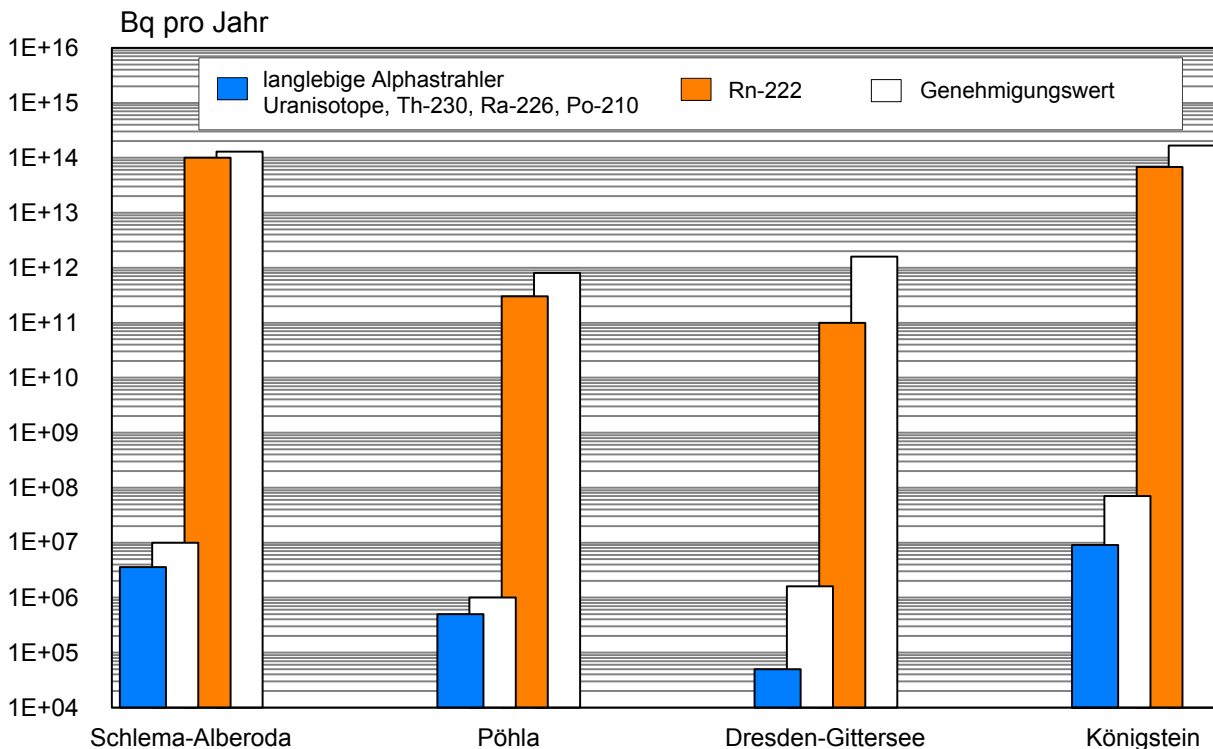


Abbildung II.3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre im Jahr 2003**



(z.B. Inversion in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 300 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. Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen der großräumigen Langzeitüberwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Luft im Freien wurden auch im Jahr 2003 fortgesetzt und lieferten keine von den Messungen der Wismut GmbH abweichenden Ergebnisse.

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

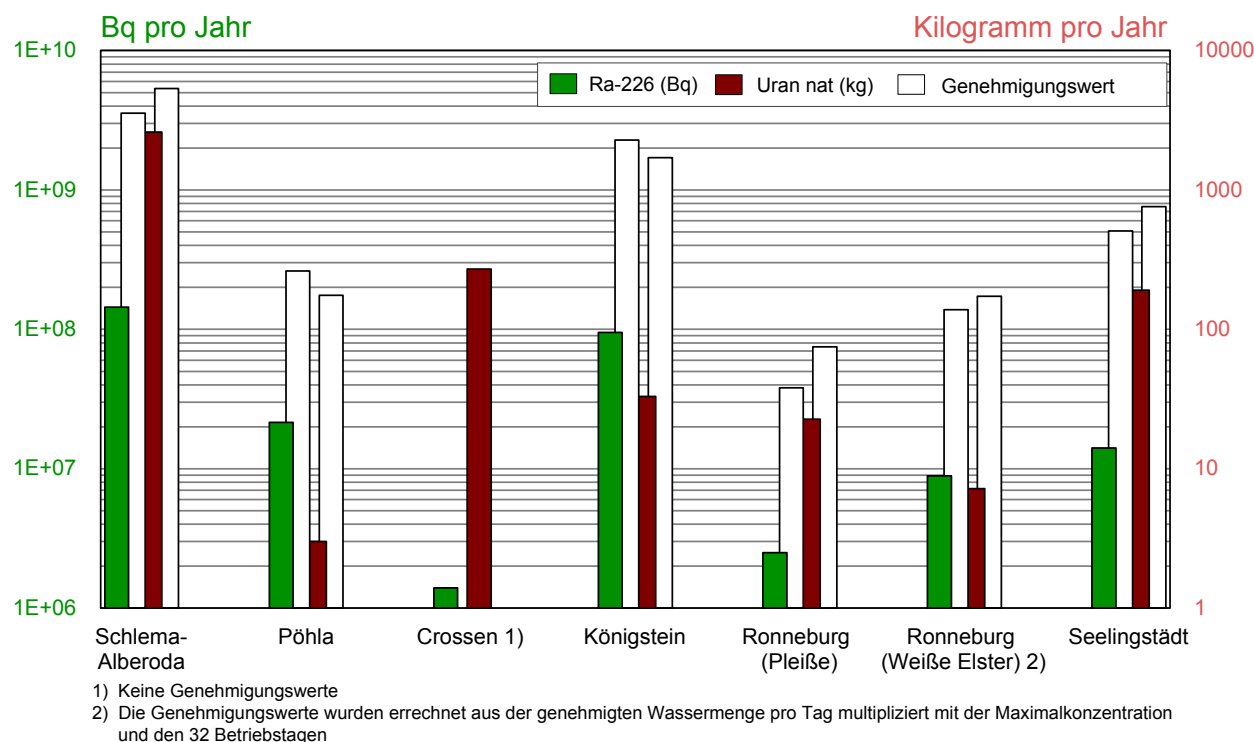
Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für die Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis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

bergbaus, die sich nicht mehr im Besitz der Wismut GmbH befinden, systematisch untersucht und bewertet (ca. 8000 bergbauliche Objekte und Flächen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt). Die durchgeführten Arbeiten haben wesentlich zur Klärung der Strahlenschutzsituation in den betroffenen Bergbauregionen beigetragen. 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 wurden in ausführlichen verdachtsflächenbezogenen Berichten zusammengefasst, die den zuständigen Behörden zur Verfügung gestellt wurden. Im Jahr 2003 hat das BfS die Auswertung der Untersuchungen abgeschlossen. Im Ergebnis des Projektes hat sich gezeigt, dass die untersuchten Verdachtsflächen zum weitest 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.

Um bei der standortspezifischen Untersuchung und der Sanierungsentscheidung ein einheitliches, wissenschaftlich und rechtlich fundiertes Vorgehen zu gewährleisten



Abbildung II.4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2003**

und ungerechtfertigten Aufwand zu vermeiden, sind behördliche Vorgaben für geeignete Untersuchungsmethoden und Parameter erforderlich. Die Entwicklung und Festlegung von Probenahme-, Analyse-, Mess- und Berechnungsverfahren ist nach § 2 Abs. 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes eine Aufgabe des Bundes. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat einen „Leitfaden zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten“ entwickelt und mit Experten aus Wissenschaft und Praxis sowie den zuständigen Länderbehörden abgestimmt. Der praktische Umgang mit dem Leitfaden und sein fachlicher Inhalt werden gegenwärtig im Rahmen einer Testphase erprobt.

#### 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 Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2). Für Personen, die anzeigebedürftige Arbeiten ausführen, ist die Körperdosis zu ermitteln.

Auf Grund der Übergangsregelung des § 117 Abs. 26 liegen für den Berichtszeitraum ausschließlich Daten der Körperdosen infolge beruflicher Strahlenexpositionen durch natürliche Strahlenquellen für das Gebiet der Neu-

en Bundesländer vor. Die Daten wurden auf Grundlage des § 118 Abs. 1 Satz 3 erhoben, wonach Erlaubnisse, die vor dem 01. August 2001 für Arbeiten erteilt wurden, die den Arbeitsfeldern nach Anlage XI der StrlSchV zugeordnet werden können, und nach dem 01. August 2001 fortgelten, als Anzeige nach § 95 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV gelten. Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues ausführen, werden die Daten der Körperdosis auf der Grundlage der Regelungen des § 118 Abs. 2 Satz 1 ermittelt.

Im Jahr 2003 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition für 1618 Personen ermittelt. Von diesem Personenkreis waren ca. 85% in den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH beschäftigt.

Für Beschäftigte der Wismut GmbH wird die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerzfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachte Körperdosis ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt. Diese Messgeräte mit Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren erfassen die Strahlenexpositionen durch Radonzerfallsprodukte, durch langlebige Alphastrahler und durch externe Gammastrahlung. Für Beschäftigte, die Arbeiten nach Anlage XI der StrlSchV ausführen, wird die durch Inhalation von Radonzerfallsprodukten verursachte Körperdosis ermittelt. Dazu wurden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen charakteristische Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die

Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2003 gab es keine Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv. Für 15 Beschäftigte wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Die höchste jährliche effektive Dosis wurde mit 10,1 mSv für einen Beschäftigten bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau ermittelt. Für Beschäftigte in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis im Jahre 2003 0,34 mSv. Für die Gruppe der überwachten Beschäftigten, die Arbeiten nach Anlage XI der StrlSchV ausführen, oder Beschäftigte bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten ist der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis 1,47 mSv. Dabei wurde der höchste Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis mit 5,08 mSv für Beschäftigte in dem Arbeitsbereich Radon-Heilbäder festgestellt. Für Beschäftigte in Schauhöhlen und Besucherbergwerken betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis 1,60 mSv, in Wasserwirtschaftsbetrieben 0,77 mSv, bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau 1,87 mSv und in Bergsicherungsbetrieben 1,22 mSv.

## 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 (maximale Stundenzahl) 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. Entsprechende Maßnahmen dazu sind termingerecht zum 1. August 2003 umgesetzt worden. Die Betreiber der Flugzeuge ermitteln die Dosiswerte und senden diese über das Luftfahrtbundesamt regelmäßig an das Strahlenschutzregister. Erste Dosismeldungen liegen inzwischen vor. Für eine statistische Auswertung sind die Daten jedoch noch nicht vollständig genug. Eine detaillierte Auswertung wird deshalb der nächste Bericht enthalten.

## III. Zivilisatorische Strahlenexposition

### 1. Kerntechnische Anlagen

#### 1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 2003 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft 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 Schwebstoffe und ca.  $10^{10}$  Bq für Jod-131 zeigt.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2003 haben die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organodosen 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 2003 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

#### 1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft 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.

Die für 2003 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft 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.

$^{14}\text{C}$  wird in [Abbildung III.2](#) in Form von  $^{14}\text{CO}_2$  angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes  $^{14}\text{C}$  abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist. Die Gesamtsumme an abgeleitetem  $^{14}\text{C}$  über die Fortluft im Jahr

Abbildung III.1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2003  
Schwebstoffe und Jod-131**

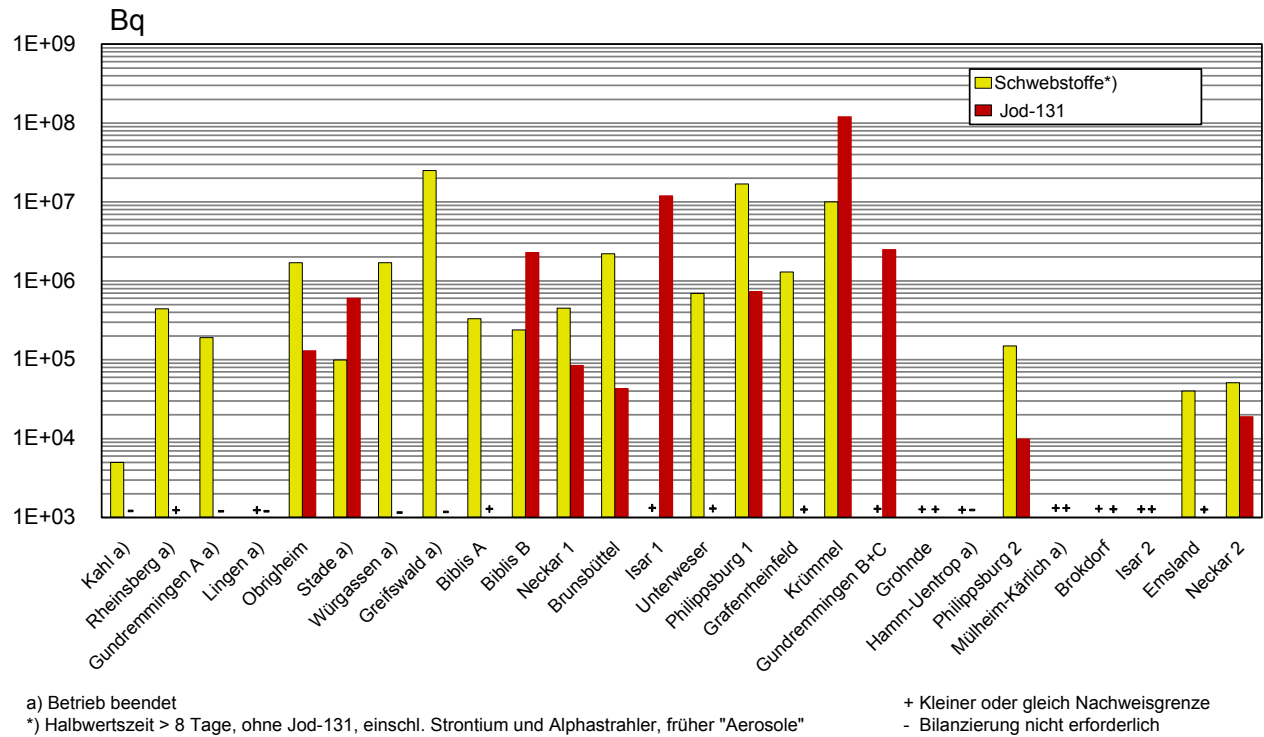


Abbildung III.2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2003  
<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, Tritium und Edelgase**

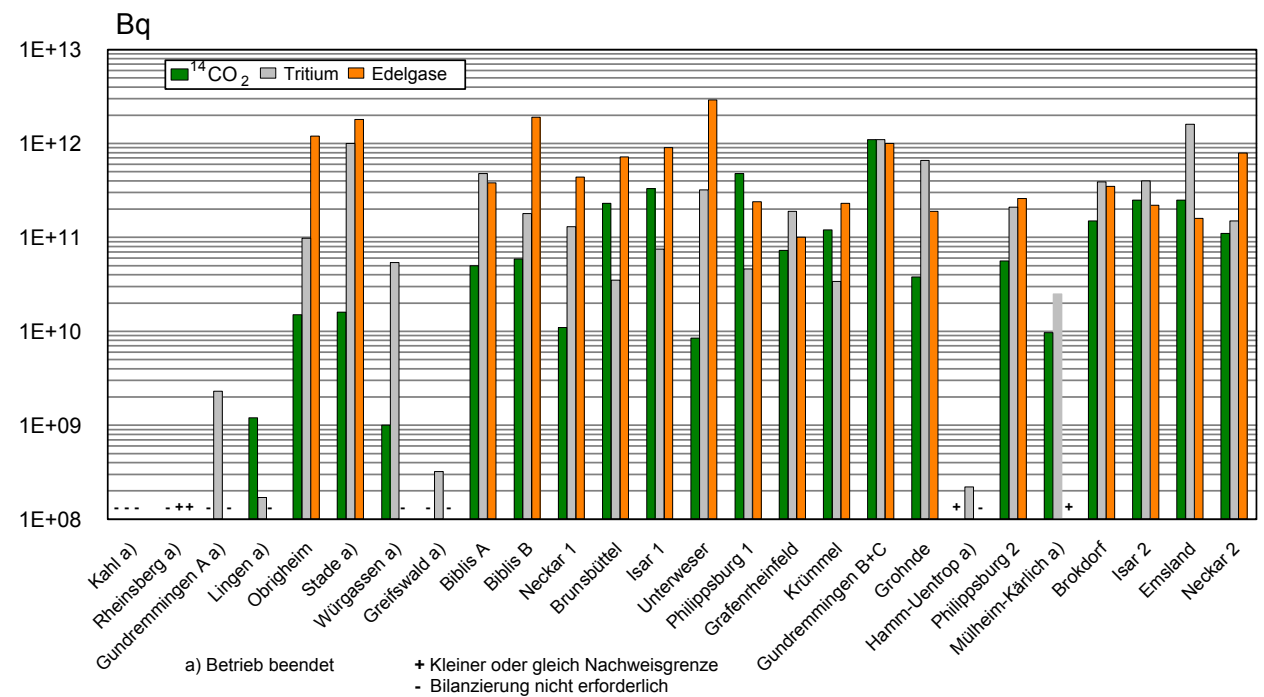


Abbildung III.3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2003  
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

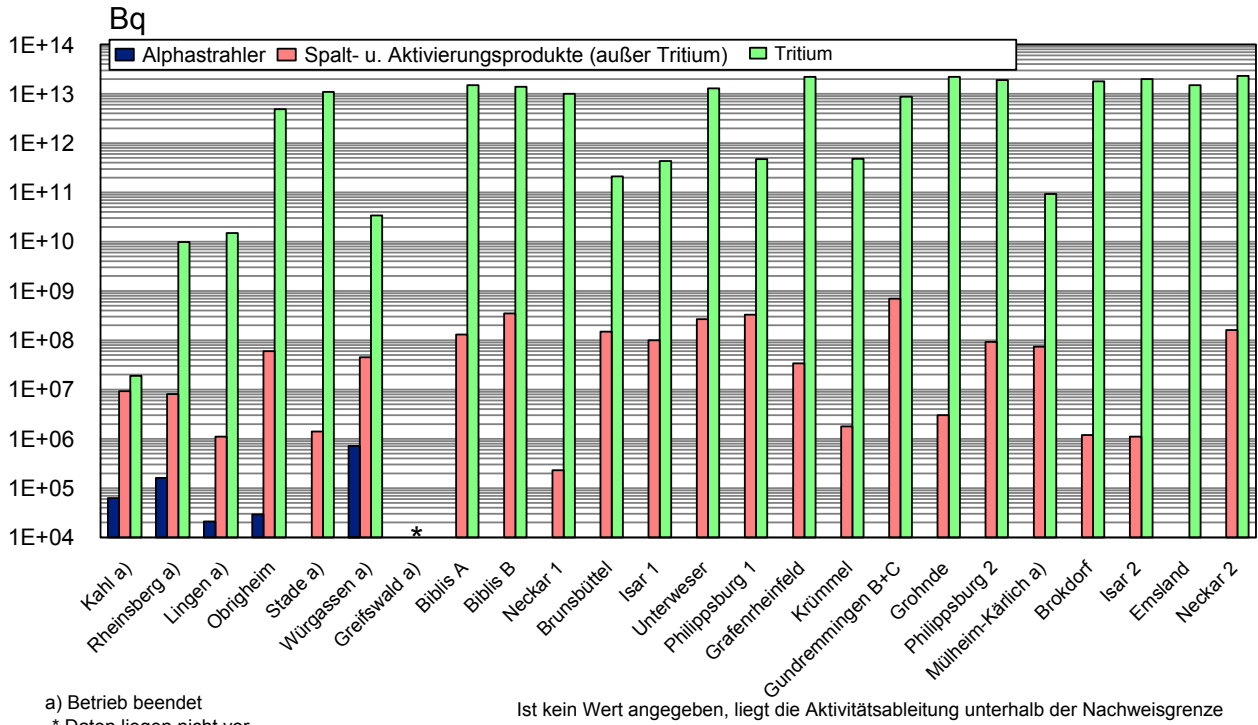
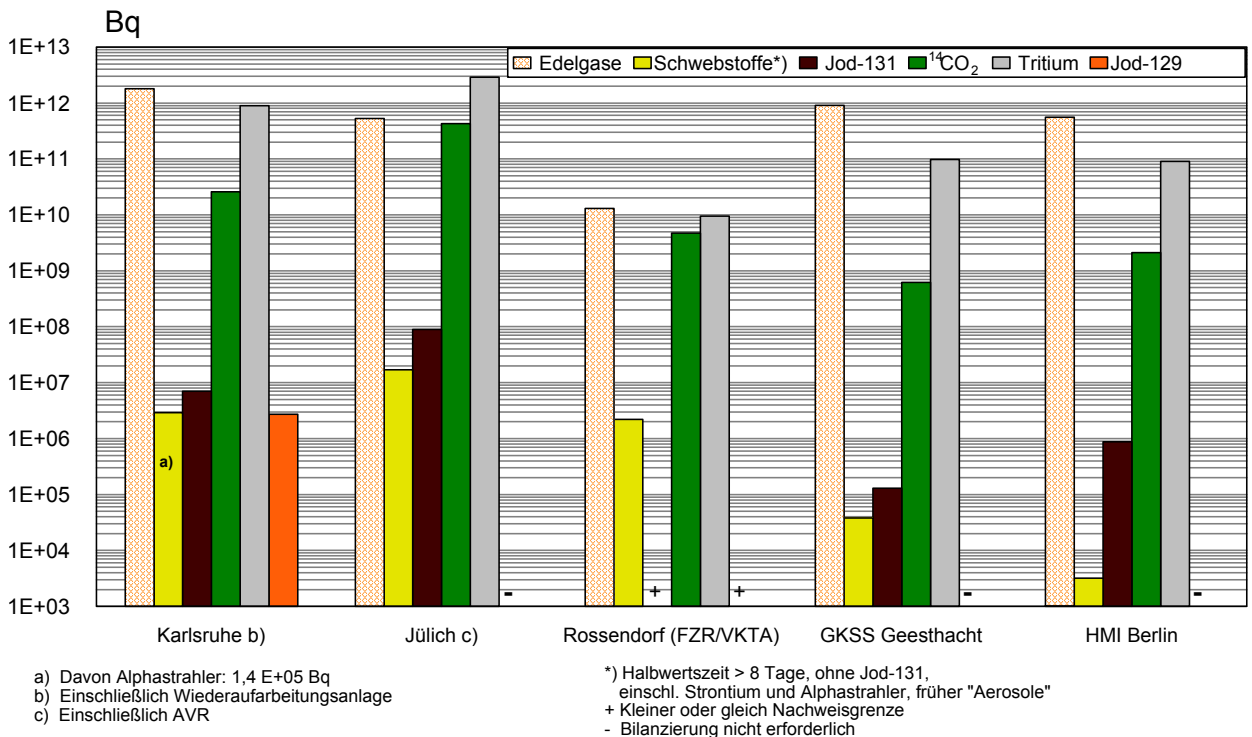


Abbildung III.4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2003  
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, Tritium und Edelgase**





2003 beträgt an den in [Abbildung III.2](#) aufgeführten Standorten etwa  $5,8 \cdot 10^{12}$  Bq.

In [Abbildung III.4](#) sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin für das Jahr 2003 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 2003 zusammengestellt. [Abbildung III.6](#) enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2003 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 Jahremissionen 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 „Umweltradioaktivität 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 11.08.2003 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.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2003 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver

Abbildung III.5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2003  
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

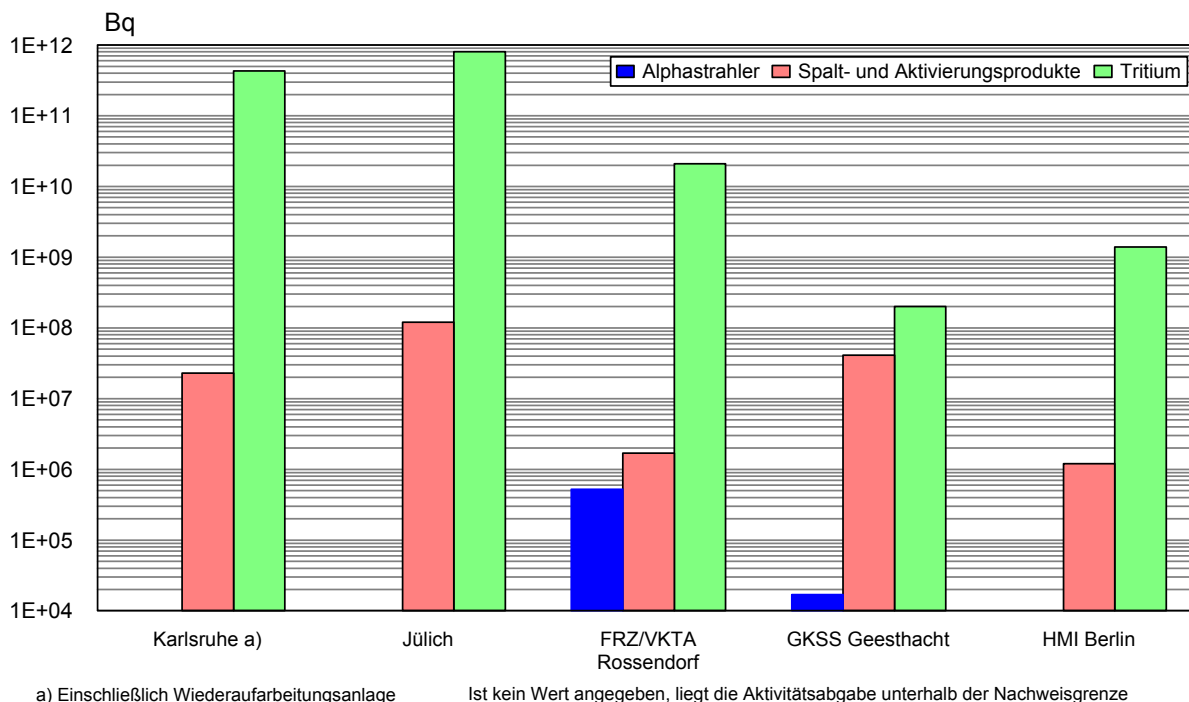


Abbildung III.6

**Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2003**

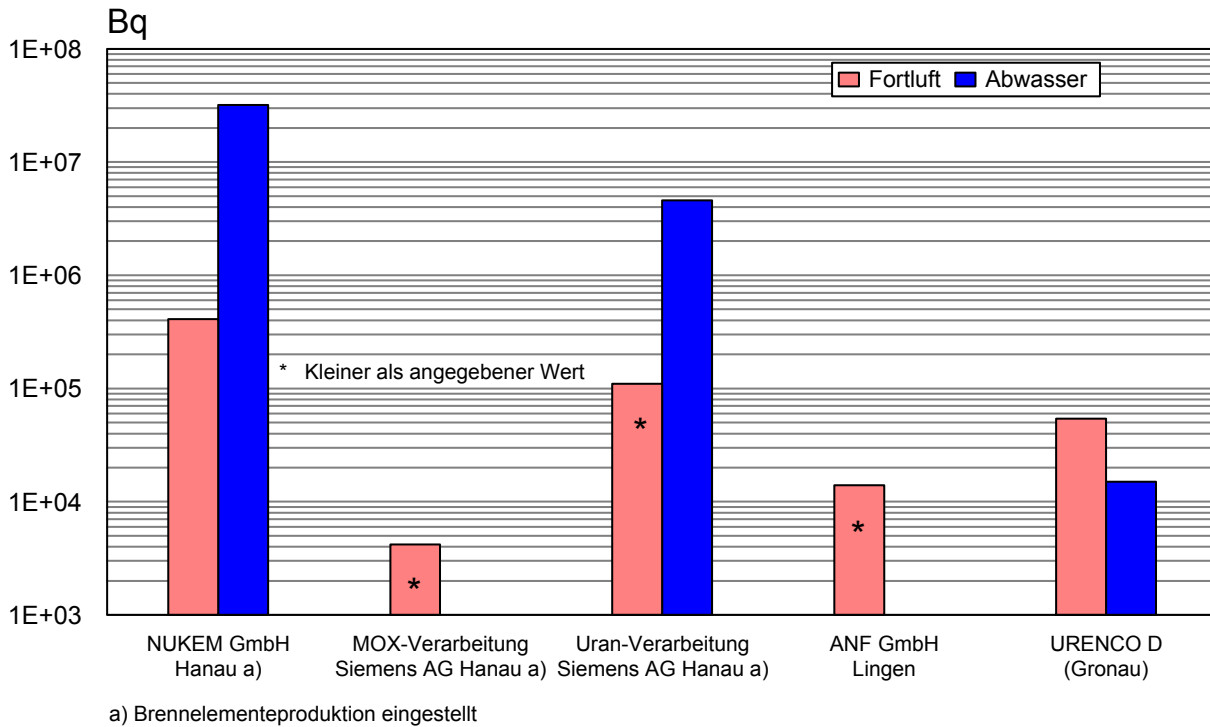
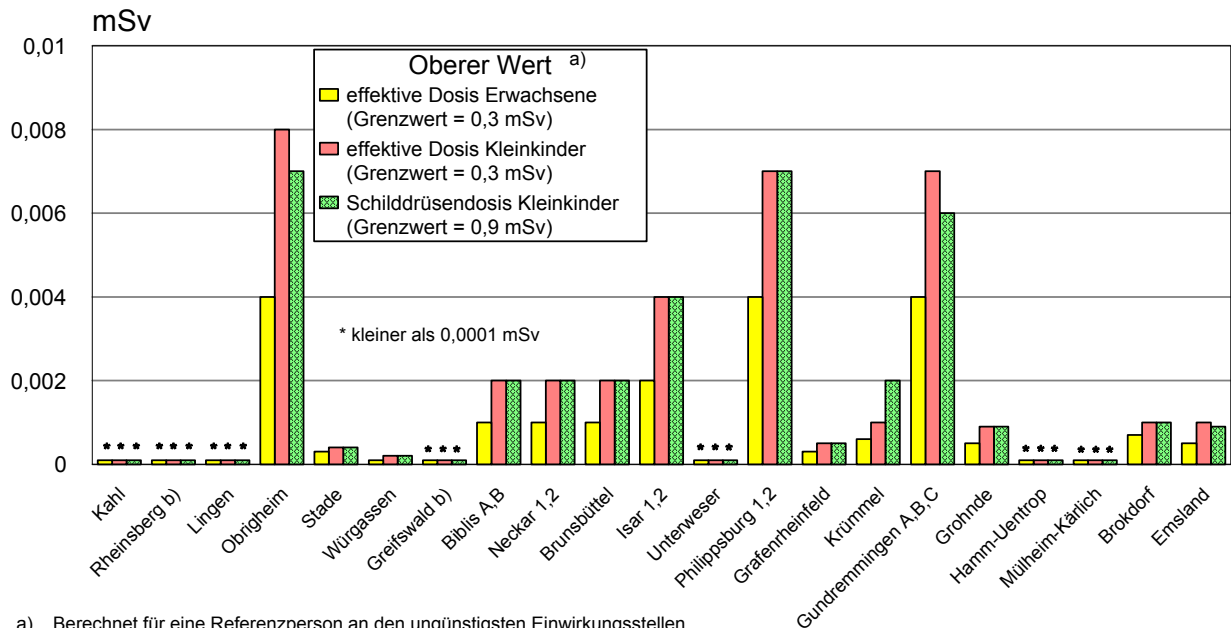


Abbildung III.7

**Strahlenexposition im Jahr 2003 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft**



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 Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen.

Stoffe mit der Fortluft 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 berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) bei den Kernkraftwerken Obrigheim, Philippsburg und Gundremmingen sowie für Kleinkinder 0,008 mSv (rund 3% des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Obrigheim. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (unter 1% des Dosisgrenzwertes) bei den Kernkraftwerken Obrigheim und Philippsburg.

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 berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0012 mSv (entsprechend rund 0,3% des Dosisgrenzwertes) und für Kleinkinder 0,0007 mSv an den Standorten der Kernkraftwerke Emsland, Neckar 1 und 2.

Entsprechend dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei je-

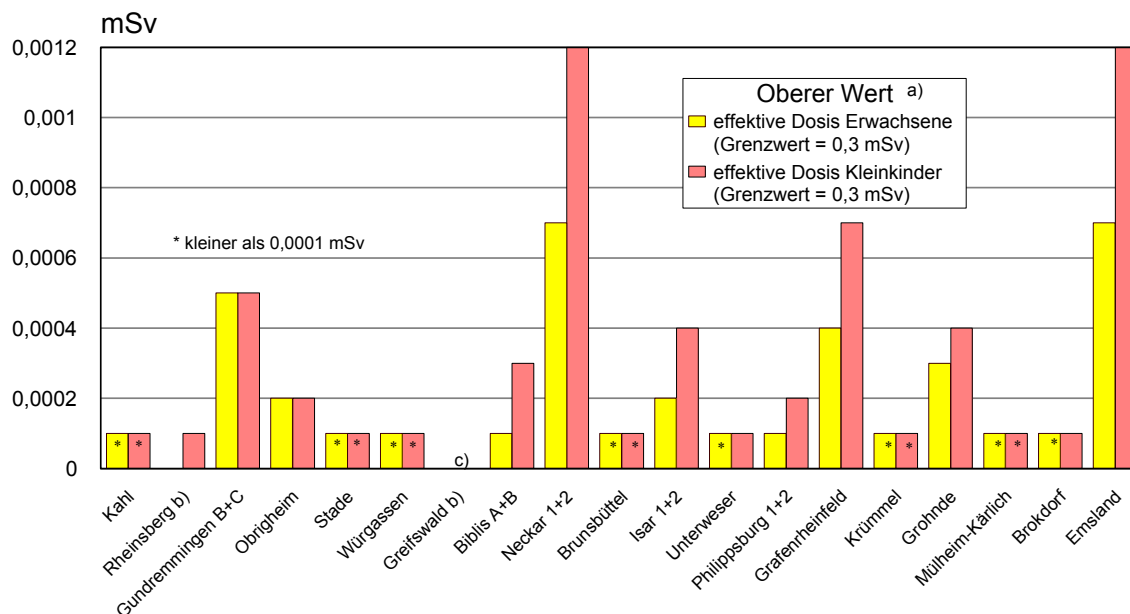
weils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,0018 mSv und 0,001 mSv für Kleinkinder bzw. Erwachsene im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die entsprechenden effektiven Dosen bei 0,0002 mSv bzw. 0,0004 mSv, an der Donau bei 0,0006 mSv. Zu den höheren berechneten 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 Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2003 als höchsten Wert 0,005 mSv (rund 2% des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,008 mSv (rund 3% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,014 mSv (rund 2% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition durch die Ableitung von Abwasser aus Kernforschungszentren ergeben sich im Jahr 2003 nach Angaben aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte von 0,000008 mSv, 0,006 mSv bzw. 0,0008 mSv.

Abbildung III.8

### Strahlenexposition im Jahr 2003 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



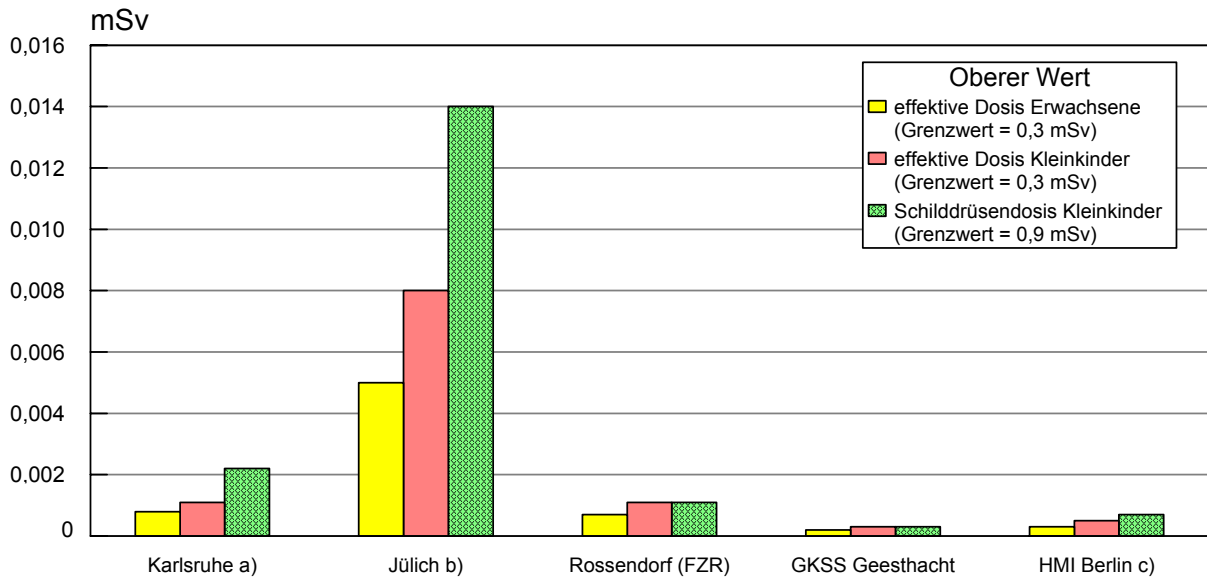
a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

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

c) Daten liegen nicht vor

Abbildung III.9

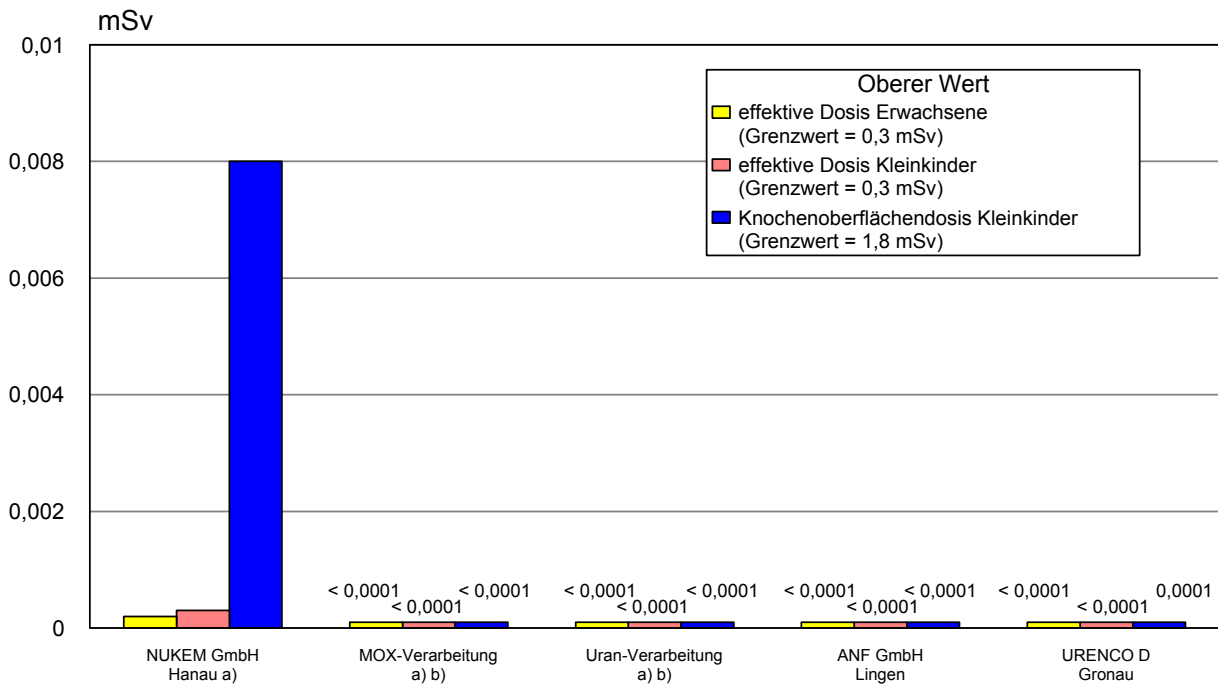
**Strahlenexposition im Jahr 2003 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft\***



\*) Entnommen aus den Jahresberichten 2003 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rosendorf, Geesthacht und HMI-Berlin  
 a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage  
 b) Einschließlich Versuchsreaktor AVR  
 c) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

Abbildung III.10

**Strahlenexposition im Jahr 2003 in der Umgebung von Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft**



a) Brennelementproduktion eingestellt  
 b) SIEMENS AG, Brennelementwerk 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

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

Beim Betrieb NUKEM ergaben sich 2002 infolge höherer Emissionen, bedingt durch Abrissarbeiten, für eine Referenzperson deutlich höhere Expositionswerte als in den Vorjahren. Diese Werte sind im Jahr 2003 wieder deutlich zurückgegangen und betragen für die effektive Dosis für Erwachsene 0,0002 mSv (rund 0,07% des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,0003 mSv (0,1% des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder errechnet sich zu 0,008 mSv (rund 0,4% 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 Fortluft 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 2003 mit der Fortluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0002 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0006 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,0020 mSv; dies sind 0,1%, 0,2% bzw. 0,7% 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 0,0061 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,6% bzw. 2,0% des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2003 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge.

Bei den in Betrieb befindlichen Kernbrennstoff-Zwischenlagern Ahaus, Lingen (Emsland) und Gorleben sowie Nord (bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine nennenswerten Emissionen radioaktiver Stoffe auf; dasselbe gilt für die in Betrieb befindlichen Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg und Biblis sowie für die im Genehmigungsverfahren bzw. genehmigten, aber noch nicht in Betrieb befindlichen dezentralen Zwischenlager. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist lediglich die Gamma- und Neutronendosis bzw. Dosis-

Tabelle III.2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2003**

	Fortluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	2,40 E+10	6,30 E+04
Kohlenstoff-14	8,20 E+08	-
langlebige Schwebstoffe	1,5 E+06	-
Radonfolgeprodukte	8,70 E+09	-
Nuklidgemisch außer Tritium	-	1,20 E+02

- Bilanzierung nicht erforderlich

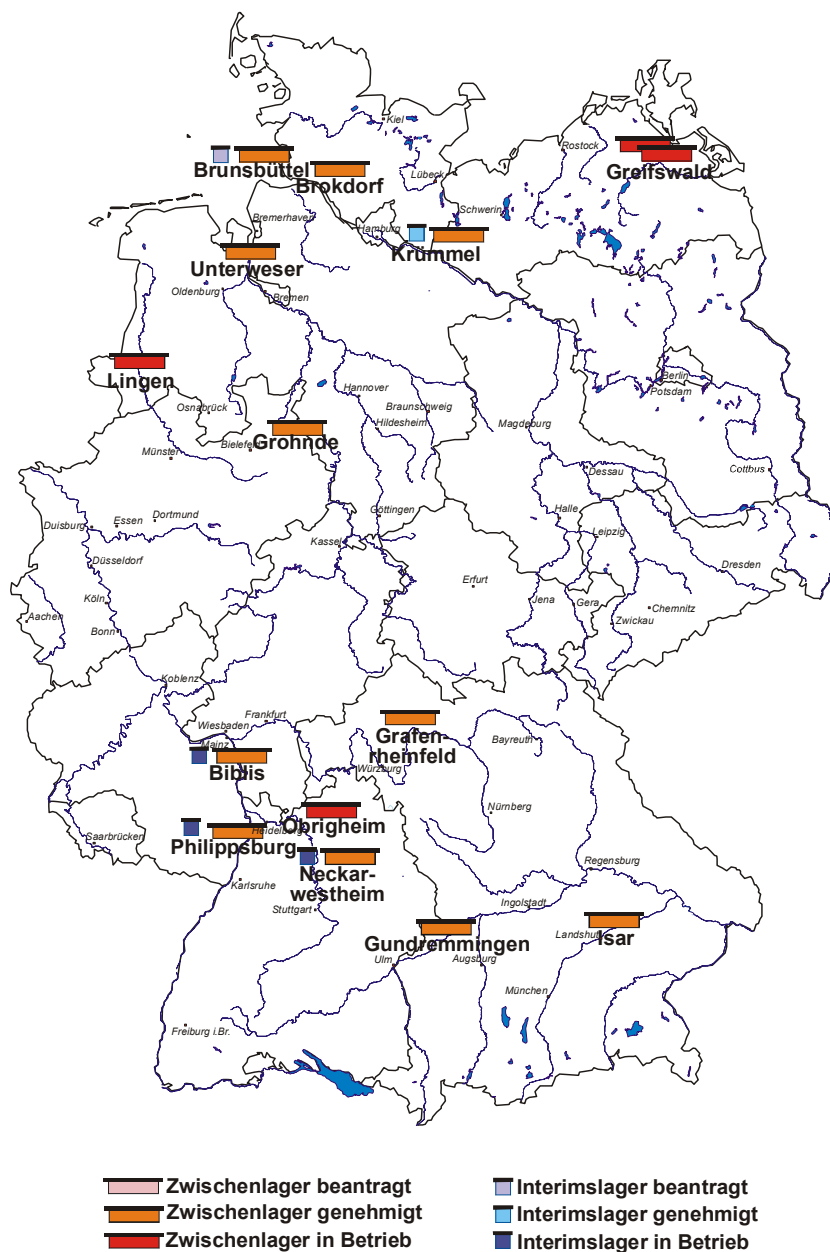
leistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. [Abbildung III.11](#) zeigt eine Übersicht über beantragte, genehmigte und bereits in Betrieb genommene Zwischen- bzw. Interimslager in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2003.

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. Fortluftplan 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 2003 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer Referenzperson bis zu 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 0,02 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der WeideKuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbaugebieten wurde im Jahr 2003 Jod-131 nicht nachgewiesen.

Abbildung III.11

**Übersichtskarte der Standortzwischenlager und Interimslager in Deutschland im Jahr 2003**



## 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 diagnostischen und therapeutischen Standard erreicht. Sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach den Vorschriften der StrlSchV und der RöV muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte Strahlenexposition soweit zu reduzieren, 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 Wege über die novellierte RöV und StrlSchV und die dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung weiter um eine Verminderung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen bemüht. Um den Strahlenschutz der Patienten zu optimieren, wurden im Rahmen der Novellierung der StrlSchV und RöV die Aufgaben und Rechte der ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS) erweitert und diagnostische Referenzwerte (DRW) eingeführt. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Qualität der Untersuchungen zu verbessern und die Dosis pro Untersuchung mittelfristig zu reduzieren. Dies allein wird allerdings nicht ausreichen, um bezüglich der medizinischen Strahlenexposition eine grundlegende Veränderung der aktuellen Situation zu erreichen. Dreh- und Angelpunkt ist die rechtfertigende Indikation, die zur Zeit aus verschiedenen Gründen nicht immer so restriktiv gestellt wird, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten wünschenswert wäre. Gegenwärtig wird von der Strahlenschutzkommission (SSK) gemeinsam mit den medizinischen Fachgesellschaften ein Katalog von Überweisungskriterien erarbeitet. Darüber hinaus soll zukünftig nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ÄS erfolgen.

### 2.1 Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 90er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus – zuletzt für die Jahre 1994 und 1997. Mit Inkrafttreten der novellierten RöV im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen.

Die derzeit aktuellste Auswertung der Daten zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2001. Bei dieser Auswertung wurde ein neues Konzept für die Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition umgesetzt. Angestrebt wurden dabei die folgenden Ziele:

- Entwicklung eines Verfahrens, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich wird. Auf Basis des nun entwickelten Konzepts soll die Evaluierung der medizinischen Strahlenexposition auch in Zukunft erfolgen.
- Anpassung des Verfahrens an internationale Standards, die sich insbesondere durch die Erhebungen in der Schweiz und dem Vereinigten Königreich – beide aus dem Jahr 2000 – herausgebildet haben. Dies betrifft u. a. die Definition des Begriffs „Untersuchung“. Er beinhaltet jetzt alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität notwendig sind. So wird z. B. bei einer Angiographie am Herzen jetzt nicht mehr jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Andererseits werden in der vorliegenden Auswertung alle Zahnaufnahmen (Projektionen) als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.
- Berücksichtigung von aktuellen Erhebungen zur CT-Untersuchungspraxis im Berichtszeitraum sowie von Ergebnissen neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie der aktuellen Literatur.

Wie die bisherigen Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen basiert auch die aktuelle Evaluierung auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS eingespielt. Bei stationären Leistungen der allgemeinen Pflegekasse werden jedoch keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet. Die Häufigkeit der durchgeführten Röntgenuntersuchungen muss daher aus den Daten für die ambulanten Leistungen abgeschätzt werden.

Bei vorangegangenen BfS-Auswertungen wurden für diese Abschätzung relativ unsichere Daten einer früheren Stichprobenerhebung an Krankenhäusern sowie einer Trendanalyse im kassenambulanten und privatärztlichen Bereich Anfang der 90er Jahre verwendet. In die aktuelle Analyse fließen dagegen erste Resultate eines derzeit noch laufenden Forschungsvorhabens ein, dessen endgültige Ergebnisse bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet werden. Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Rahmen der Bundeswehr durchgeführt werden, konnten noch nicht quantifiziert werden. Verlässliche Daten werden ebenfalls bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet. Nach den bisherigen Erfahrungen machen diese Untersuchungen ca. 5 % der Gesamthäufigkeit und ca. 2–3 % der kollektiven Dosis aus. Bei den aktuell präsentierten Zahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis wurden daher vorläufig 5 % bzw. 2,5 % aufgeschlagen.



**Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996–2001**

Die Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland zeigt während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2001 weder einen eindeutigen Hinweis für eine Zunahme noch für eine Abnahme. Die Werte schwanken vielmehr auf hohem Niveau zwischen 1,78 und 1,85 Untersuchungen pro Einwohner (siehe [Abbildung III.12](#)). Auch die relative Häufigkeit der ver-

schiedenen Untersuchungsverfahren variiert nur wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht (vergl. auch [Abbildung III.14](#)).

In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen von ca. 7% pro Jahr über den gesamten beobachteten Zeitraum (siehe [Abbildung III.12](#)). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den

Abbildung III.12

**Pro-Kopf-Häufigkeit von Röntgen- und CT-Untersuchungen**

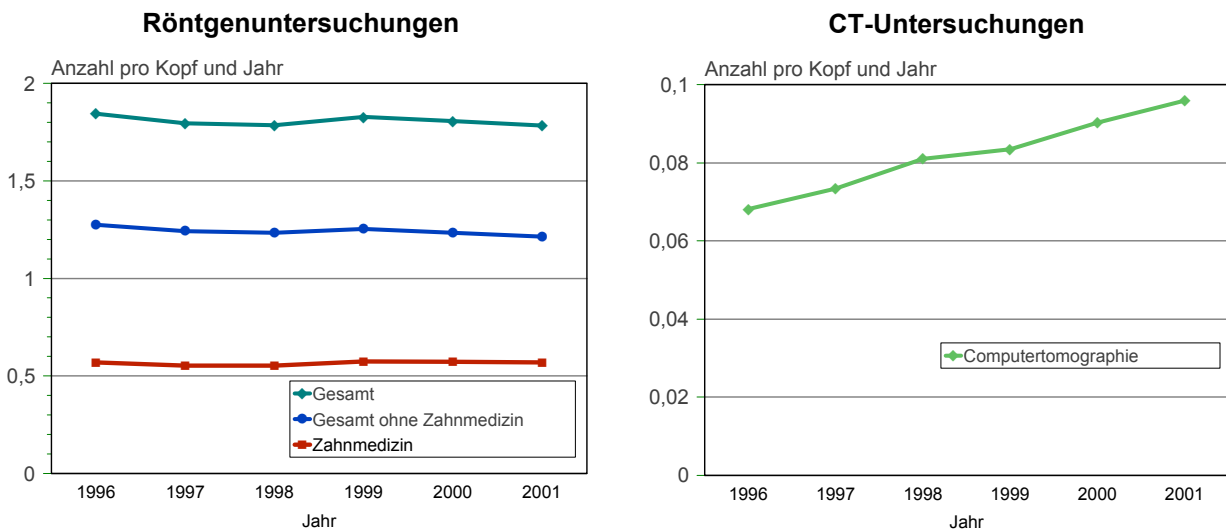
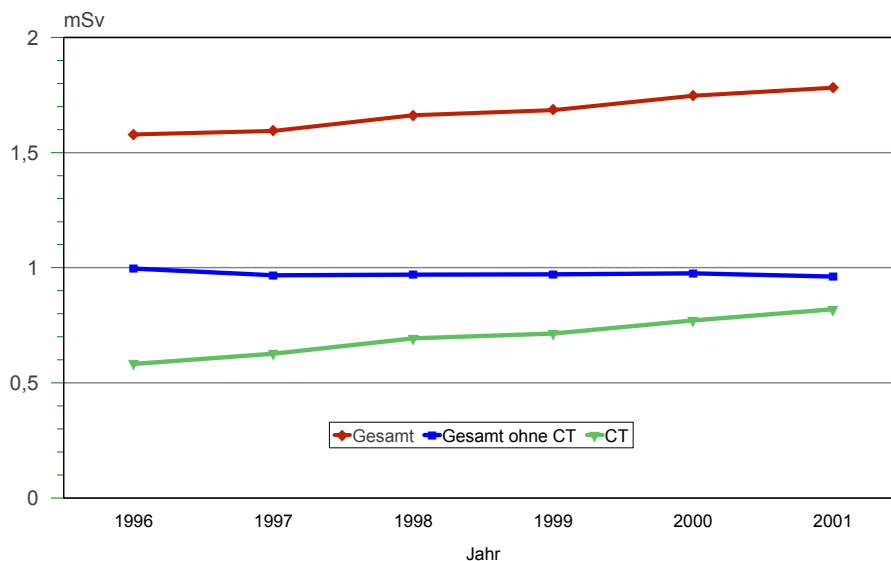


Abbildung III.13

**Mittlere effektive Dosis durch Röntgen- und CT-Untersuchungen pro Kopf der Bevölkerung (mSv)**



zunehmenden Einsatz neuer Techniken – wie z.B. der Spiral-CT – im klinischen Bereich wieder. Dennoch ist der Anteil dieses dosisintensiven Verfahrens an der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen vergleichsweise gering und erreichte 2001 einen Wert von nur ca. 6%. Im Gegensatz zur CT zeigen die konventionellen Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts eine Abnahme der Häufigkeiten. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlen wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie hier weiter anhält.

Die Bereiche mit mittleren Werten der effektiven Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen sind in [Tabelle III.3](#) dargestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden sowie auf Literaturangaben. Die Mehrzahl der Untersuchungs-

verfahren 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 Speichermedium 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 Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen,

Tabelle III.3

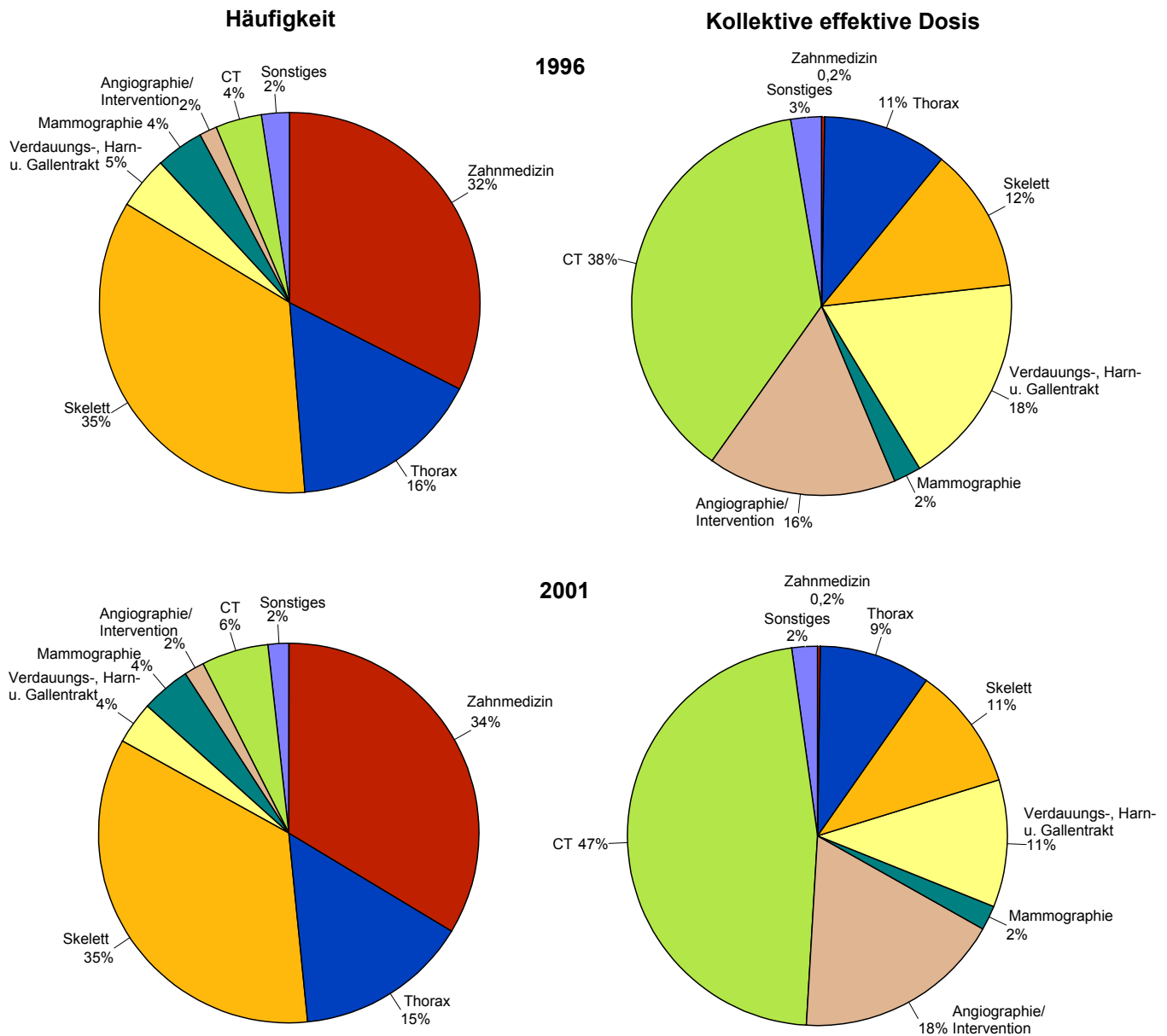
**Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten  
70 ± 5 kg Körpergewicht**

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
<b>Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen</b>	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedermaßen)	0,01 – 0,1
Schädelaufnahme	0,03 – 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 – 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,08
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 – 8
Harntrakt	2 – 5
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 – 2
Arteriographie und Interventionen	10 – 30
<b>CT*-Untersuchungen</b>	
Kopf	2 – 4
Wirbelsäule / Skelett	2 – 11
Brustkorb (Thorax)	6 – 10
Bauchraum (Abdomen)	10 – 25

\* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Abbildung III.14

**Prozentualer Anteil der Röntgenuntersuchungen an der Häufigkeit und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für die Jahre 1996 und 2001**



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 bei einer klinisch induzierten CT-Un-

tersuchung ein daraus resultierendes Risiko für den Patienten in den Hintergrund tritt.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsarten – wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – ermittelt.

Die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland steigt für den beobachteten Zeitraum kontinuierlich von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2001 – also um ca. 2% pro Jahr – an. Der für das Jahr 1997 vom BfS früher abgeschätzte Wert

von 2 mSv stimmt innerhalb der damals angegebenen Unsicherheit von  $\pm 0,5$  mSv mit diesen Werten überein.

Der im Rahmen der aktuellen Auswertung festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch den Anstieg der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bietet aber gerade diese Technik – wie oben bereits dargelegt – einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patienten.

Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten Verlauf (siehe [Abbildung III.13](#)).

## 2.2 Nuklearmedizinische Diagnostik

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

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. 3,9 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1.000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt ([Abb. III.15](#)).

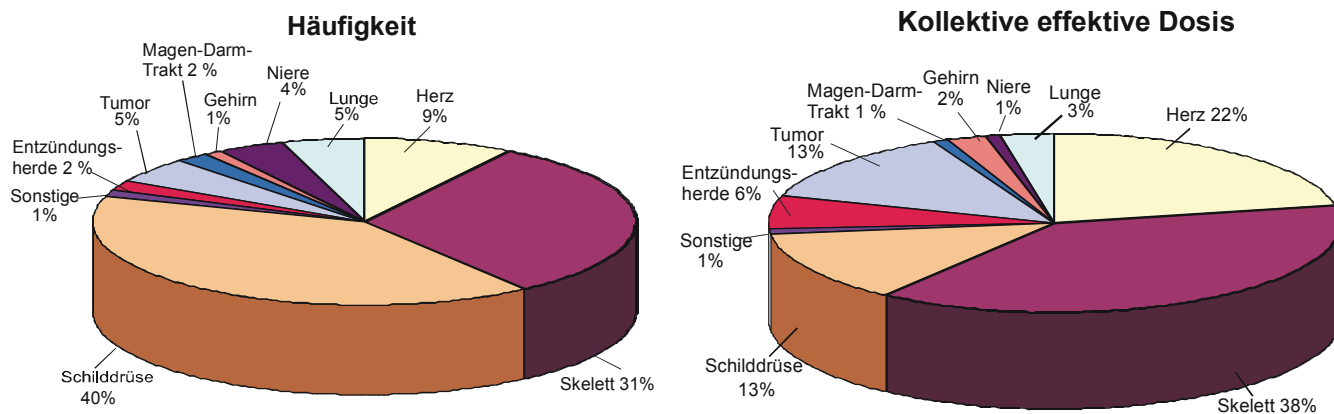
Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 11.300 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,14 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen bestimmen die kollektive effektive Dosis: die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenzintigraphie ([Abb. III.15](#)).

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 muss berücksichtigt werden, dass die Strahlenexposition 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. 1,6–1,8 mSv pro Jahr und Person) ist die Ex-

Abbildung III.15

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



position durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Trotzdem sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte (DRW<sup>1</sup>) 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 Medizinphysik-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 ange-

führt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z. B. Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 2003 wurden größenordnungsmäßig etwa 60.000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d. h. die Behandlung besonders schmerzhafter Gelenkerkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen 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 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

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland sowohl bezüglich der Häufigkeit als auch bezüglich der Dosis im oberen Bereich.

Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich und dem BfS zum Teil auch nicht hinreichend bekannt sind. Darüber hinaus sind die im UNSCEAR-Report 2000 für verschiedene Länder angegebenen Daten zu Häufigkeit und Dosis inkonsistent. Nach aktuellen Daten aus der Literatur ist allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung mit etwa 1,6 mSv in den USA und 2,3 mSv in Japan in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis von 1,8 mSv für **alle** in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen (einschließlich CT, Angiographie und interventioneller Radiologie).

Bei der Bewertung der medizinischen Strahlenexposition muss zudem berücksichtigt werden, dass sich die Dosis sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Zudem handelt es sich bei Patienten typischerweise häufig um ältere Menschen, die eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere Menschen. Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber aufgrund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Leistungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauig-

<sup>1</sup> Die DRW wurden festgelegt auf der Grundlage nationaler und internationaler Empfehlungen sowie nationaler Erhebungen des BfS zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen einschließlich der dabei verwendeten radioaktiven Arzneimittel und deren verabreichten Aktivitäten.

keiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Ein Forschungsvorhaben zur Erhebung von alters- und geschlechtsspezifischen Daten im stationären Bereich wurde in Auftrag gegeben. Abschließende Ergebnisse werden bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet.

### 2.6 Neues Strahlenschutzrecht

Mit Inkrafttreten der neuen StrlSchV im Jahr 2001 und der neuen RöV im Jahr 2002 wurde insbesondere der Strahlenschutz des Patienten wesentlich verbessert. Die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe am Menschen angewendet werden, ist jetzt mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. Weiterhin wurden die Anforderungen an die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz und Kenntnisse der Personen, die ionisierende Strahlen oder radioaktive Stoffe anwenden bzw. entsprechende Untersuchungen am Menschen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind in der Nuklearmedizin wie 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 ungerechtfertigt über den DRW liegen, um dort offensichtlich vorhandene systematische Fehler herauszufinden und zu beseitigen.

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

Die 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.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Die Genehmigung solcher Anwendungen ist Aufgabe des Bundesamts für Strahlenschutz.

#### 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 Tabelle 1 der Anlage III zu § 29 StrlSchV basieren auf einer Individualdosis im Bereich von 10 µSv in einem Jahr. Zusätzlich besteht eine Notwendigkeit zur Berücksichtigung der Kollektivdosis, die aus der Freigabe resultiert. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus den grundlegenden Kriterien für die Anwendung des Artikel 3 der Strahlenschutzgrundnormen der Europäischen Union, auf die auch in Artikel 5, der die grundsätzlichen Aspekte der Freigabe regelt, Bezug genommen wird. Als Schutzziel wurde etwa 1 Personen-Sv in einem Jahr festgelegt. Zur Abschätzung der Höhe der Kollektivdosis wurden probabilistische Modelle entwickelt.

Die Freigabe nach § 29 erstreckt sich auf Stoffe aus der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt, sowie auf entsprechende Anwendungen in der Medizin. Es kann gezeigt werden, dass die höchsten Beiträge zur Kollektivdosis aus dem Abriss kerntechnischer Anlagen resultieren werden. Selbst unter konservativen Annahmen zu Mengen und Aktivitäten freigegebener Stoffe ergeben sich aber für künftige Freigaben Personendosen deutlich unterhalb 1 Personen-Sv 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 2003 insgesamt ca. 314.000, davon waren ca. 242.000 im Bereich Medizin tätig. [Abbildung III.16](#) zeigt den Verlauf seit 1980 für die alten Bundesländer und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Bis einschließlich 1998 ist die Zahl der Überwachten größer als die Zahl der natürlichen Personen, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind. Ab dem Überwachungsjahr 1999 werden durch eine personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen praktisch vollständig 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 2003 betrug 44,4 Personen-Sv. Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die [Abbildung III.17](#). Es ergibt sich rein rechnerisch eine mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten von 0,14 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, dass bei dem größten Teil der Überwachten (ca. 85%) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze der verwendeten Dosi-

meter von 0,05 mSv 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. 75% der Überwachten keine messbare Personendosis (siehe [Abbildung III.18](#)). Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei den kleinen Dosiswerten. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten, die messbare Dosen erhalten haben (ca. 48.000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,92 mSv.

Mit der Absenkung des Jahresgrenzwertes von 50 mSv auf 20 mSv ging auch die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten haben, deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe [Abbildung III.19](#)). Im nichtmedizinischen Bereich sind die Männer (1,5 mSv/a) im Mittel deutlich höher exponiert als Frauen (0,5 mSv/a). Während sich bei den Männern die mittleren Dosen weitgehend gleichmäßig über die Altersgruppen verteilen (ausgenommen Jugendliche), steigt bei den Frauen die mittlere Dosis mit dem Alter leicht an (siehe [Abbildung III.20](#)). Anders sind die Verhältnisse im medizinischen Bereich. Bei Männern und Frauen beträgt die mittlere Jahresdosis jeweils ca. 0,5 mSv/a. Bei den Männern steigt die mittlere Jahresdosis mit dem Alter leicht an. Bei den Frauen ist dieser Anstieg dagegen kaum festzustellen (siehe [Abbildung III.21](#)).

Abbildung III.16

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

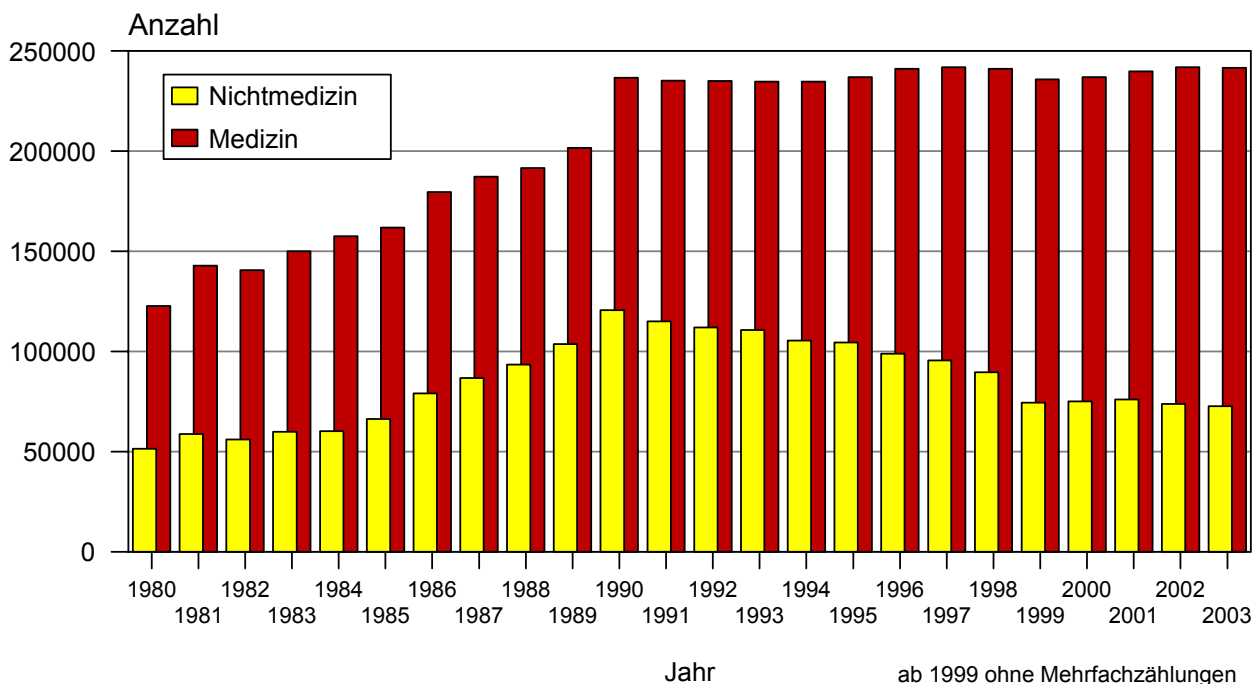
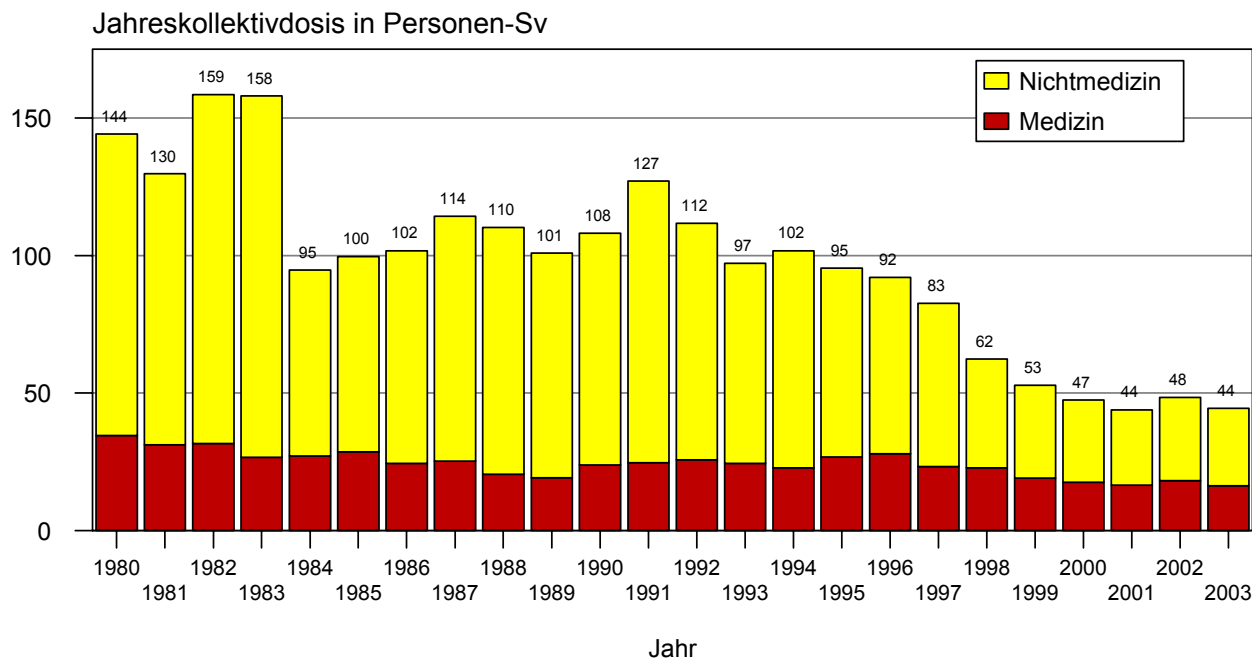




Abbildung III.17

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



Einige Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den [Abbildungen III.22](#) und [III.23](#) enthalten.

#### 4.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analysen ihrer Ausscheidungen überwacht. Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung werden bei den Messstellen gemäß § 42 StrlSchV mindestens 30 Jahre aufbewahrt. Gemäß § 112 StrlSchV sind sie dem Strahlenschutzregister des BfS zu übermitteln. Im Jahr 2002 begannen zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung. Da derzeit erst einige Inkorporationsmessstellen Überwachungsdaten an das Strahlenschutzregister übermitteln, sind die nachstehenden Angaben über die Zahl der inkorporationsüberwachten Personen und ihre Jahresdosen noch unvollständig und auch nicht reproduzierbar. Auf Grund der über-

Tabelle III.4

**Verteilung der Jahrespersonendosen durch  
Inkorporation im Jahr 2003**

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
<b>H = 0</b>	469
<b>0 &lt;H ≤ 0,2</b>	189
<b>0,2 &lt;H ≤ 1,0</b>	6
<b>1,0 &lt;H ≤ 6,0</b>	1
<b>6,0 &lt;H ≤ 20,0</b>	1
<b>H &gt; 20,0</b>	0
<b>Gesamt</b>	666

mittelten Daten konnten Jahrespersonendosen durch Inkorporation für 666 Personen mit einer Personenkollektivdosis von 0,022 Personen-Sv (nur Anteil Inkorporation) für das Überwachungsjahr 2003 berechnet werden. In [Tabelle III.4](#) sind die Ergebnisse zusammengefasst. Überschreitungen von Grenzwerten wurden nicht festgestellt.

Abbildung III.18

**Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2003**

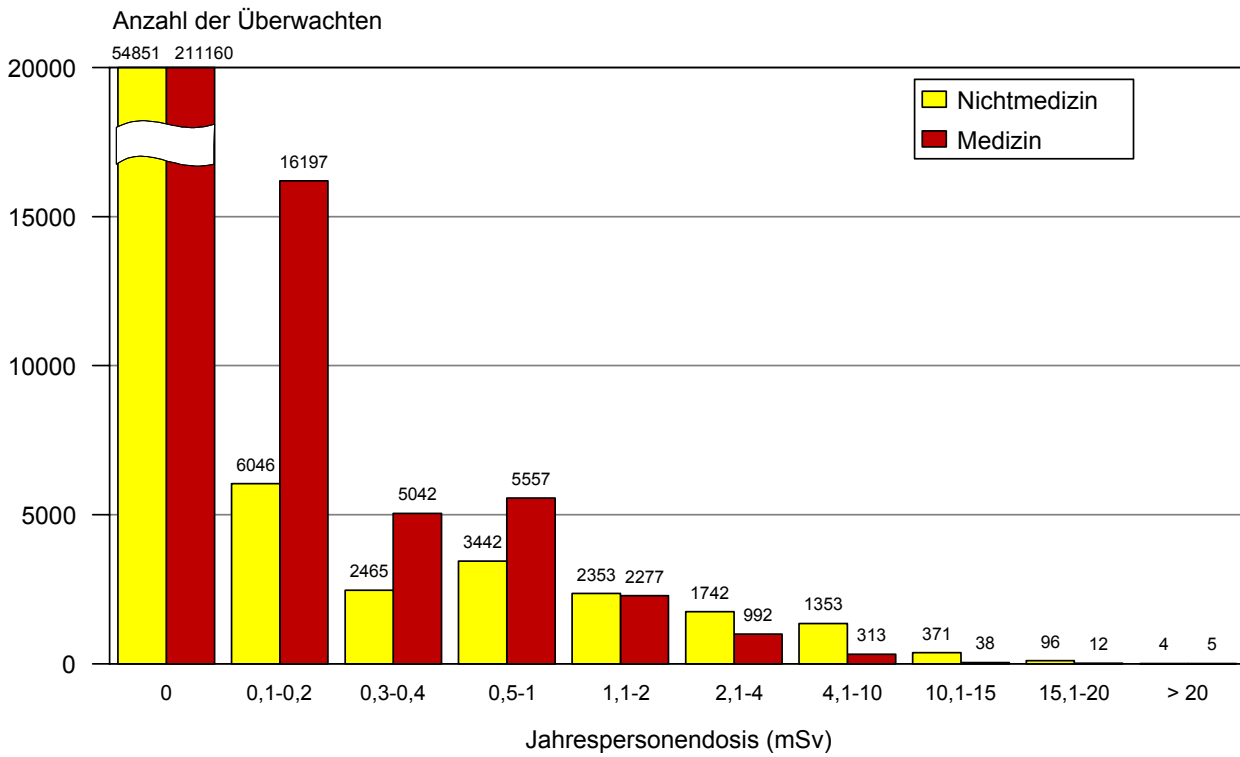


Abbildung III.19

**Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv**

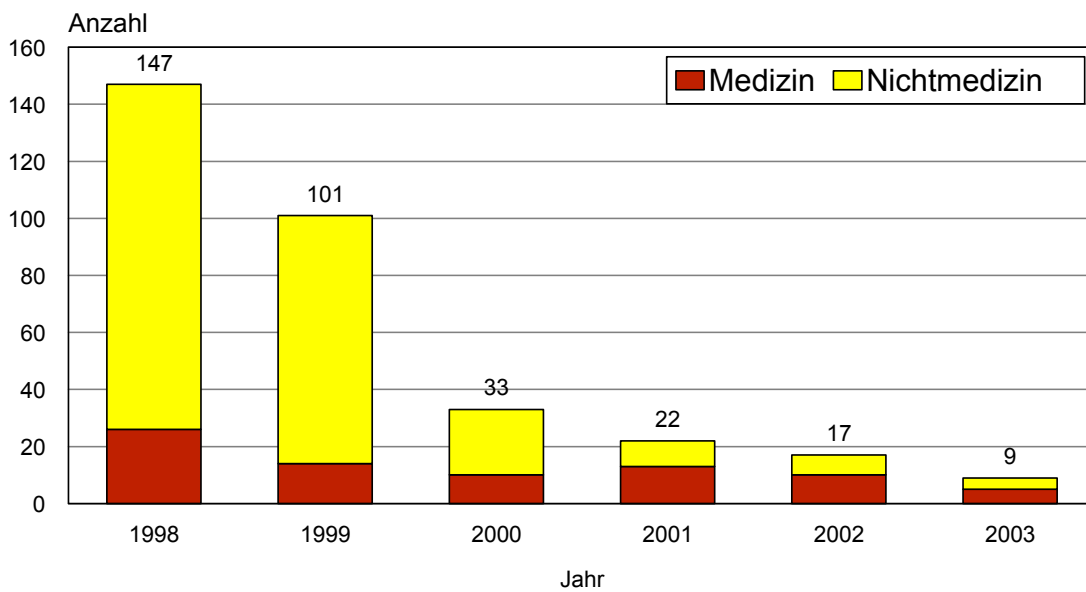


Abbildung III.20

**Mittlere Ganzkörperjahresdosis exponierter Personen im nichtmedizinischen Bereich im Jahr 2003**

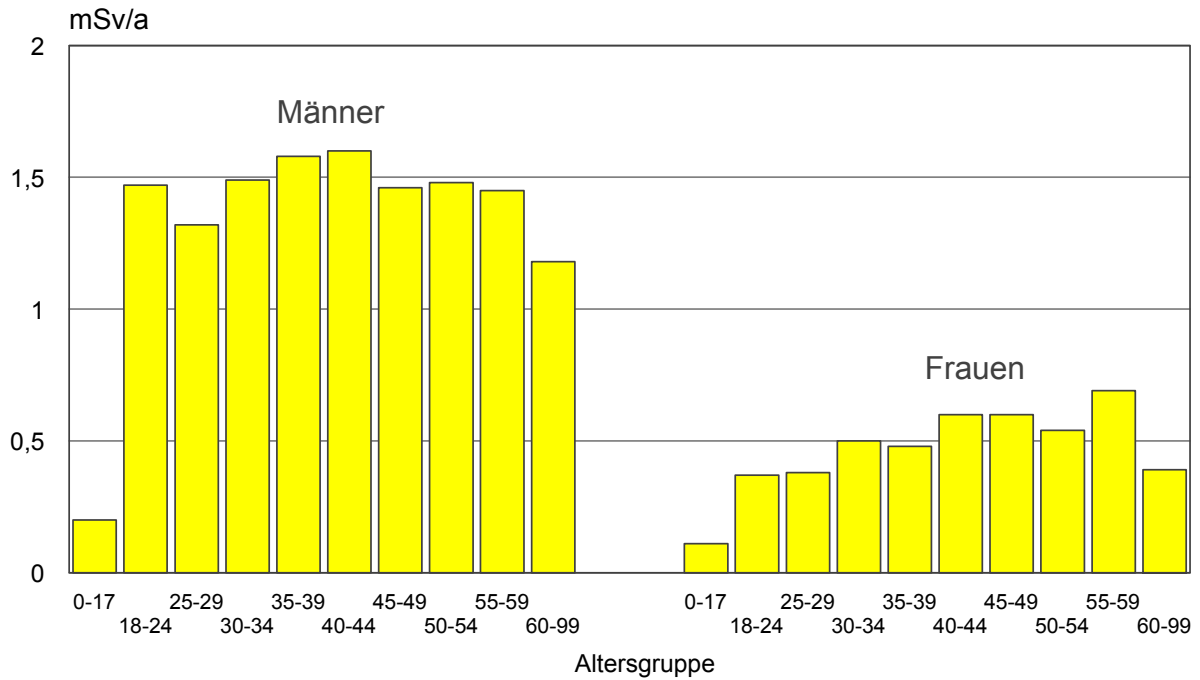


Abbildung III.21

**Mittlere Ganzkörperjahresdosis exponierter Personen im medizinischen Bereich im Jahr 2003**

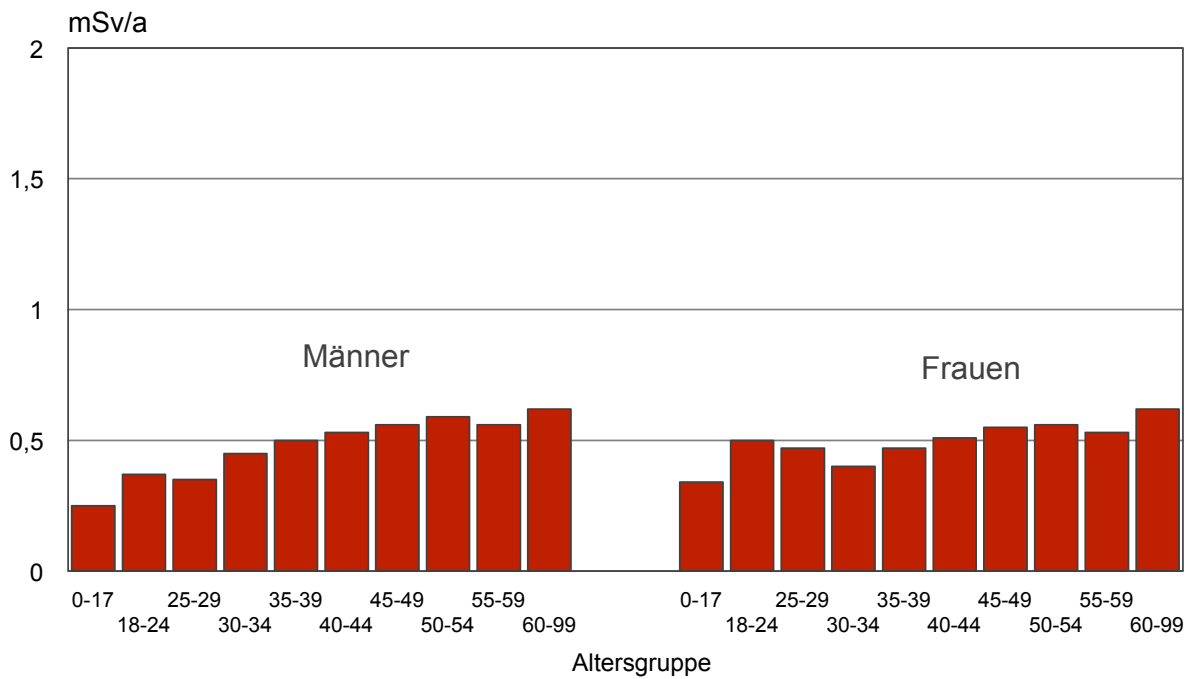


Abbildung III.22

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

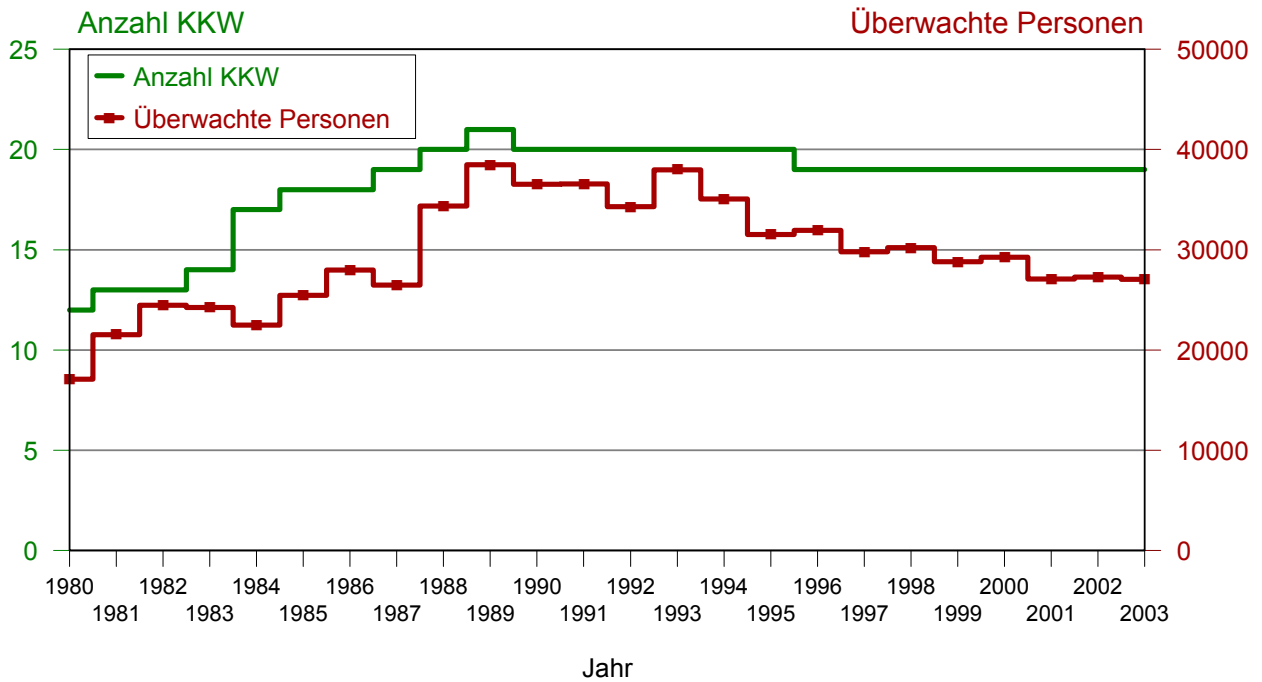
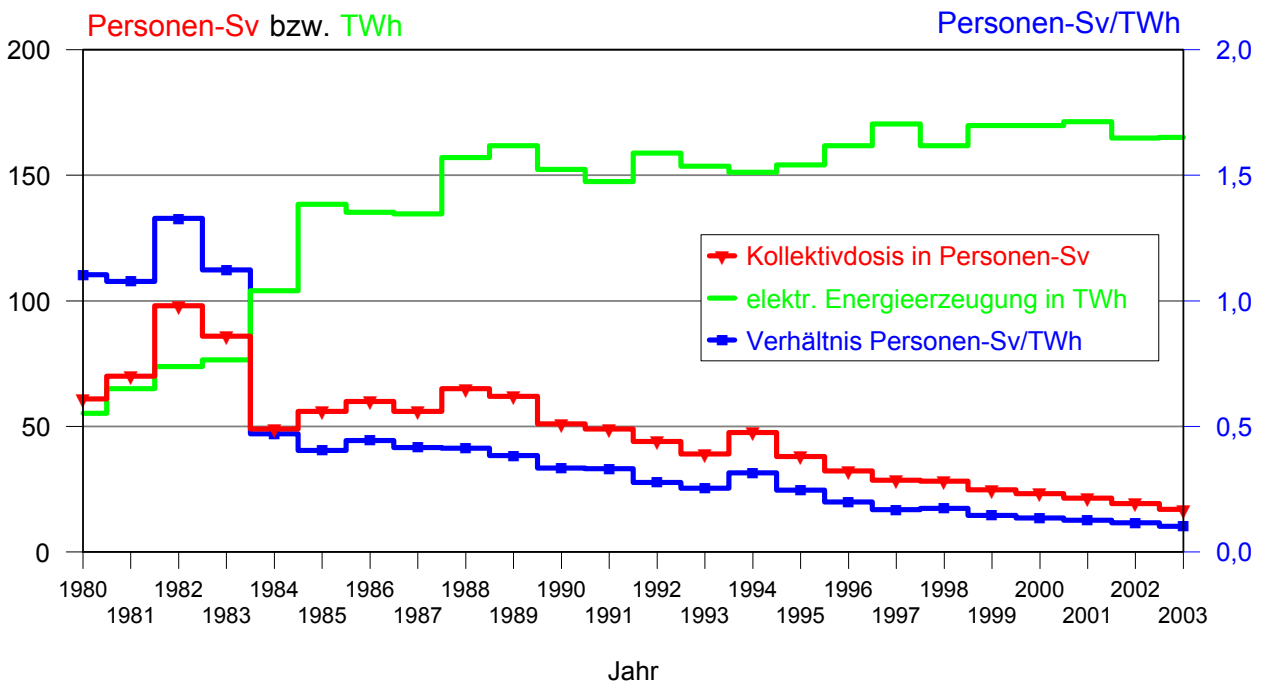


Abbildung III.23

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken



## 5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der StrlSchV und der RöV (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2003 enthält [Tabelle III.5](#). 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. Sie 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.

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

(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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
Juli 2002 (Nachtrag)	Verlust von 16 Ionisationsrauchmeldern Typ BR716 (Am-241 je 29,6 kBq) bei Abbrucharbeiten in einer Klinik	Unzulässige Entsorgung	Keine	Keine, da zulässige Aktivität bei der angefallenen Menge Bauschutt unterschritten
09.09.02 (Nachtrag)	Fund von 30 Schlüsselanhängern mit Tritium-haltigen (H-3 je 17 GBq) Leuchtmitteln in Privatwohnung	Illegale Einfuhr aus dem Ausland und Verkauf über ebay	Keine	Ausschluss von Angeboten mit Schlüsselwörtern aus dem radioaktiven Bereich bei ebay; Strafverfahren gegen Importeur
Januar 2003	Verlust von vier Ionisationsrauchmeldern Typ F600 (Am-241 je 555 kBq) bei Abbrucharbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Keine, da zulässige Aktivität bei der angefallenen Menge Bauschutt unterschritten
10.01.03	Wundkontamination (Alpha-Strahler) eines Mitarbeiters durch Schnittverletzung bei Arbeiten an der Presse in einem Dekontaminationsbetrieb	Verletzung der Hand an der Kante eines mit radioaktivem Material gefüllten Fasses	Wundkontamination nach Dekontamination: 40 Bq Alpha (Pu-238, Pu-239, Pu-241, Am-241); Folgedosen: effektive Ganzkörperdosis 59 mSv, Knochenoberflächendosis 2100 mSv	Dekontamination; besondere arbeitsmedizinische Vorsorge; Festlegung präventiver Maßnahmen
13.01.03	Verlust einer gasgefüllten Tritiumlichtquelle (H-3, 13 GBq) in einem Hub-schrauber	Menschliches Fehlverhalten	Keine	Strahler wurde gefunden; zukünftig Einsatz anderer Notbeleuchtungen
16.01.03	Verlust von drei Schulstrahlenquellen (Cs-137, 185 kBq; Kr-85, 185 kBq; Pb-210, 18,5 kBq) mit Abschirmbehälter in einer Sekundarschule	Diebstahl	Gefährdungspotenzial gering	Polizeiliche Ermittlungen
20.01.03	Fund von leicht kontaminiertem Material (K-40, 1400 Bq/kg; U-238, 320 Bq/kg; Th-232, 240 Bq/kg) bei Ofenabbruch	Unbekannt	Keine	Keine

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
22.01.03	Unfall eines Gefahrguttransportes mit einem radioaktiven Versandstück (Cs-137, 185 MBq)	Unbekannt	Keine, da Versandstück ordnungsgemäß verpackt war	Sichere Bergung von Fahrzeug und Gefahrgut durch die Feuerwehr
28.01.03	Fund erhöhter Aktivitätskonzentration (34 kBq/l) im Lagerbehälter der Abklinganlage eines Krankenhauses	Gestörter Durchfluss aufgrund eines defekten Ablaufventils	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ersatz des defekten Ventils
31.01.03	Fund von kontaminierten Rückständen (Am-241, bis 0,096 Bq/g) bei Reinigungsarbeiten an einer Zinkvitriolanlage	Unbekannt	Keine	Freigabe nach § 29 StrlSchV und ordnungsgemäße Entsorgung als schwermetallhaltiger Abfall
Februar 2003	Verlust eines Ionisationsrauchmelders Typ BR716 (Am-241, 29,6 kBq) bei einer Firma	Unbekannt	Keine	Keine
04.02.03	Fund von kontaminiertem Müll (I-131, 31 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Presscontainer bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.02.03	Vorsehentliche Bestrahlung eines Mitarbeiters mit einem Linearbeschleuniger in einer Praxis	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Keine	Erneute Unterweisung der betroffenen Mitarbeiter
18.02.03	Fund von kontaminierten Produktionsrückständen (Thorium, Radium bis zu 30 Bq/g) bei Aushubarbeiten in 2,5 bis 3 m Tiefe	Im Rahmen des Gutachtens, auf dessen Basis das Gelände freigegeben worden war, war der Boden nur bis in 1,5 m Tiefe untersucht worden	Gering belastete Böden	Erarbeitung eines Sanierungskonzepts für die Rückstände; Abschluss der Sanierungsmaßnahmen voraussichtlich 2004
19.02.03	Fund von Prüfstrahlern (2x Cs-137, 190 kBq und 1,3 kBq; Co-60, 7,4 kBq; C-14, 1,1 kBq; Uran, 10 kBq; Am-241, 350 kBq; Ba-133, 50 kBq; I-129, 9 kBq; Ra-226, 1 kBq) im Strahlertresor einer Klinik	Unterlassene Kontrollen	Keine, da Strahler im Tresor	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.02.03	Fund von kontaminiertem (Ra-226, bis 50 µSv/h an Containeroberfläche) Kupfererz in einem Container bei einer Raffinerie	Unkenntnis	Keine	Ladung vorübergehend gelagert; Rücktransport zum ausländischen Lieferanten
20.02.03	Störung bei Rückholung des Strahlers einer Afterloading-Anlage bei Patientenbehandlung	Unbekannt	Patientendosis ca. 10% zu hoch, 3 beteiligte Mitarbeiter mit Personendosen ≤ 0,1 mSv	Strahler später wieder zurück gefahren; Überprüfung des Gerätes durch den Hersteller



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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
24.02.03	Störung bei Rückholung eines Strahlertuges an einem Gerät für die endovasale Brachytherapie	Fehlfunktion am Gerät	Keine	Abbruch der Prüfung durch den Sachverständigen; Rückgabe an den Hersteller; Austausch des Gerätes
24.02.03	Fund eines Fläschchens mit offenen radioaktiven Stoffen (Co-57, 37 kBq) in einem Personenzug	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Zustellung an den Adressaten
25.02.03	Fehlbedienung am Strahlenschutztor eines Linearbeschleunigers	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Keine	Umrüstung des Bedienpults; erneute Unterweisung des Bedienpersonals
25.02.03	Versehentliche Bestrahlung einer Auszubildenden mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Keine	Änderung der Arbeitsanweisung
25.02.03	Verlust eines Prüfstrahlers (Ra-226, 3,3 kBq) bei einem Lehrmittelhersteller	Menschliches Fehlverhalten	Unbekannt	Nachforschungen bisher ohne Ergebnis
26.02.03	Fund von kontaminiertem Krankenhausmüll (I-131, 20 MBq) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung; Verbesserung der Entsorgung beim Anwender der radioaktiven Stoffe
05.03.03	Fund eines Strahlers (Co-60, 20 µSv/h an Containeroberfläche) im Schrott eines Stahlwerks	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.03.03	Fund von vier Strahlern (2 x Pm-147, 20 Bq und unbekannte Aktivität, 2 x Tl-204, 180 Bq und 70 Bq) in einem Bach	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
10.03.03	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 29,6 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Organisatorische Veränderungen
18.03.03	Verkleben eines Strahlers (Ir-192) in der Strahlerhalterung eines Aufbewahrungsbehälters bei einer Firma	Bruch des Sicherungsstiftes	Exposition eines Mitarbeiters mit 6,3 mSv bei der Bergung	Keine Maßnahmen erforderlich, da Vorkommnis auf einmaligen Materialfehler zurückzuführen ist
02.04.03	Verlust eines Strahlers (Cs-137, 3,7 GBq) aus einer radiometrischen Durchflussmeseinrichtung bei einer Firma	Menschliches Fehlverhalten	Keine	Strahler wurde gefunden; ordnungsgemäße Entsorgung
04.04.03	Störung beim Rückholen des Strahlers (P-32, 6,6 GBq) eines Brachytherapiegerätes bei der Routinekontrolle in einer Forschungseinrichtung	Konstruktionsfehler an einem Geräteteil	Personendosis unauffällig; ggf. erhöhte Handexpositionen (unbekannt, da keine Fingerringdosimeter getragen wurden)	Gerät vorübergehend stillgelegt; Lieferung eines neuen, konstruktiv geänderten Geräteteils durch den Hersteller
09.04.03	Störung bei Rückholung der Neutronenquelle eines Gerätes zur Hohlraumdiagnostik von Betonwänden	Verkleben des Strahlers in einem Hohlraum	Keine	Absperrung des betroffenen Bereiches; Bergung des Strahlers (unversehrt)

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
10.04.03	Fund einer Pillendose mit einem Strahler (Ra-226, 3 MBq) in einem Museum	Unbekannt	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.04.03	Verlust von 13 Ionisationsrauchmeldern Typ F7 (Am-241 je 29,6 kBq) bei Bauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Änderung der Strahlenschutzanweisung; Unterweisung der Mitarbeiter
22.04.03	Versehentliche Fehlbestrahlung einer Patientin mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Menschliches Fehlverhalten (Namensverwechslung)	Gering, da die Bestrahlungsfelder bei der verwechselten Patientin ähnlich sind	Verbesserung der Patientendokumentation mit Fotoverwaltung
22.04.03	Störung des Strahlerverschlusses an einer Telekobaltanlage	In den Strahlerschacht gefallene Gegenstände verhinderten das ordnungsgemäße Schließen des Strahlerschachtes	Gesamte effektive Dosis des Klinikpersonals: < 0,1 mSv	Einbringung einer Folie, die ggf. in den Strahlerschacht fallende Gegenstände auffängt; erneute Sachverständigenprüfung; Information des Herstellers und des BfArM
24.04.03	Verletzung mit kontaminiertem Werkzeug (Pu-238-242; Am-241, 200 Bq) bei Instandhaltungsarbeiten in einer Firma	Menschliches Fehlverhalten	Wundkontamination nach Reinigung durch den Arzt ca. 60 Bq, Folgedosen: effektive Ganzkörperdosis 12 mSv, Leberdosis 69 mSv, Knochenoberflächendosis 453 mSv	Überprüfung des Sachverhalts durch Aufsichtsbehörde; organisatorische Maßnahmen
13.05.03	Fund von kontaminierten Stahlspänen (Co-60 bis zu 20 Bq/g) bei der Annahme von Schrott durch einen Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.05.03	Fund von kontaminiertem Müll (Tc-99m, 0,6 µSv/h an Containeroberfläche) bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.05.03	Fund radioaktiv kontaminierter Werkzeug- und Schrottteile bei einer Maschinenfabrik	Unbekannt	Keine	Rückgabe an den Lieferanten
21.05.03	Wundkontamination (Am-241, 23 Bq; Cs-137, 30 Bq) eines Mitarbeiters durch kontaminierte Metallsplitter in einer kerntechnischen Anlage	Beschädigung des Schutzhandschuhs und Verletzung der Hand bei einem Werkzeugwechsel	Wundkontamination nach Exzision Am-241: 7 Bq, Cs-137: 6 Bq; Folgedosen: effektive Ganzkörperdosis 14,6 mSv, Knochenoberflächendosis 521 mSv	Dekontamination und Wundrandexzision durch Medizinischen Dienst; Festlegung eines reduzierten Grenzwerts für die Knochenoberflächendosis durch Aufsichtsbehörde

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.05.03	Fund von kontaminiertem Müll (In-111, 2 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Presscontainer bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.05.03	Fund von zwei Strahlern (Am-241/Be, 18,5 GBq und 703 GBq) im Edelmetallschrott einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Expositionen in Deutschland < 1 mSv, im Herkunftsland und während des Transports möglicherweise Expositionen > 1 mSv	Einleitung eines Ermittlungsverfahrens; Rücksendung der Strahler
13.06.03	Undichtigkeiten bei Transportfässern mit schwerem Wasser in einer Forschungseinrichtung	Unbekannt	Nach Reinigung nur noch leichte Kontaminationen im Einfüllbereich des Deckels (1,6 Bq/cm <sup>2</sup> ); keine Kontaminationen am Transport-LKW	Sichere luftdichte Lagerung der Fässer; Einbeziehung eines Gutachters
17.06.03	Fund von kontaminiertem Metallschrott (Th-232 max. 13,2 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung von Rückständen aus einem Raffineriebetrieb	Keine	Rücktransport zur Raffinerie; sichere Lagerung; Erarbeitung eines Entsorgungskonzepts
17.06.03	Fund eines Strahlers (Ra-226, 170 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Rohstoffverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.06.03	Entflammen einer Polyethylenstange während der Produktbestrahlung mit einem Elektronenbeschleuniger	Erhitzung durch mechanische Reibung an der Transporteinrichtung	Keine, da die Sicherheitseinrichtungen ordnungsgemäß funktionierten und die Anlage abgeschaltet wurde	Brand wurde gelöscht
20.06.03	Fund eines Briefes mit der Aufschrift „waffenfähiges Plutonium“ bei der Post	Unbekannt	Keine, da kein Plutonium gefunden wurde	Anzeige einer Ordnungswidrigkeit
25.06.03	Versehentliche Bestrahlung einer Auszubildenden mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Gering, da Exposition weit unterhalb der Grenzwerte	Einbau eines Überwachungssystems für Personen
27.06.03	Verlust eines Ionisationsrauchmelders Typ BR910 (Am-241, 29,6 kBq) in einer öffentlichen Tiefgarage	Unbekannt	Keine	Keine

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
30.06.03	Fund eines Strahlers (Kr-85, 80 MBq) aus einem Staubmessgerät im Metallschrott einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verfolgung als Ordnungswidrigkeit; ordnungsgemäße Entsorgung
Juli 2003	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern Typ BR910 (Am-241 je 29,6 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unbekannt	Keine	Keine
10.07.03	Fund von kontaminiertem Hausmüll (Tc-99m, 0,8 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Container bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.07.03	Verlust eines Ionisationsrauchmelders Typ BR716 (Am-241, 29,6 kBq) in einem Landratsamt	Diebstahl	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
22.07.03	Fund von kontaminiertem Hausmüll (I-131, 16 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Container bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.03	Fund eines radioaktiven Strahlers (Ra-226, 1,3 MBq) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.03	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 800 kBq) sowie kontaminierten Transportbehältern in einem Bleischrottkontainer bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung; Festlegung präventiver Maßnahmen beim Anwender der radioaktiven Stoffe
25.07.031	Fund von kontaminierten Bleibehältern (I-131, bis zu 3 kBq/cm <sup>2</sup> ) bei einem Schrotthändler	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verfolgung als Ordnungswidrigkeit
21.08.03	Verlust eines Strahlers (Cs-137, 100 MBq) aus einer Messeinrichtung bei einer Firma	Zerstörung der Messeinrichtung	Unbekannt	Nachforschungen auf dem Betriebsgelände erfolglos; weitere Maßnahmen unbekannt
25.08.03	Fund von radioaktiver Leuchtfarbe in einer Schrottladung bei einer Schrottwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.09.03	Fund einer Schulstrahlenquelle (Cs-137) im Metallschrott einer Sortieranlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.09.03	Fehlerhafte Bestrahlung einer Patientin mit dem Linearbeschleuniger einer Praxis	Menschliches Fehlverhalten	Um 0,6% erhöhte Dosis einer Patientin	Unbekannt
15.09.03	Fund eines Strahlers (Cs-137, 125 MBq) aus einer Füllstandsmessanlage im Metallschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen; ordnungsgemäße Entsorgung
17.09.03	Fehlerhafte Bestrahlung von Patienten bei der Brachytherapie (Ir-192) in einer Praxis seit 1999	Systematischer Fehler bei der Berechnung der Liegezeit für Strahler	Bis zu 15% Überdosierung bei 116 Patienten	Kontrolluntersuchung aller Patienten; Überprüfung durch externen Medizinphysikexperten und ärztliche Stelle; Einleitung eines Bußgeldverfahrens

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
17.09.03	Fund von kontaminiertem Graphitpulver (Uran, natürlich, 1,9 g) bei Sanierungsarbeiten auf öffentlichem Gelände	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.09.03	Fund von kontaminiertem Farbpulver (Ra-226, 0,7 MBq, zur Bemalung von Leuchtzifferblättern) in einem Museum	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.09.03	Brand eines mit einigen Ionisationsrauchmeldern (Am-241, 5-15 kBq) geladenen Kleintransporters)	Unbekannt	Keine, da Wischprüfungen keine Kontamination zeigten	Ordnungsgemäße Entsorgung der teilweise geschmolzenen Ionisationsrauchmelder
17.10.03	Fund von radioaktiv markierten Uhrenzeigern (ca. 100.000 Stück; Ra-226, 8 MBq und H-3, 14,4 MBq) in einem Privathaus	Unkenntnis	Kontamination der Lagerräume im Keller des Hauses des Besitzers	Ordnungsgemäße Entsorgung; Belehrung des Besitzers
28.10.03	Fund eines Strahlers (Ra-226, 148 MBq) in einer Messingschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.10.03	Verlust eines Ionisationsrauchmelders bei Abbrucharbeiten in einem Automobilwerk	Menschliches Fehlverhalten	Keine	Wiederholte Unterweisung der betroffenen Personen; Verbesserung der Früherkennung von ausgefallenen Ionisationsrauchmeldern
28.10.03	Fund eines Strahlers (Kr-85, 2 GBq) in einer Schrottladung bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
28.10.03	Undichtheiten bis zu 800 Bq an drei Strahlern (Cm-244 je 37 GBq) bei einer Firma	Unbekannt	Gering, da keine Verbreitung radioaktiver Stoffe und keine Inkorporation	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.10.03	Fund von eines Strahlers (Kr-85, 8,2 GBq) im Schrott eines Stahlwerks	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücktransport zum Lieferanten; Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
29.10.03	Fund eines vergessenen Prüfstrahlers (Cs-137, 333 kBq) bei einer Feuerwehreinrichtung	Unzulässige Lagerung	Keine	Sichere Lagerung; Rückgabe an Eigentümer
04.11.03	Fund einer Kontrollvorrichtung mit einem Strahler (Ra-226 1,48 MBq) in einem Müllfahrzeug bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
05.11.03	Fund von radioaktiv kontaminiertem Messingschrott (Ra-226, 19,1 MBq), sowie von Leuchtzifferblättern (Ra-226, 8,2 MBq) im Metallschrott bei einer Rohstoffverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.11.03	Störung beim Zurückfahren der Strahlerkette (Sr-90, 3,5 GBq) in einem Gerät für die endovasale Brachytherapie	Behinderung durch einen geknickten Schlauch	Keine	Keine

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	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
18.11.03	Fund eines radioaktiv markierten Leuchtzifferblattes (Ra-226, 1,7 µSv/h an der Oberfläche) im Schrott eines Stahlwerkes	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.11.03	Fund von kontaminiertem Müll (I-131, 1,6 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Container bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
01.12.03	Bruch einer gasgefüllten Tritiumlichtquelle (H-3, 13 GBq) in einem Hubschrauber	Unbekannt	Keine	Zukünftig Einsatz anderer Notbeleuchtungen
01.12.03	Störung beim Zurückfahren der Strahlkette (Sr-90) in einem Gerät für die endovasale Brachytherapie	Unbekannt	Unbekannt	Abholung und Ersatz des Geräts durch Hersteller
02.12.03	Versehentliche Fehlbestrahlung eines Patienten mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Menschliches Fehlverhalten (Verwechslung)	Noch nicht abschließend ermittelt	Überprüfung durch ärztliche Stelle; verbesserte Arbeitsanweisungen
06.12.03	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen leicht kontaminierten Hohlprofils an einem Rollcontainer	Kontaminationsrückstände aus Inkrustationen, die von (bei der Herstellung von Containern verwendeten) gebrauchten Rohren aus der Erdölindustrie stammen	Keine	Abtrennung und ordnungsgemäße Entsorgung der kontaminierten Teile
09.12.03	Unfall eines Gefahrguttransporters mit leicht radioaktiven Stoffen (Kupfererz)	Menschliches Fehlverhalten	Keine, da kein radioaktives Material freigesetzt wurde	Keine
11.12.03	Fund eines aktivierten Stückes Federstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ermittlungen des Landeskriminalamtes
13.12.03	Fund von kontaminiertem Müll (I-131, 1,6 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Container bei einem Entsorgungsbetrieb	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.12.03	Versehentliche Bestrahlung einer Mitarbeiterin mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Verstoß gegen Bedienvorschriften	Noch nicht abschließend ermittelt	Einbau eines Überwachungssystems für Personen



## 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 2003 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 39 Jahren stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

## IV. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2003 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 ca. 65% 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 Radiocäsium 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 radio-

aktiver 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 pro Kilogramm Frischmasse zu verzeichnen.

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten auch weiterhin häufig den Grenzwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens 45 Wildschweine und 61 Rehe aus dem Bayerischen Wald analysiert ([Abbildung IV.1 und IV.2](#)). Das Untersuchungsgebiet zählt zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

Die Messungen ergaben bei Wildschweinen spezifische Aktivitäten zwischen 190 Bq/kg und 15.000 Bq/kg für Cäsium-137 in Muskelfleisch. Der Mittelwert lag bei 3.900 Bq/kg. Die Messwerte für Rehe lagen zwischen 6 Bq/kg und 1.500 Bq/kg (Mittelwert 500 Bq/kg). Während bei Rehen eine hochsignifikante Abnahme der Cäsium-137-Kontamination seit 1987 zu verzeichnen ist, ist die Kontamination von Wildschweinfleisch bei hoher Streuung der Einzelwerte gleich geblieben.

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 dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cäsium-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 der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt.

Abbildung IV.1

**Cs-137-Messwerte von Wildschweinen  
(Untersuchungsgebiet Bayer. Wald, 1987–2003)**

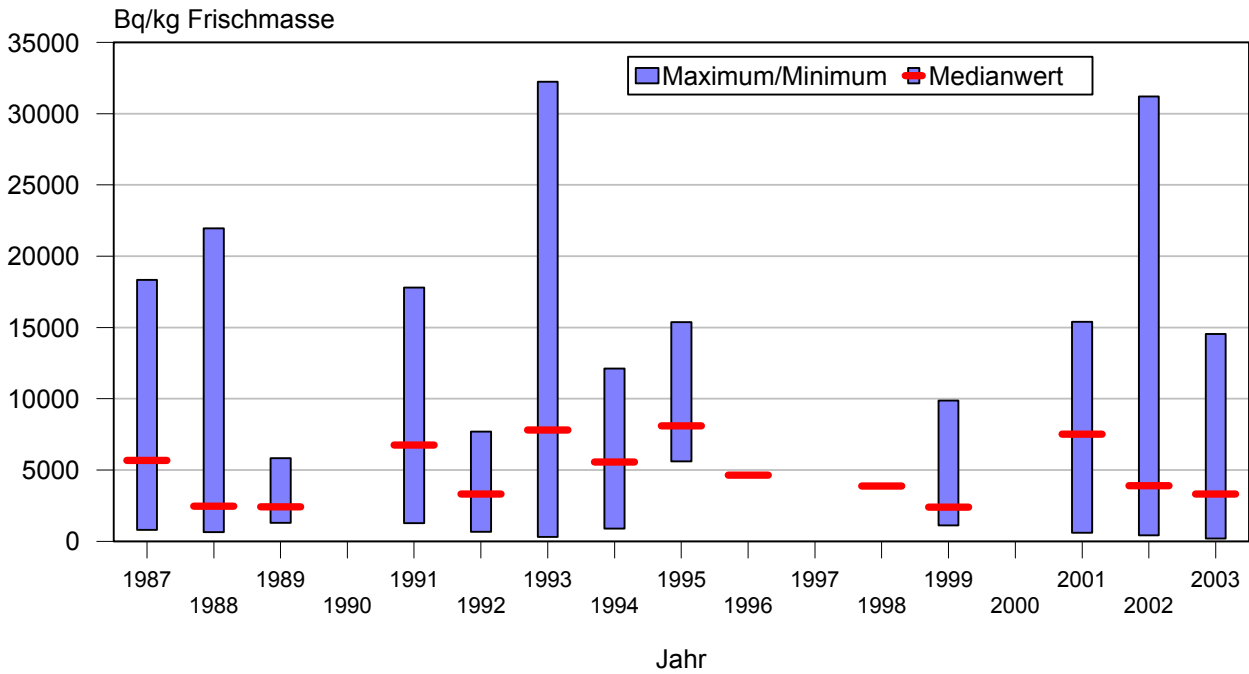
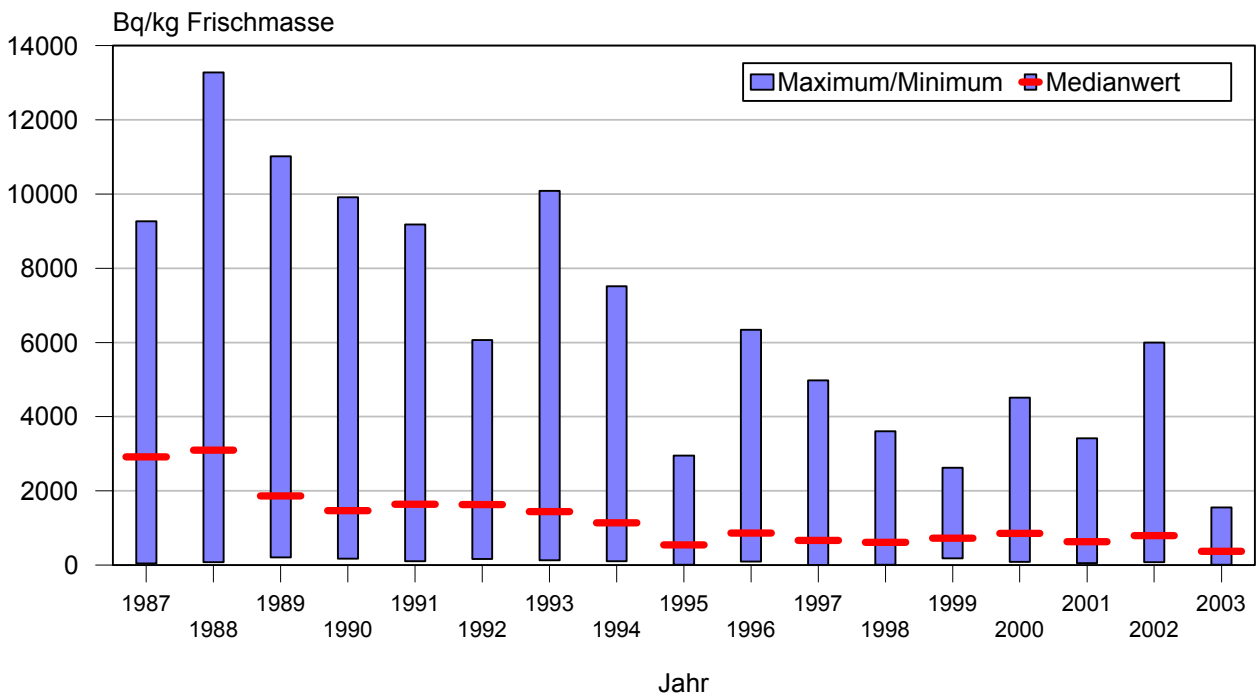


Abbildung IV.2

**Cs-137-Messwerte von Rehen  
(Untersuchungsgebiet Bayer. Wald, 1987–2003)**



## 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 mehr als 20.000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bilden die Grundlagen der bestehenden Grenzwerte. Neben den wissenschaftlich gut dokumentierten gesundheitlichen Schädigungen *oberhalb* der Grenzwerte existieren auch einzelne Hinweise zu möglichen biologischen 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 eine ganzheitliche Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Die bislang sowohl national als auch international durchgeführten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder 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, initiiert und koordiniert das BfS im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben. Der Vollständigkeit halber werden zusätzlich zur Auflistung dieser Projekte im Folgenden weitere Forschungsvorhaben erwähnt, die im nieder- und hochfrequenten Bereich von anderen Bundesministerien vergeben werden.

In der Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber von 2001 "Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetze" haben die Mobilfunkbetreiber zugesagt, auf der Basis eines unabhängigen Gutachtens die Bundesregierung mindestens einmal jährlich über die Erfahrungen mit der Selbstverpflichtung zu informieren. Das für das Jahr 2003 vorgelegte Gutachten, das vom Beratungsunternehmen B.A.U.M. Consult und dem Deutschen Institut für Urbanistik erstellt worden ist, bescheinigt den Mobilfunkbetreibern und den Kommunen insbesondere bei den Fragen der Standortsuche für

Mobilfunkbasisstationen ein hohes Maß an Kooperations- und Konsensbereitschaft. Nach wie vor bleibe es jedoch zu oft dem Zufall überlassen, wie die Bürgerinnen und Bürger über die Standortauswahl für die Mobilfunkstationen informiert würden. Die Betreiber haben zugesagt, Verfahrensabläufe anhand bisheriger Good Practice-Beispiele zusammen zu stellen, die insbesondere kleineren Gemeinden ggf. als Hilfestellung dienen können.

Nach Feststellung der Gutachter sind die Mobilfunkbetreiber ihrer Zusage, die Verbraucher besser über die Strahlungswerte der Handys zu informieren, grundsätzlich nachgekommen. Allerdings sei entsprechendes Informationsmaterial in den Verkaufsstellen kaum verfügbar oder das Verkaufspersonal nicht entsprechend informiert. Die Betreiber haben hier Nachbesserung zugesagt.

## 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. Nach Abschluss der Messreihen wurde 2003 mit der Auswertung der Daten begonnen. Abschließende Ergebnisse werden für 2004 erwartet.

Ein weiteres Forschungsprojekt mit dem Titel „Verifizierung des veränderten Wachstumsverhaltens von verschiedenen Brustkrebszelltypen *in vitro* unter Magnetfeldeinfluss mit verschiedenen Onkostatika“, beschäftigt sich mit der Hypothese, dass niederfrequente Magnetfelder mit Intensitäten, die weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen, den Verlauf einer Brustkrebserkrankung negativ beeinflussen könnten. Als Wirkungsmechanismus wird die Hemmung der onkostatistischen Wirkung von Melatonin (einem Hormon, das vom Tagesrhythmus abhängig produziert wird) durch diese Magnetfelder diskutiert. Die Untersuchung wird an menschlichen Brustkrebszellen durchgeführt. Abschließende Ergebnisse werden für 2004 erwartet.

Ein Forschungsvorhaben im Bereich der niederfrequenten Felder beschäftigt sich mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. In der Studie mit dem Titel „Machbarkeitsstudie – Verifizierung der Beschwerden 'Elektrosensibler' vor und nach einer Sanierung“ soll zunächst geklärt werden, ob und unter welchen Voraussetzungen eine Studie durchgeführt werden kann, bei der die Beschwerden Elektrosensibler quantifiziert und objektiviert werden können. Das Erscheinen des Abschlussberichtes ist für 2004 angekündigt.

### Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2003 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte ([www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html](http://www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html)). Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört neben der Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition u.a. auch die Intensivierung und Koordinierung der Forschung.

Um die wichtigsten Forschungsschwerpunkte zur Thematik „Wirkung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ zu identifizieren und zu diskutieren, fand im Juni 2001 im Bundesamt für Strahlenschutz ein Fachgespräch unter breiter Beteiligung von Wissenschaftler/innen, Behördenvertreter/innen und Vertreter/innen verschiedener Organisationen statt<sup>2</sup>.

Auf der Basis der Ergebnisse dieses Fachgesprächs wurde das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) ausgearbeitet, das im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans des Bundesumweltministeriums durch das BfS umgesetzt und koordiniert wird. Seit 2002 bis voraussichtlich 2006 werden zum Thema „Mobilfunk“ Forschungsvorhaben aus den Bereichen „Biologie“, „Dosimetrie“, „Epidemiologie“ und „Risikokommunikation“ durchgeführt. Dabei sind die Themen bewusst breit gefasst und gehen z.T. über die derzeit genutzten Mobilfunkfrequenzen hinaus. Ziel ist es, grundsätzliche biologische Wirkungen und Mechanismen von schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wissenschaftlich belastbar nachzuweisen und deren gesundheitliche Relevanz unter Einbeziehung internationaler Forschungsergebnisse abzuschätzen. Es wird angestrebt, dass die Ergebnisse Aussagen für den gesamten Bereich der Telekommunikation und möglichst auch für zukünftige Entwicklungen zulassen.

Um das DMF transparent für die Öffentlichkeit darzustellen, richtete das BfS ein Internet-Portal mit der Adresse [www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de](http://www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de) ein. Hier wird das Gesamtprogramm beschrieben, eine Übersicht über vergebene, in Vorbereitung befindliche bzw. geplante Forschungsvorhaben im Rahmen dieses Programms unter Angabe des Themas, der Laufzeit und einer Kurzbeschreibung gegeben, die jeweiligen Zwischen- und Abschlussberichte der einzelnen Forschungsprojekte zeitnah eingestellt. Neben aktuellen Informationen für potenzielle Forschungsnehmer werden hier z. B. auch bevorstehende Fachgespräche angekündigt. Um sich grund-

legend über das Thema Mobilfunk informieren zu können, sind Web-Adressen weiterer mit dieser Thematik beschäftigten Institutionen aufgelistet.

In der Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber von 2001 „Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt-, und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetz“ wird unter Punkt III „Maßnahmen der Mobilfunkbetreiber – 3. Forschungsförderung“ erwähnt, dass die Mobilfunknetzbetreiber sich verpflichten, die Forschungsförderung auf dem Gebiet elektromagnetischer Felder zu intensivieren. Sie haben jeweils anteilig für den Zeitraum 2002 bis 2005 insgesamt 8,5 Mio. Euro zur Verfügung gestellt. Mit diesen Mitteln wird das Forschungsprogramm des Bundesumweltministeriums unterstützt, das im betreffenden Zeitraum mit den gleichen Mittelvolumen ausgestattet ist. Nachdem die zugesagte finanzielle Unterstützung der Forschung verbindlich dem DMF zugeschrieben wurde, und somit das DMF mit insgesamt 17 Mio. Euro gefördert wird, konnte das Programm fachlich erweitert werden. Hierzu wurden im April 2003 vom BfS Vorschläge für weitere Forschungsvorhaben ausgearbeitet und der SSK zur Stellungnahme vorgelegt.

Erstmalig wurde in diesem Zusammenhang eine Konsultation der Öffentlichkeit über das Internet durchgeführt. Hierzu wurden die Vorschläge des BfS bezüglich neuer Forschungsprojekte zusammen mit der dazu erfolgten Stellungnahme der SSK ins Netz gestellt und die Öffentlichkeit zur Kommentierung dieser Vorschläge aufgerufen. Ziel war es, eine möglichst breite fachliche Meinung in die weitere Gestaltung des DMF einfließen zu lassen. Alle substanziellen Kommentare, die zum Gesamtprogramm, seinen Inhalten, Prioritäten und evtl. erforderlichen Modifikationen und Ergänzungen abgegeben wurden, sind auf den Web-Seiten des DMF publiziert.

Am 25. September 2003 fand das 2. Fachgespräch mit dem Thema „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ im Rathaus Berlin Schöneberg statt. Das Fachgespräch diente der Vorstellung der neu formulierten Projektvorschläge, sowie der abschließenden fachlichen Diskussion des DMF und seiner Inhalte. An dem Fachgespräch nahmen Vertreter aus Staat, Wissenschaft, Wirtschaft sowie Umwelt- und Verbraucherverbänden teil. Die Projekte in den einzelnen Teilbereichen wurden vorgestellt und das Spektrum der eingegangenen Kommentare aus der Öffentlichkeitsbeteiligung dargestellt. Die Themen, bei denen ein Konsens aus BfS-Vorschlag, SSK-Stellungnahme und öffentlichen Kommentaren fehlte, wurden zur Diskussion gestellt. Zusätzlich wurden die Teilnehmer gebeten, eine begründete Prioritätensetzung zu den vorgeschlagenen Projekten abzugeben. Die Auswertungen aller Komponenten der Entscheidungsfindung erfolgte in einem BfS-internen Fachgespräch am 23. Oktober 2003 und führten zur Festlegung des Gesamtprogramms, das auf den Internetseiten des DMF ([www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung](http://www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung)) einzusehen ist. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die im Jahr 2003 vergebenen bzw. geplanten Forschungsprojekte des DMF.

<sup>2</sup> Das Ergebnis dieses Fachgesprächs (BfS-Schrift 25/2002) kann gegen Kostenerstattung beim Wirtschaftsverlag NW/Verlag für neue Wissenschaft GmbH (Bürgermeister-Smidt-Straße 74-76, 27568 Bremerhaven; [www.nw-verlag.de/ns/index.htm](http://www.nw-verlag.de/ns/index.htm)) bestellt werden.

Tabelle 1

**Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Stand: Dezember 2003)**

<b>Thema</b>
<b>Biologie</b>
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie A. Demodulation / Kommunikation
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie B. Pinealdrüse
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie C. Funktionen
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 A. Langzeituntersuchungen
<i>In vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation B. Kanzerogenese
<i>In vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation C. Blut-Hirn-Schranke
Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
Kurz- und mittelfristige Effekte durch GSM- und UMTS- Signale auf Gehirnfunktion und kognitive Leistungsfähigkeit
Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern ( <i>in vivo</i> )
Einfluss von GSM und UMTS-Signalen auf isoliertes menschliches Blut A. Genotoxizität (Beteiligung an internationalen Ringversuchen)
Einfluss von GSM und UMTS-Signalen auf isoliertes menschliches Blut B. Differenzielle Genexpression
Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane A. Das Hörsystem
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane B. Das visuelle System
Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z.B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen
Wirkungsmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf molekularer, subzellulärer und zellulärer Ebene
Brustkrebs und HF-EMF
<b>Dosimetrie</b>
Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren

noch Tabelle 1

**Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Stand: Dezember 2003)**

<b>Thema</b>
Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen
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
Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter
Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN – Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
Erhebung und Auswertung von tatsächlichen, personenbezogenen HF-Expositionsdaten in einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe
Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
Untersuchung der Möglichkeiten zur Minimierung der HF-Exposition der Bevölkerung durch regionale integrierte Netzplanung
Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern
<b><i>Epidemiologie</i></b>
Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hochexponierter (Berufs)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen
Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)
Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
Epidemiologischen Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
Prospektive Kohortenstudie unter Handynutzern
Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
Handynutzung und funktionelle Störungen
<b><i>Risikokommunikation</i></b>
Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen
Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information



noch Tabelle 1

### Forschungsprojekte des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Stand: Dezember 2003)

Thema
Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen
Ergänzende Informationen über Elektrosensible
Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen
Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat bis März 2003 unter dem Akronym *miniWatt* das Vorhaben „Alternative Funksysteme mit minimaler Strahlungsleistungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk und drahtlosen LANs“ durchgeführt. Dieses Projekt hatte zum Ziel, umfassende Untersuchungen bezüglich des Potenzials zur Senkung der Exposition durch neue Technologien beim Mobilfunk, in der Bürokommunikation und beim digitalen Rundfunk durchzuführen. Eine Hauptaussage, die aus den Ergebnissen gezogen werden konnte ist, dass in Zukunft auch bei wachsender Bedeutung der mobilen Kommunikation die elektromagnetische Exposition der Bevölkerung im Mittel auf dem heutigen Niveau gehalten werden kann. Die im Abschlussbericht aufgeführten Emissionsdaten stellen eine grobe Abschätzung der realen Werte dar. Es fehlen eine Berechnung der Summen-Sendeleistungsdichten und der Nahfeld-Spitzenfeldstärken im Bereich des Kopfes beim Handytelefonat und Konzepte zur Ausparung von Mobilfunk- und ggf. Rundfunkversorgung in bestimmten Bereichen. Deshalb ist zur Erweiterung und Absicherung der bisherigen Ergebnisse für das Jahr 2005 ein Vorhaben *miniWatt II* geplant.

Die Forschungsempfehlungen von *miniWatt* werden bei den Fördervorhaben „Systemkonzept 3GET“ und „Systemkonzept WIGWAM“ umgesetzt. Bei einer Gesamtfördersumme für 3GET und WIGWAM von rund 20 Mio. Euro beziffert sich der finanzielle Beitrag des BMBF zur Erforschung expositions-mindernder Funktechniken in den Jahren 2002 bis 2005 auf ca. 7 Mio. Euro. Die Förderungen in Bezug auf immissionsmindernde Technologien sind in [Tabelle 2](#) aufgeführt. Weitere Informationen sind auf der Internetseite [www.forschung.bmbf.de](http://www.forschung.bmbf.de) zu finden.

In der Zuständigkeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) werden im Bereich „Mobilfunk“ Anwendungsprojekte basierend auf den verfügbaren Technologien durchgeführt. Um für die Öffentlichkeit ein verständliches Informations-Tool zu schaffen, eröffnete das BMWA im November 2003 ein Internetportal zu elektromagnetischer Verträglichkeit in Mobilfunkfeldern.

Unter [www.mobilfunk-information.de](http://www.mobilfunk-information.de) kann sich die Öffentlichkeit über Effekte der elektromagnetischen Verträglichkeit in Mobilfunkfeldern informieren.

Tabelle 2

### Förderung immissionsmindernder Technologien

Thema
Leitinnovation Mobile Internet – 3GET (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Entwurf von Mehrträger-Mobilfunksystemen mit kooperativen, verteilten Antennen
Leitinnovation Mobile Internet – 3GET (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Multistandard-Architekturen für blockbasierte Kodierungsverfahren – MARCOV I
Leitinnovation Mobile Internet – 3GET (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Multistandard-Architekturen für blockbasierte Kodierungsverfahren – MARCOV II
Leitinnovation Mobile Internet – 3GET (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Konzeption, Entwicklung und Analyse neuartiger Funkzugangstechniken für die Evolution der Mobilfunksysteme der dritten Generation
Leitinnovation Mobile Internet – WIGWAM (Wireless Gigabit with Advanced Multimedia Support) – Teilvorhaben: Breitbandige HF-Funkübertragung mit Hilfe von Kompensations- und Adaptionstechniken im Basisband

## 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 in den Jahren 2001/2002 durchgeführt. Das Bundesamt für Strahlenschutz beauftragte im Herbst 2003 das Institut für angewandte Sozialwissenschaften (INFAS) mit der Durchführung der zweiten Umfrage. Die Erhebung baut auf der ersten Umfrage von 2001 auf. Zusätzlich zu der repräsentativen Stichprobe wurde eine Gruppe von Nur-Mobilfunk-Nutzern befragt. Die zweite Umfrage ergab, dass sich die Stimmungslage in der Bevölkerung hinsichtlich Besorgnis und Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder, die von Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlosen Festnetztelefonen ausgehen, in den letzten zwei Jahren nicht wesentlich verändert hat: Die Besorgnis verringerte sich gegenüber

dem Jahr 2001 von 35% auf 31%, als beeinträchtigt bezeichnen sich 8% der Befragten gegenüber 6% in 2001. Beide Veränderungen liegen noch im Bereich der statistischen Schwankungen – ein Trend wird ggf. frühestens nach der Befragung im Herbst 2004 erkennbar sein. Weitere Ergebnisse und Zusammenhänge zwischen soziodemografischen Merkmalen sowie Merkmalen der Handy-Nutzung und der Wahrscheinlichkeit, der Gruppe der Besorgten anzugehören, können in dem Ergebnisbericht der Umfrage 2003 nachgelesen werden, der im Internet unter [www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation\\_verg/risiko\\_verg\\_021.html](http://www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_verg_021.html) veröffentlicht ist.

Diese Umfrage wird im Rahmen des DMF 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. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurden.

Mit der Vergabe des Umweltzeichens ist der RAL e.V. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., gegründet 1925) beauftragt. Auch im Jahr 2003 weigerten sich die Hersteller, das Umweltzeichen anzunehmen, so dass kein „Blauer Engel“ vergeben wurde. Vom BfS gemessene SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys finden sich unter [www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html](http://www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html).

### 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 ortsfeste 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 im Verfahren 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 während des Betriebes die Gewährleistung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern überprüft.

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung ([emf.regtp.de/GisInternet/StartFrame.aspx?User=1000&Lang=de](http://emf.regtp.de/GisInternet/StartFrame.aspx?User=1000&Lang=de)). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen, für die die RegTP eine Standortbescheinigung erteilt, möglich. Die RegTP schreibt dazu: „Die EMF-Datenbank ist mehr als eine kartographische Darstellung von Standorten von Funkanlagen und EMF-Messreihen der Regulierungsbehörde. Sie bildet darüber hinaus eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Zu diesem Zweck wurde von der RegTP eigens eine Messvorschrift erstellt und mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Mit dieser gemeinsamen Messvorschrift wurde in Deutschland erstmals ein einheitlicher Qualitätsmaßstab für EMF-Messungen eingeführt. Feldstärkemessungen, die diesem Qualitätsmaßstab entsprechen, lassen sich nun miteinander direkt vergleichen und entsprechen sowohl den europäischen als auch den nationalen Anforderungen zur Bewertung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern. Um diesen Qualitätsanspruch zu gewährleisten, werden neben den Messreihen der RegTP nur die von Landesumweltministerien beauftragten EMF-Messreihen in die EMF-Datenbank aufgenommen. Mit der EMF-Datenbank ergänzt die Regulierungsbehörde ihr bisheriges EMF-Monitoring. Sie setzt damit eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission aus dem September 2001 um, wonach relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien.“

Im Rahmen ihrer Selbstverpflichtung vom Dezember 2001 „Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetze“ haben die Mobilfunknetzbetreiber 1,5 Mio. Euro zur Unterstützung eines bundesweiten EMF-Monitorings als Beitrag zum Risikomanagement zur Verfügung gestellt. Die Länder haben im Länderausschuss für Immissionsschutz Konzeptvorstellungen für ein bundesweites Monitoring hochfrequenter elektromagnetischer Felder entwickelt und darum gebeten, diese in die weiteren Planungen für ein bundesweites Konzept einfließen zu lassen. Unter Einbeziehung dieser Konzeptvorstellungen hat die RegTP für Telekommunikation und Post ein Fachkonzept bezüglich Entwicklung, Aufbau und Betrieb eines stationären Messsystems zur Überwachung von Immissionen von Mobilfunk-Sendeanlagen erstellt. Die Ergebnisse auf diesem Monitoring-System sollen in die EMF-Datenbank der RegTP integriert und mittels dieser Datenbank allen zuständigen Behörden zugänglich gemacht werden. Die Finanzierung des von der RegTP vorgeschlagenen Messsystems soll mit den

von den Mobilfunknetzbetreibern zur Verfügung gestellten Mitteln erfolgen.

## UV-Strahlung

### 1. Forschung

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Im Jahr 2003 wurden deshalb Forschungsvorhaben im Bereich UV durch das BfS betreut, die die unterschiedlichen Entstehungsmechanismen von Hautkrebs auf Grund erhöhter UV-Bestrahlung näher beleuchten (Tabelle 3).

Tabelle 3

#### Forschungsvorhaben zum Thema UV

Thema
Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs
Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses – Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko
Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs – Teilprojekt 1: "Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie"

Im Rahmen des Projektes „Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs“ werden Erkenntnisse über die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses erweitert. Unter anderem wird versucht, Faktoren für die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Personen gegenüber UV-induziertem Hautkrebs wie z.B. die Pigmentierung der Haut, unterschiedliche Reparaturkapazitäten der Zellen und immunologische Parameter näher zu charakterisieren. Abschließende Ergebnisse werden für 2004 bzw. 2005 erwartet.

Das Projekt „Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses – Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko“ hat zum Ziel, weitere Einsichten in die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses zu erlangen. Es soll untersucht werden, welchem Zelltyp die sogenannten schwer geschädigten Zellen (SGZ), die sowohl nach akuter Bestrahlung mit höheren Dosen als auch nach chronischer Bestrahlung mit suberythematischen Dosen in der Haut auftreten, zuzuordnen sind. Außerdem sollen die Reparaturkapazität der Zellen und das individuelle Hautkrebsrisiko zu verschiedenen Rahmenbedingungen (vorausgehende Sonnenbrände, Freizeitverhalten, Hauttyp, Immunsystem etc.) in Beziehung gesetzt werden. Ein Marker für die vorliegende UV-

Schädigung der Haut und für das individuelle Hautkrebsrisiko soll charakterisiert werden. Abschließende Ergebnisse werden für 2005 erwartet.

Das Forschungsvorhaben „Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs – Teilprojekt 1: Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie“ dient dazu, Daten zu erheben und Erkenntnisse zu gewinnen, die es ermöglichen, aus den Messergebnissen des solaren UV-Messnetzes die tatsächlich auf den Menschen auftreffende UV-Belastung abzuschätzen und Korrelationen zwischen der gemessenen bodennahen UV-Strahlung und den personenbezogenen Bestrahlungsdosen herzustellen.

### 2. 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:

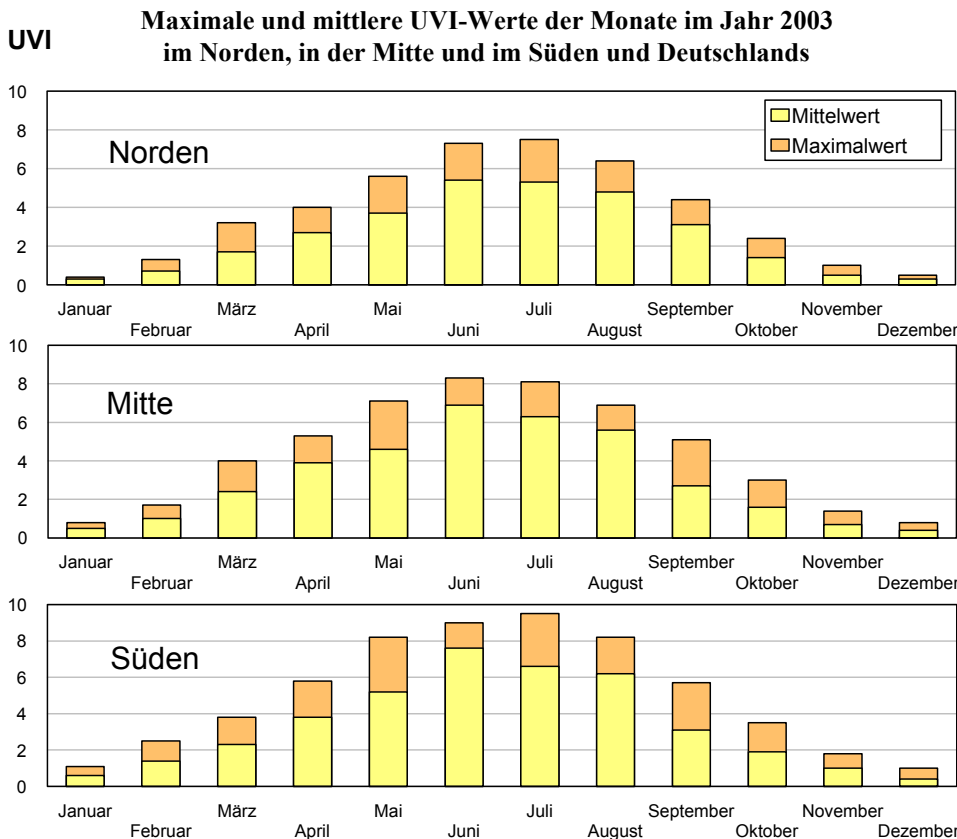
- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung
- Prüfungsvorschriften
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter

Zur Akkreditierung hatten sich im Jahr 2003 sieben Betriebe angemeldet. Als Firma wurde 2003 die Heraeus Noblelight GmbH (Hanau) als Zertifizierungsstelle für Solarien durch das Bundesamt für Strahlenschutz akkreditiert.

### 3. 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 gemes-

Abbildung 1



sen. 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 gesundheitlich 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 2003 die maximalen und mittleren 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 einen leichten Anstieg der UV-Strahlung erkennen. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

## Anhang A:

### Strahlendosis und Strahlenwirkung

#### 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>3</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 Schadenswirkung 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 „Die Strahlendosis und ihre Einheiten“). 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.

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 Einheitename 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:

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

<sup>3</sup> ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable“



$D_{T,R}$  **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.

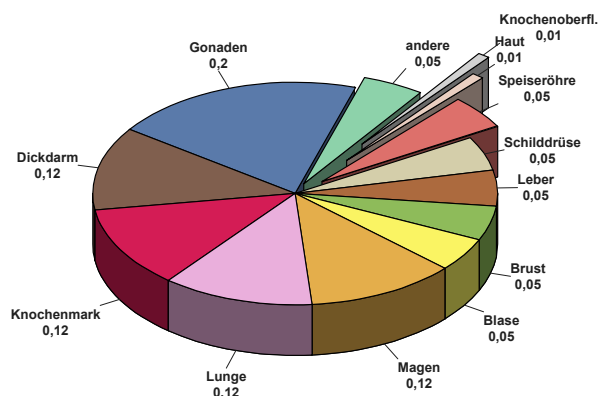
$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden **Abbildung A-1** 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

Abbildung A-1



Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anlage VI, Teil C

berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen 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 **Filmdosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, 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 Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter 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<sup>4</sup>

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 Betastrahlung 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>5</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 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 diesem Dosisbereich bereits alle

<sup>4</sup> Quelle: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

<sup>5</sup> Dieser Begriff wurde in der Novelle der StrlSchV 2001 als „Organdosis“ neu definiert



Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

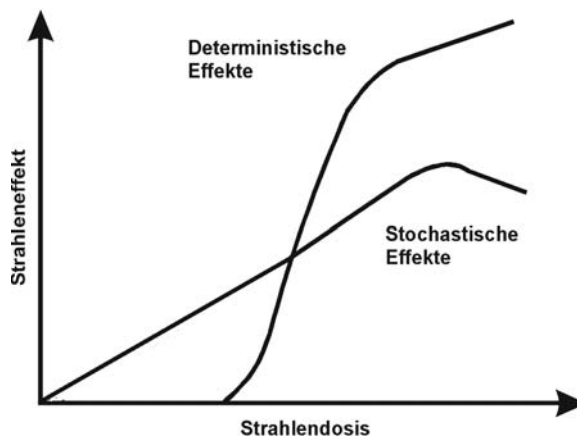
Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung 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 linearem Energietransfer (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 (Schwebstoffe) 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 Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

#### Stochastische und deterministische Strahlenwirkung<sup>4</sup>

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische<sup>6</sup> Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen 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

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<sup>4</sup>

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-

<sup>6</sup> deterministische

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 überwiegender Maße 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 vererbba- ren 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 bösartiger Neubildungen

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d.h. Leukämien, Lymphome und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen (u.a. Bergarbeiter),
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen

durch Atomwaffenanlagen,

- Personen, die von den Atombombentests betroffen waren.

Da sich eine strahlenbedingte maligne Erkrankung nicht von einer „spontanen“ malignen Erkrankung unterscheidet, können diese 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 vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob diese Erkrankung 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 Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. 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 wurde 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.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d.h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren ab etwa 50 mSv. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Kenntnisse zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass

andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki beträgt das Leukämierisiko nach einer Strahlendosis von 100 mSv etwa 2 zusätzliche Neuerkrankungen bei 10.000 exponierten Personen. Das Risiko für alle Krebsformen außer Leukämien bei der gleichen Strahlendosis beträgt etwa 220 zusätzliche Neuerkrankungen bei 10.000 exponierten Personen.

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 in der Luft 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 Lungeneithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m<sup>3</sup> Raumluft. Dies bedeutet, dass eine Senkung der Radonkonzentration um 1000 Bq pro m<sup>3</sup> Raumluft zu einer Halbierung des Lungenkrebsrisikos führt.

**Risikoabschätzung**

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierenden Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

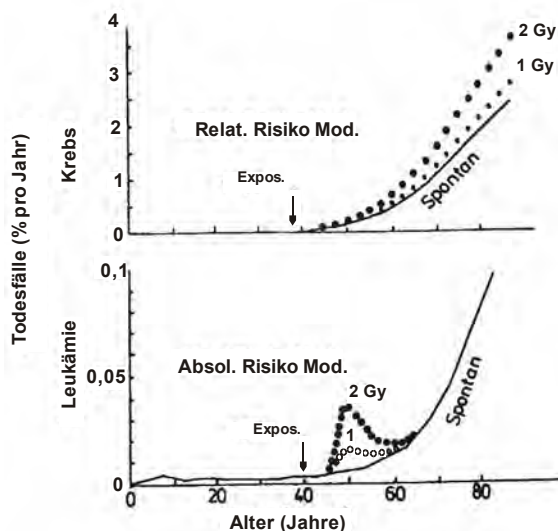
Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischer Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine

Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:

- Extrapolation der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z. B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische Expositionen, wie sie z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
- Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen
- Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z. B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer li-

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.

nearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur getroffen) zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird (z. B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird (z. B. Lungenkrebs und Bystander-Effekt), daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und –transfer zu grunde gelegt werden können: das abso-

lute und das relative Risikomodel (Abb.A-3). Das absolute Risikomodel geht davon aus, dass die Strahlung eine zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodel wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für relativ hohen Strahlendosen bei den japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter den Annahmen einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung und eines relativen Risikomodells ergeben sich Risikoabschätzungen für strahlenbedingte Leukämie- und Krebstodesfälle, die sich auf etwa 1000 zusätzliche Todesfälle durch Leukämien und Krebs für eine Million Personen belaufen, wenn diese in der Vergangenheit einer Ganzkörperexposition von 10 mSv ausgesetzt gewesen wären. Dabei handelt es sich um Abschätzungen. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. In Deutschland haben etwa 25 Prozent aller Todesfälle Krebs als Ursache, d. h. von einer Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.



**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 auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände (z.B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind) und andererseits auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z.B. Blutströmung) beschränkt. 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 Magnetschwebbahnen, 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. Es existieren keine Schwellen zu einer gesundheitlichen Schädigung durch statische Magnetfelder. Bis jetzt sind keine schädigenden Wirkungen bei Magnetfeldexpositionen bis 2 T bekannt. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher (vgl. Berichte der SSK, Heft 18, „Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik“). 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.

**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 2/3 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 2/3 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-Mo-

dell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei  $100 \mu\text{T}$  im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa  $2 \text{ mA/m}^2$  entsteht. Bei diesem Wert, welcher der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht, wurden keine biologischen Effekte wissenschaftlich nachgewiesen. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über  $100 \text{ mA/m}^2$  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 wie auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase als möglicherweise krebserregend eingestuft.

### 3. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder ( $>100 \text{ kHz} - 300 \text{ GHz}$ ) 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  $300\,000 \text{ MHz}$ ) 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	$1,375 \sqrt{f}^*$	$0,0037 \sqrt{f}^*$
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 Kurzwellenerwär-

mung zu Therapie Zwecken ausgenutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Systems 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  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  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.  $0,08 \text{ W/kg}$ , 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 Temperaturengleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf  $2 \text{ W/kg}$  (gemittelt über  $10 \text{ g}$  Gewebe und  $6 \text{ min}$ ). 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.
- Beim Verbindungsaufbau sendet das Handy mit erhöhter Leistung. Dies hat einen kurzfristig erhöhten Eintrag von Energie in den Kopf zur Folge. Dieser Energieeintrag kann vermieden werden, indem Telefonate nicht mit dem Handy am Ohr entgegengenommen werden bzw. das Handy erst nach Verbindungsaufbau ans Ohr geführt wird.

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- (32–400 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 wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und gesundheitlich 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 Hautkrebs erkrankungen 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 besonders das nachgewiesene 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 63).

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 die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der 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 erythemogene 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 MED.

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 [Tabelle B-3](#). 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.

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.

#### 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 Bindegewebsschädigung. 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 (Tab. B-4).

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 Sonnenstrahlung 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 Gesamt ozongehalt 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 DWD 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 Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach und das Niedersächsische Landesamt für Ökologie mit den Messstationen in Hannover und auf der Insel Norderney.

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 Messwerte und in den Sommermonaten Drei-Tages-Prognosen 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.

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	

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 von 8 bis 9.

Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab. Er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geographischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamtozon, 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.

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 gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

**Solarien**

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z.B. Bräu-

nung 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 sind Grundlage des Verfahrens für die freiwillige Zertifizierung von Solarien durch das BfS. 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 Betriebsabläufe 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.

In den nachfolgenden [Tabellen B-6](#) und [B-7](#) sind die wichtigsten Messgrößen für nichtionisierende Strahlung aufgeführt:

Tabelle B-6

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: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$

Tabelle B-7

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>Absorption</b>	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis
<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. Es handelt sich um ein anerkanntes Tiermodell für menschliche Leukämien, das in der Krebsforschung eingesetzt wird
<b>Alphastrahler</b>	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
<b>Anthropogen</b>	Durch den Menschen beeinflusst, verursacht
<b>Angiographie</b>	Darstellung der Blutgefäße
<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 $\mu$ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
<b>ÄS</b>	Ärztliche und zahnärztliche Stellen
<b>Athermische Effekte</b>	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
<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 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
<b>Betastrahlung</b>	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betasppektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie)
<b>Betasubmersion</b>	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
<b>BfArM</b>	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>Biologische Effekte</b>	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
<b>Blut-Hirn-Schranke</b>	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet

<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>BMWA</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
<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>DMF</b>	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
<b>DNS</b>	Desoxiribonukleinsäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
<b>Dosimetrie (nichtionisierende Strahlung)</b>	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
<b>Dosimeter (nichtionisierende Strahlung)</b>	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
<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>DRW</b>	Diagnostische Referenzwerte
<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 eines elektrischen Feldes. Die Einheit ist $\frac{N}{C}$ , 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>Elektrische Spannung</b>	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
<b>Elektrischer Strom</b>	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)

<b>Elektrosensibilität</b>	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden
<b>Elektrosensitivität</b>	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z. B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
<b>Elektrostatisches Feld</b>	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
<b>EMF</b>	Elektromagnetische Felder
<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-Kontroll-Studie</b>	In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). <b>Eingebettete Fall-Kontroll-Studie:</b> Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) zufällig ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird
<b>Fall-out</b>	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Schwebstoffen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
<b>Fernfeld</b>	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
<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 Schwebstoffen 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>	Abkürzung für die Ausdrücke „Hochfrequenz“, „hochfrequente“
<b>Hochfrequenz</b>	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)

<b>Hot spots</b>	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
<b>ICRP</b>	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
<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 Ladungsumverteilung 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>Kohortenstudie</b>	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht
<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 Quadratzentimeter. 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>Leukämie</b>	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 – 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit



<b>Machbarkeitsstudie</b>	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
<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>Magnetische Flussdichte</b>	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität $\mu$ (eine Materialkonstante) verbunden
<b>MED</b>	Minimale erythemale Dosis
<b>Medianwert</b>	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
<b>Nahfeldexposition</b>	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
<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>Personendosimeter (nichtionisierende Strahlung)</b>	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
<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>Querschnittsstudie</b>	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben
<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>RegTP</b>	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
<b>Retina</b>	Netzhaut des Auges; hier werden optische Signale in Nervensignale umgewandelt
<b>Risiko</b>	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
<b>Risikokommunikation</b>	Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
<b>Risikowahrnehmung</b>	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
<b>RöV</b>	Röntgenverordnung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
<b>RTS</b>	Runder Tisch Solarien
<b>Schwebstoffe</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 Schwebstoffe gebunden
<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 ( $\mu$ Sv)
<b>Spezifische Absorptionsrate (SAR)</b>	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
<b>SSK</b>	Strahlenschutzkommission
<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>StrlSchV</b>	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)
<b>StrVG</b>	Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 43 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I, S. 2304)
<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>TM</b>	Trockenmasse
<b>Tritium</b>	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UNSCEAR</b>	United Nation's Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung)
<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 bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung
<b>WHO</b>	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization (Welt-Organisation Metereologie)