

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2007

	Seite
Inhaltsverzeichnis	
Auftrag und Zusammenfassung	
1. Auftrag	4
2. Zusammenfassung	4
I. Natürliche Strahlenexposition	7
1. Äußere und innere natürliche Strahlenquellen	7
2. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	9
3. Radon in Gebäuden	10
3.1 Gesundheitliche Auswirkungen durch Radon	10
3.2 Begrenzung der Radonexposition in Gebäuden	10
3.3 Die Radonsituation in Deutschland	11
II. Zivilisatorische Strahlenexposition	13
1. Kerntechnische Anlagen	13
1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe	13
1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	13
1.3 Zusammenfassende Bewertung	19
2. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH	21
3. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt	21
3.1 Industrierzeugnisse und technische Strahlenquellen	23
3.2 Hochradioaktive Strahlenquellen	23
3.3 Störstrahler	23
3.4 Freigabe schwach radioaktiver Stoffe	23
III. Berufliche Strahlenexposition	24
1. Zivilisatorische Strahlenquellen	24
1.1 Personendosisüberwachung	24
1.2 Inkorporationsüberwachung	25

2.	Natürliche Strahlenquellen	25
2.1	Flugpersonal	25
2.2	Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder	25
2.3	Sanierungsbetriebe	29
3.	Besondere Vorkommnisse	29
IV.	Medizinische Strahlenexposition	35
1.	Röntgendiagnostik	35
2.	Nuklearmedizinische Diagnostik	39
3.	Therapie mit ionisierender Strahlung	40
4.	Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	41
5.	Bewertung der medizinischen Strahlenexposition	41
V.	Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche	42
1.	Tschernobyl	42
2.	Kernwaffenversuche	44
VI.	Nichtionisierende Strahlung	44
1.	Elektromagnetische Felder	44
1.1	Forschung	44
1.2	Umweltzeichen „Blauer Engel“	53
1.3	Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen	53
1.4	Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone	54
2.	Optische Strahlung	54
2.1	Forschung zur UV- und IR-Strahlung	54
2.2	Solares UV-Monitoring in Deutschland	55
2.3	Zertifizierung von Solarien	56
Anhang A:		
	Strahlendosis und Strahlenwirkung	57
Anhang B:		
	Nichtionisierende Strahlung – Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen	64
Anhang C:		
	Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen	71
Anhang D:		
	Stichwortverzeichnis	78

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2007

Kurzfassung

Medizinische Strahlenexposition:

- Kontinuierlicher Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen auf 1,8 mSv (1996–2005).
- Zunahme der Anzahl der Computertomographien um etwa 7,5% von 2004 auf 2005.

Berufliche Strahlenexposition:

- Mittlere Jahresdosis exponierter Personen von 0,79 mSv weiterhin auf niedrigem Niveau.

Strahlenexposition Flugpersonal:

- Gegenüber dem Vorjahr unveränderte mittlere Jahresdosis von 2,2 mSv.
- Höchste Jahresdosis des fliegenden Personals bei 9,0 mSv.

Register hochradioaktiver Strahlenquellen:

- Aufnahme von 453 Genehmigungsinhabern in das Register.
- Zugang zum Register für 47 Bundes- und Landesbehörden.

Emissionsüberwachung Kernkraftwerke:

- Beitrag zur Strahlenexposition auch 2007 deutlich unter 1% der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Tschernobyl-Folgen:

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

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm:

- 54 Forschungsprojekte aus Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation vor dem Abschluss

Mobilfunksendeanlagen:

- Keine Grenzwertüberschreitungen in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen.
- Bundesnetzagentur ermöglicht durch einheitliche Messvorschrift für Feldstärkemessungen Vergleiche der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen.

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 Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Dazu werden die erhobenen Daten im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§5, Abs. 1 und §11, Abs. 6 StrVG).

Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt im Bereich der ionisierenden Strahlung

- die natürliche Strahlenexposition, die zivilisatorisch verändert sein kann,
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen,
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus der ehemaligen SDAG Wismut,
- die berufliche Strahlenexposition,
- die medizinische Strahlenexposition,
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche.

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

Die natürliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlicher 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 das radioaktive Edelgas Radon in Gebäuden kann zur Erhöhung der Exposition beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, durch die Sanierung von Bergbauanlagen durch die Wismut GmbH, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und

radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts. Die Charakterisierung der beruflichen Strahlenexposition (siehe **Abbildung 2**) berücksichtigt sowohl natürliche als auch zivilisatorische Strahlenquellen.

Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 verursachte auch im Jahr 2007 noch einen, wenn auch geringen Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2007 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Natürliche Strahlenexposition

Die kosmische Strahlung und die überall in der Umwelt vorkommenden natürlichen Radionuklide (kosmogene und terrestrische Radionuklide) sind die Ursache der natürlichen Strahlenexposition. Die jährliche effektive Dosis beträgt bei durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland 2,1 mSv. Sie weist aber beträchtliche Unterschiede auf, die vor allem durch die Beschaffenheit des geologischen Untergrundes, aber auch durch die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und die Höhe des Aufenthaltsortes über Meereshöhe verursacht werden.

Zur jährlichen effektiven Dosis aus der äußeren Strahlenexposition tragen die kosmische Strahlung mit 0,3 mSv und die in den Böden, Gesteinen und in den Baumaterialien vorkommenden terrestrischen Radionuklide mit 0,4 mSv bei.

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide mit der Nahrung ergibt sich für die durchschnittlichen Ernährungsbedingungen eine jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv. Sie wird durch die terrestrischen Radionuklide bestimmt. Der Beitrag durch die kosmogenen Radionuklide ist gering (Abschnitt I).

Die Inhalation von Radon-222 (Rn-222) und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Der Beitrag, der durch die Inhalation von Radon-220 (Rn-220) und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte zustande kommt, ist unter den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen gering.

Die jährliche effektive Dosis, die durch die Inhalation dieser Radionuklide entsteht, beträgt etwa 1,1 mSv, davon 0,9 mSv durch Aufenthalt in Gebäuden.

Die Strahlenexposition durch Rn-222 und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte variiert bundesweit beträchtlich. Ursachen dafür sind die geologischen Bedingungen, aber auch Art und Zustand der Gebäude. Durch epidemiologische Untersuchungen ist nachgewiesen, dass erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon eine Ursache für Lungenkrebs sein können. Deshalb sollten die Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen – soweit möglich – reduziert werden (Abschnitt I.3).

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr.

Abbildung 1

**Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2007
(gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)**

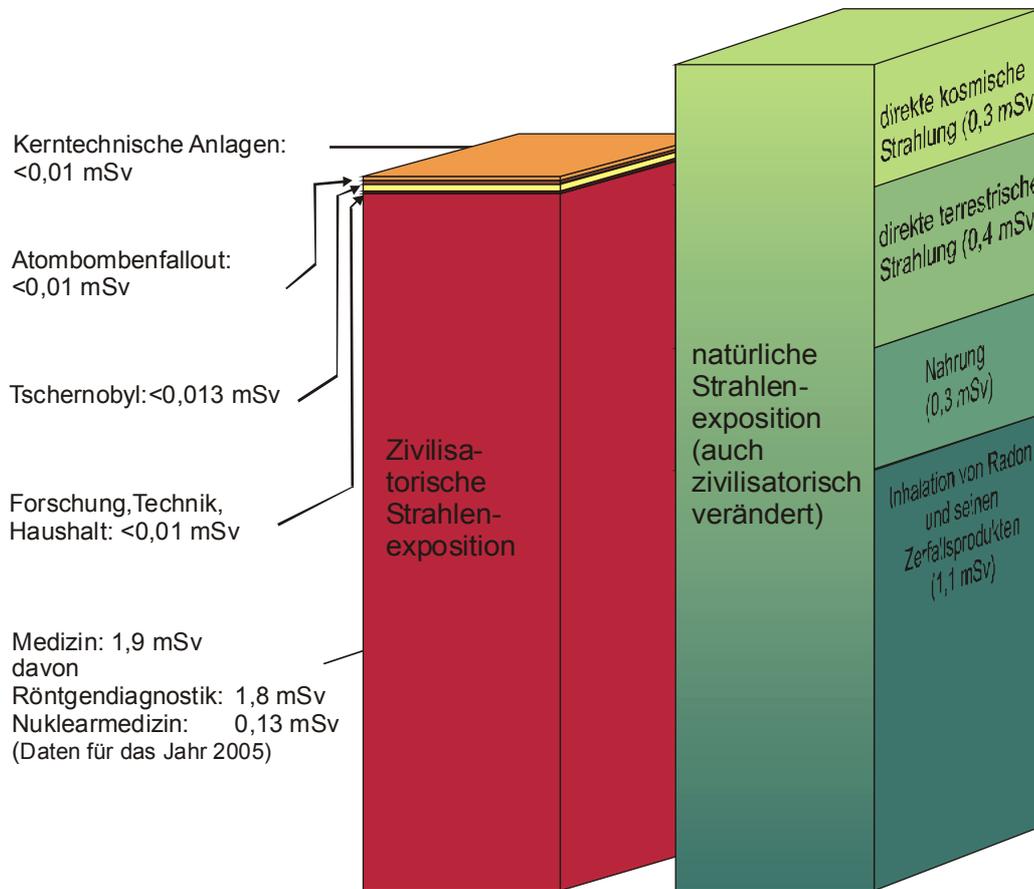
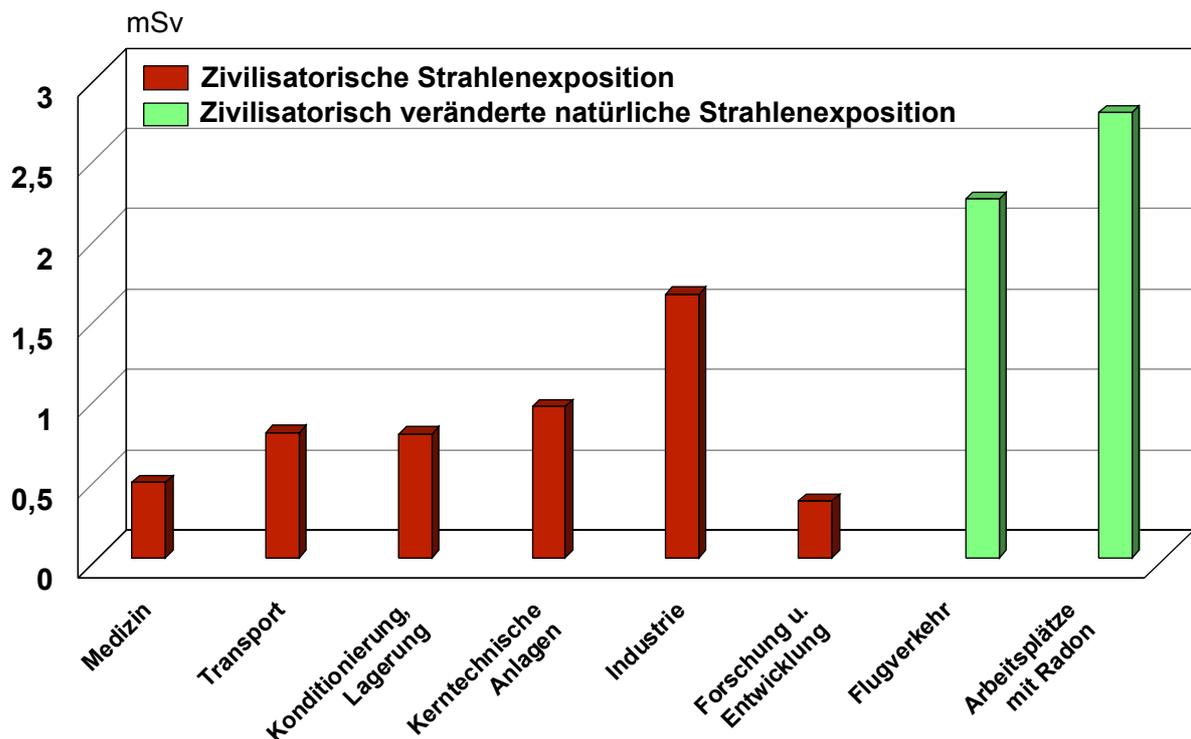


Abbildung 2

**Mittlere Jahrespersonendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland
im Jahr 2007 in bestimmten Tätigkeitsbereichen**



Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen, sowie durch die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus und deren Sanierung durch die Wismut GmbH in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2007 deutlich unter 1 % der gesamten zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte (Abschnitt II.1).

Die Beiträge durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Forschung, Technik und Haushalt lagen unterhalb 0,01 mSv (Abschnitt II.3).

Berufliche Strahlenexposition

Die berufliche Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht wesentlich verändert. Die Zahl der beruflich strahlenüberwachten Personen, die mit Dosimetern überwacht werden, betrug im Jahr 2007 ca. 317 000 und erhöhte sich gegenüber dem Vorjahr um ca. 5000 Personen. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 57000 Personen) betrug 0,79 mSv und stieg gegenüber dem Vorjahr leicht an. Dies ist aber nach 2006 der zweitniedrigste Wert seit Beginn der beruflichen Strahlenschutzüberwachung. [Abbildung 2](#) gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Die mittlere Jahresdosis für fliegendes Personal liegt wie im Vorjahr bei 2,2 mSv. (Abschnitte III.1 und III.2).

Medizinische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Er ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Aktuell liegt der Wert für das Jahr 2005 vor. Er beträgt 1,8 mSv für die Röntgendiagnostik und 0,13 mSv für die Nuklearmedizin (siehe Abschnitt IV).

Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und den Kernwaffen-Fall-out

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,012 mSv im Jahre 2007 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln (z.B. Pilze und Wildbret) aus einigen Waldgebieten immer noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Expositionen auf, die bis zu einer Größenordnung über dem genannten Mittelwert liegen.

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1981 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2007 weniger als 0,01 mSv.

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition liegt zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr.

Rechnerisch ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf insgesamt etwa 1,9 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering. Die berechnete Gesamtexposition beträgt wie im Vorjahr 4,0 mSv.

Nichtionisierende Strahlung

Das Frequenzspektrum der nichtionisierenden Strahlung erstreckt sich von statischen Magnetfeldern wie dem Erdmagnetfeld über niederfrequente elektrische und magnetische Felder (z. B. des Haushaltsstroms) und hochfrequente elektromagnetische Felder (z. B. des Mobilfunks) bis zur optischen Strahlung, die sich in Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung unterteilen lässt.

Auf Grund der technischen Entwicklung ist die Bevölkerung in zunehmendem Maße niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern der drahtlosen Kommunikationsnetze ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, prägt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken dieser Kommunikationstechnologien.

Hinzu kommen mit steigender Tendenz gesundheitliche Risiken durch UV- und Infrarotbestrahlung. Eine Ursache ist die zunehmende Nutzung von Solarien und Infrarotkabinen.

Für niederfrequente elektrische und magnetische sowie für hochfrequente elektromagnetische Felder wurden, basierend auf internationalen Empfehlungen, Grenzwerte festgelegt. Diese Grenzwerte beruhen auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Kenntnisse. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben. Sowohl im niederfrequenten als auch im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung den Messungen in 2007 zufolge 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 Bundesnetzagentur (BNetzA) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Bundesweite Messkampagnen der BNetzA und regionale Messkampagnen einiger Bundesländer zeigten auch 2007, dass die entsprechenden Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellnessbereiche mit Solarien kontinuier-

lich an. Die dadurch Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit dem Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Hier besteht Handlungsbedarf. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2007 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung der Bevölkerung zu reduzieren. Hierzu gehört das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf Institutionen wird die tägliche UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfasst, bewertet und der daraus ermittelte UV-Index im Internet veröffentlicht. Die für das Berichtsjahr 2007 ermittelten Daten wiesen in den Monaten Mai, Juni und Juli in der Mitte Deutschlands Maximalwerte des UV-Index von über acht auf (Abschnitt VI.2.3).

Das BfS hat einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarien vor zu hoher UV-Belastung und damit vor einem zu hohen gesundheitlichen Risiko festgelegt. Diese Kriterien bilden die Grundlage für das 2003 geschaffene freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Bis Ende 2007 haben die durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen 166 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Sonnenstudios, die laut Angabe der Solarienbranche bei etwa 5500 liegt, ist diese Anzahl unbefriedigend. Eine gesetzliche Regelung zum Schutz der Verbraucher ist geboten.

I. Natürliche Strahlenexposition

1. Äußere und innere natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es wird zwischen der äußeren und der inneren Strahlenexposition unterschieden. Zur äußeren Strahlenexposition trägt neben der kosmischen Strahlung die Gamma-Strahlung bei, die von den Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht. Eine innere Strahlenexposition resultiert aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion und Inhalation.

Den wesentlichen Beitrag zur äußeren Strahlenexposition, die durch die kosmische Strahlung verursacht wird, liefert der ionisierende Anteil der sekundären kosmischen Strahlung. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von 0,24 mSv und nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Neutronenkomponente der kosmischen Strahlung verursacht die in Höhe des Meeresspiegels nur eine jährliche effektive Dosis von 0,03 mSv. Sie steigt aber mit zunehmender Höhe schneller an. Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis aus der kosmischen Strahlung etwa 0,3 mSv.

Die durch die terrestrischen Radionuklide verursachte äußere Strahlenexposition ist auf den Gehalt der Böden, der Gesteine und vor allem der Baumaterialien an den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumzerfallsreihe sowie an Kalium-40 zurückzuführen. Im Freien auf nicht

versiegelten Flächen ist sie vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu ca. 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden dort für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung 57 nSv/h bestimmt (Photonen-Äquivalentdosisleistung). Höhere Werte, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

Abbildung I.1-1 zeigt als Maß für die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien die Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe in der Bundesrepublik Deutschland 2007. Dabei wird ein mittlerer Aufenthalt von 5 Stunden pro Tag im Freien angenommen. Abgesehen von den unterschiedlichen Gehalten an terrestrischen Radionukliden spiegelt sie auch die mit der Höhe zunehmende kosmische Strahlung wider.

In urbanen Gebieten wird die terrestrische Strahlung im Freien überwiegend durch den Gehalt der Radionuklide in den Materialien verursacht, die zum Straßen- und Häuserbau verwendet worden sind und nur zu einem geringen Teil durch den Radionuklidgehalt in Böden oder Gesteinen.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition durch den Gehalt der Radionuklide in den verwendeten Baustoffen bestimmt. Bei einem Wertebereich von 20 bis 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonen-Äquivalentdosisleistung).

Legt man mittlere Aufenthaltszeiten von 19 Stunden in Gebäuden und 5 Stunden im Freien pro Tag zu Grunde, so beträgt die jährliche effektive Dosis durch die von den terrestrischen Radionukliden verursachte äußere Strahlenexposition insgesamt etwa 0,4 mSv.

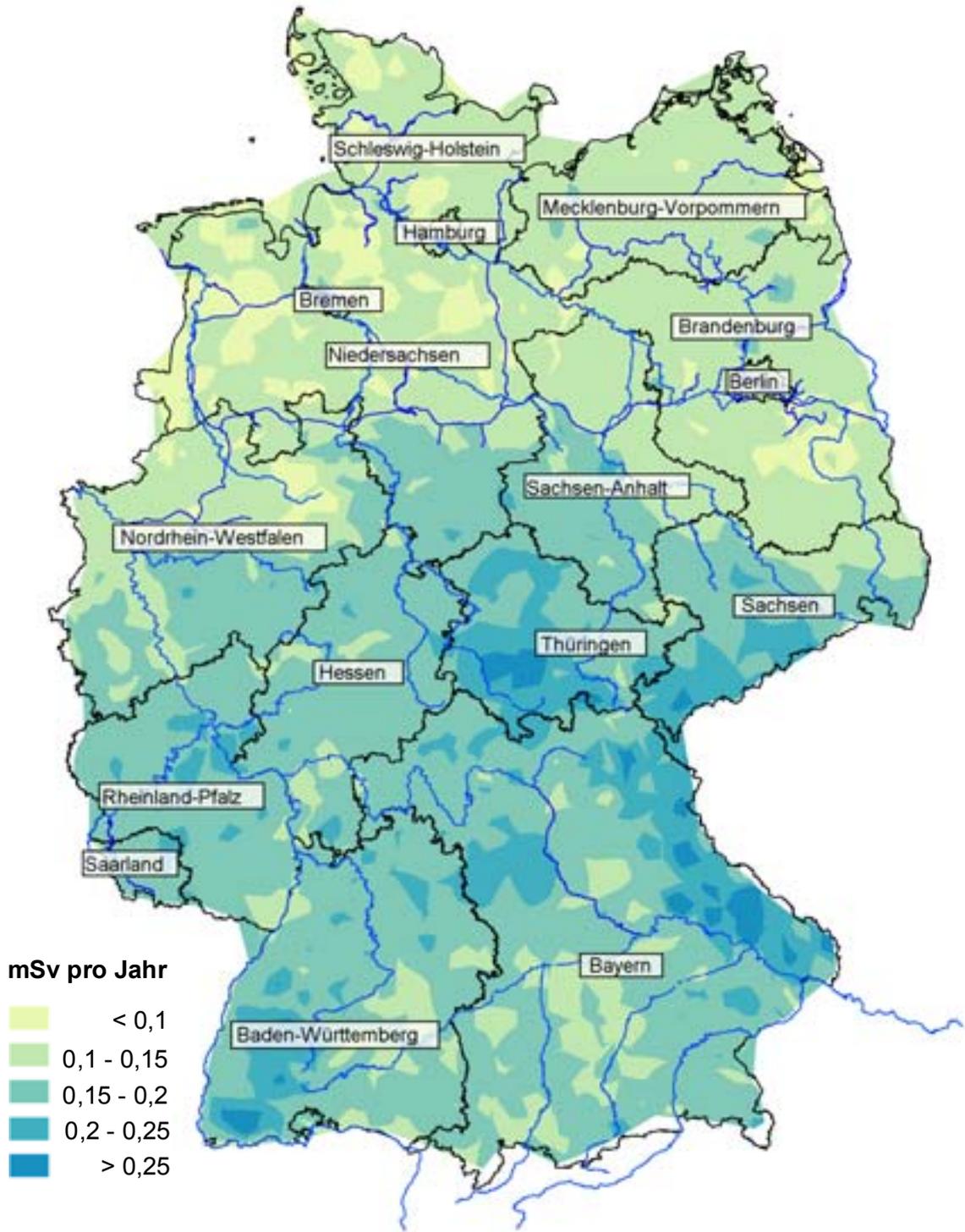
Wesentlich zur natürlichen Strahlenexposition tragen die Inhalation von Radon-222 und die daraus entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte mit kurzen Halbwertszeiten (kurzlebige Radonzerfallsprodukte) bei, die meist an Schwebstoffe angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort durch Alpha-Strahlung die Strahlenexposition verursachen. Auch Radon-220 (Thoron) und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte tragen auf diesem Wege zur Strahlenexposition bei. Unter durchschnittlichen Bedingungen wird dadurch eine jährliche effektive Dosis von 1,1 mSv verursacht. Davon entfallen etwa 0,9 mSv auf den Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv auf den Aufenthalt im Freien. Regional, aber auch von Haus zu Haus, können große Unterschiede der Radon-222-Konzentrationen in Gebäuden auftreten.

Die jährliche effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der o. g. Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur etwa 0,005 mSv und wird vor allem durch Blei-210 verursacht.

Zur inneren Strahlenexposition über die Ingestion tragen vor allem die terrestrischen Radionuklide bei. Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Ka-

Abbildung I.1-1

Externe Strahlenexposition im Jahr 2007 in Deutschland
durch Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien



0 50 100 150km

Daten aus IMIS

Bundesamt für Strahlenschutz

liumgehalt des Körpers bestimmt. Der durchschnittliche Kalium-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 (siehe Seite 63) abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. Hinzu kommt die äußere Strahlenexposition mit 0,7 mSv. In der Summe ergibt sich in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. [Abbildung 1](#) zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung. In Anbetracht der Variationsbreite der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis im Mittel in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse weltweit ein Wert von 2,4 mSv angegeben.

Die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien und vor allem das Rn-222, das aus dem Baugrund in die Gebäude gelangt, sind Ursachen der bereits genannten Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition. Weitere Informationen dazu und auch zu den Möglichkeiten, die dadurch verursachten Strahlenexpositionen zu begrenzen, werden in den folgenden Abschnitten 2 und 3 gegeben.

Kleinräumig können auch Hinterlassenschaften des Bergbaus und der Industrie, die erhöhte Gehalte an Radionukliden der Uran-Radium-Zerfallreihe - in einigen Fällen auch der Thorium-Zerfallreihe - aufweisen, zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide beitragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Hinterlassenschaften der ehemaligen Uranproduktion in Sachsen und Thüringen, bei denen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durchgeführt werden. Über die dabei unvermeidlichen Ableitungen natürlicher Radionuklide, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden erfolgen, und die dadurch verursachten Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt II.2.

2. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Seit mehr als 25 Jahren werden 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 von 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 Magmageseine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Der Mittelwert der durch die natürlichen radioaktiven Stoffe in den Baumaterialien verursachten Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands beträgt 80 nSv/h. Werte über 200 nSv/h sind selten.

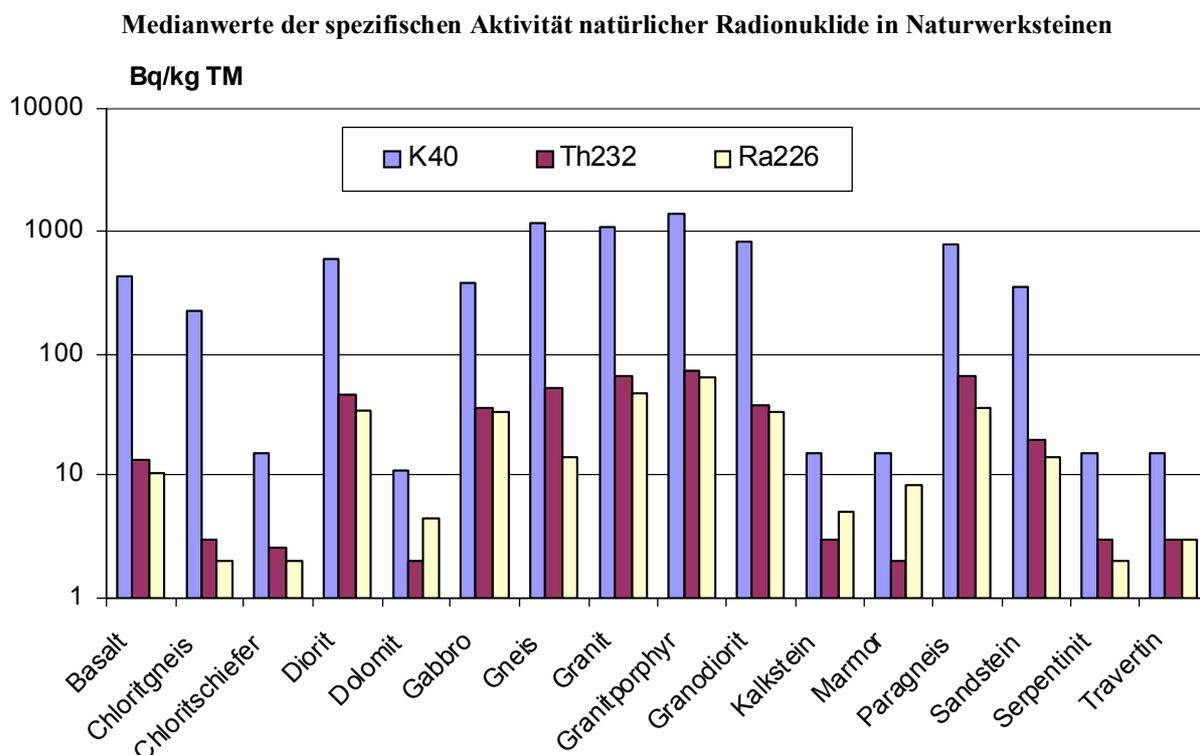
Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutschland verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering sind, dass sie nicht als Ursache für erhöhte Konzentrationen von Radon-222 in Wohnungen in Frage kommen.

Bedingt durch die zunehmende Anwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich steht in jüngster Zeit die natürliche Radioaktivität dieser Materialien und die davon ausgehende Strahlenexposition im Interesse der Bevölkerung. Deshalb wurden im Jahre 2005 mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e.V. eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht. Die Ergebnisse sind in [Abbildung I.2-1](#) zusammengefasst.

Die radiologische Relevanz der einzelnen Materialien für die Strahlenexposition der Bevölkerung hängt neben der Radionuklidkonzentration und der Radonfreisetzung vor allem von der Art ihrer Verwendung ab. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die untersuchten Naturwerksteine selbst bei großflächiger Anwendung keine signifikant erhöhte Strahlenexpositionen verursachen.

Bei einigen industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich natürliche radioaktive Stoffe in den Prozessrückständen an. In der Anlage XII der StrlSchV sind Rückstände aus bergbaulichen und industriellen Prozessen ausdrücklich genannt, die auf Grund der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide zu erheblich erhöhten Strahlenexpositionen führen können und für die deshalb die Pflicht zur Überwachung besteht. Die StrlSchV regelt unter anderem den Zusatz solcher Rückstände zu Baustoffen. Dafür sind in der Anlage XII spezielle Überwachungsgrenzen 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. Mit der Regelung wird der EU-Richtlinie über Bauprodukte (89/106/EWG) entsprochen, nach der in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

Abbildung I.2-1



3. Radon in Gebäuden

3.1 Gesundheitliche Auswirkungen durch Radon

Radon-222 und seine Zerfallsprodukte gelangen durch Inhalation mit der Luft in die Atemwege. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich u. a. um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218, Wismut-214, Blei-214 und Polonium-214) in den Atemwegen angelagert.

Die beim radioaktiven Zerfall dieser Folgeprodukte auftretende Strahlung führt zu einer Exposition der Atemwege, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von 1,1 mSv pro Jahr führt. Nach derzeitiger Kenntnis werden andere Organe durch Radon und seine Zerfallsprodukte weitaus weniger belastet.

In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf dieser Grundlage kommt die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Empfehlung vom 21./22.04.2005 zu folgender Bewertung:

- Die zusammenfassende Auswertung der in Europa und Nordamerika durchgeführten Studien zeigt zweifelsfrei einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration.
- Dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar.
- Eine signifikante Risikoerhöhung wurde schon in einem Konzentrationsintervall von 100 bis 199 Bq/m³

festgestellt.

- Die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist linear ohne Schwellenwert. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro 100 Bq/m³ Radonkonzentration.

Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist in einer Publikation aus dem Jahr 2001 erneut darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt und für den Menschen krebserregend ist. Ferner wird festgestellt, dass die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen krebserregenden Stoffen. Die Länder werden aufgefordert, Regelungen zu treffen, um das Risiko zu begrenzen. Im Jahre 2005 startete die WHO ein internationales Radonprojekt, um die Gesundheitsaspekte von Radonexpositionen zu analysieren und Empfehlungen für Messungen und Sanierungen sowie Leitfäden zur administrativen Regelung in den Mitgliedsstaaten zu formulieren. Der Abschluss des Projektes mit Veröffentlichung der Ergebnisse ist für 2008 vorgesehen.

3.2 Begrenzung der Radonexposition in Gebäuden

Im Sinne der Konsistenz von Risikoeinstufungen fordert die SSK in der Empfehlung vom 21./22.4.2005 Regelungen zur Begrenzung der Radonexposition in Wohnungen. Aus den epidemiologischen Untersuchungen ergebe sich, dass das Ziel dieser Regelungen eine generelle und möglichst weit gehende Reduzierung der Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen sein sollte.

Bei der Entwicklung eines Schutzkonzeptes muss Folgendes in Betracht gezogen werden:

- Die Häufigkeit der Radonkonzentration in Wohnräu-

men in Deutschland ist annähernd logarithmisch normalverteilt.

- Die Radonkonzentration im Freien liegt meist im Bereich bis 30 Bq/m^3 Luft, aber es kommen vereinzelt auch Konzentrationen bis zu 50 Bq/m^3 vor.
- Der Beitrag zur Radonkonzentration in Wohnungen aus mineralischen Baumaterialien, die den Hauptanteil der Wohnbausubstanz bilden, beträgt im Median 30 Bq/m^3 und reicht bis 70 Bq/m^3 .

Es empfiehlt sich, Radonkonzentrationen von über 100 Bq/m^3 Luft in Aufenthaltsräumen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Art und Effizienz der Maßnahmen sollten bei Neubauten der Standortsituation gerecht werden, bei der Sanierung bestehender Gebäude sich an der Höhe der gemessenen Radonkonzentration orientieren. Ob ein Haus eine erhöhte Radonraumluftkonzentration aufweist oder eine Sanierung erfolgreich war, kann nur durch gezielte Messungen festgestellt werden.

3.3 Die Radonsituation in Deutschland

Für die Radonkonzentration (Radon-222) in Gebäuden ist die Radonkonzentration in der Luft im Erdboden (Bodenluft) ein bestimmender Parameter. Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland beträgt insgesamt ca. 50 Bq/m^3 . Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen kommen vor allem in Regionen vor, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft vorliegen.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft wurde bundesweit untersucht. Die Kartendarstellung (Abbildung I.3-1) zeigt den abschließenden Stand dieser an 2347 geologisch repräsentativen Messorten durchgeführten Untersuchungen.

Die Ausbreitung des Radons aus dem Baugrund in die Gebäude kann durch einen Transferfaktor als Verhältnis der Radonkonzentration im Gebäude zu der in der Bodenluft beschrieben werden. Für unterkellerte Erdgeschoss-Wohnräume bzw. Kellerräume wurden 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 ‰).

Unter Beachtung der Verteilung des Transferfaktors wurden die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung unterschiedlicher Konzentrationsniveaus abgeschätzt. In Abbildung I.3-2 ist als Beispiel die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der Konzentration von 100 Bq/m^3 in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft dargestellt.

Bei einer Bauausführung entsprechend den heutigen Anforderungen, vor allem einer normgerechten Abdichtung der Gebäude gegen von außen anliegende Bodenfeuchte, sind in Gebieten, in denen die Radonkonzentration in der Bodenluft 20 kBq/m^3 nicht übersteigt, Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 in der Luft von Aufenthaltsräumen sehr unwahrscheinlich. Für die Planung von Maßnahmen

zum Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden ist dieser Umstand von großer Bedeutung. In den übrigen Gebieten sollten beim Neubau ergänzende Maßnahmen eingeplant werden, um sicher zu stellen, dass die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen 100 Bq/m^3 möglichst nicht übersteigt. Selbst an Standorten mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft kann dies in der Regel mit vertretbarem finanziellem Aufwand erreicht werden. Wenn bauliche oder heizungs- bzw. lüftungstechnische Maßnahmen in Umsetzung der Energieeinsparverordnung durchgeführt werden, sind mögliche Auswirkungen auf die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen zu beachten.

Ausgehend von Messungen in über 50000 Gebäuden und Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft können heute einerseits Gebiete mit natürlich erhöhtem Radongehalt im Boden identifiziert werden und andererseits auf Grund ihrer Geologie auch Gebiete beschrieben werden, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit der Baugrund als Quelle für Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 in Aufenthaltsräumen ausscheidet. Vielerorts sind aber noch Untersuchungen erforderlich, um die Radonsituation kleinräumig hinreichend sicher bewerten zu können.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Messungen sowie der Gebäudeverteilung in Deutschland wird geschätzt, dass in rund 9 bis 12% der bestehenden Ein- und Zweifamilienhäuser Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 in Aufenthaltsräumen vorkommen. In weniger als 0,2% des Bestandes dieser Häuser liegt die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen vermutlich über 1000 Bq/m^3 .

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird als gering angesehen. Eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe aus einem Baustoff als Zulassungskriterium in der EU-Richtlinie über Bauprodukte wird in einem laufenden Projekt auf Basis in Deutschland üblicher Baustoffe untersucht.

Abbildung I.3-2

Berechnete Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der Radonkonzentration von 100 Bq/m^3 in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft

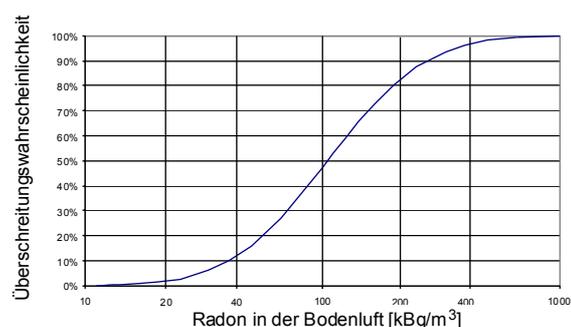
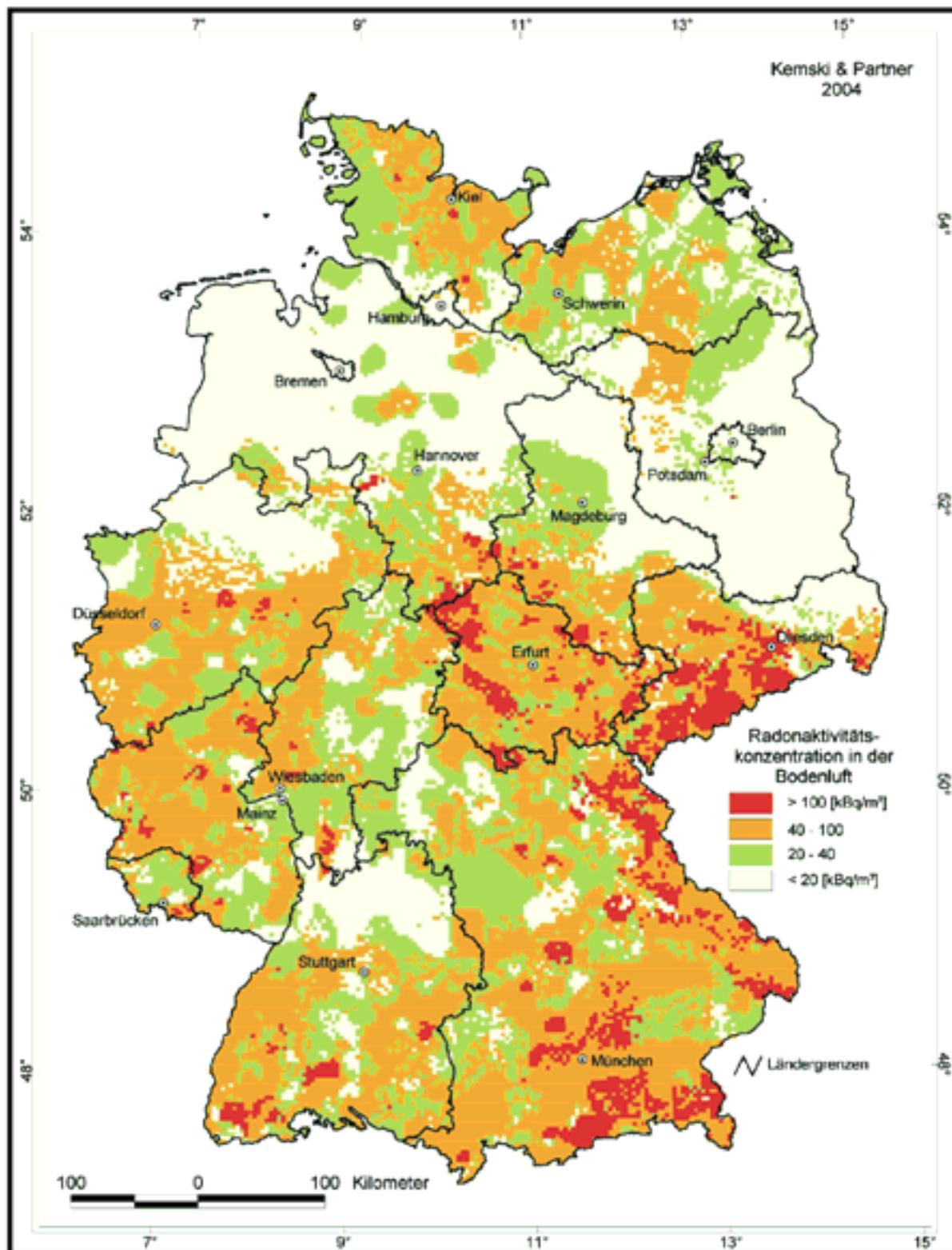


Abbildung I.3-1

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe für die Bundesrepublik Deutschland



II. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kerntechnische Anlagen

1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe

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 den zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Tabelle II.1-1
Kerntechnische Forschungseinrichtungen in Deutschland

Einrichtung	Standort
Forschungszentrum Karlsruhe	Karlsruhe
Forschungszentrum Jülich	Jülich
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	Rossendorf
Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA)	Rossendorf
GKSS-Forschungszentrum	Geesthacht
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	Berlin
Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM I+II)	Garching

Die für 2007 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen II.1-1 bis II.1-3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte.

^{14}C (Kohlenstoff-14) wird in [Abbildung II.1-2](#) 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 aus Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes ^{14}C abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes ^{14}C nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die Gesamtsumme an abgeleitetem ^{14}C über die Fortluft im Jahr 2007 beträgt an den in [Abbildung II.1-2](#) aufgeführten Standorten etwa $4,8 \cdot 10^{12}$ Bq.

In [Abbildung II.1-4](#) sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszen-

tren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching für das Jahr 2007 zusammengefasst. Eine Übersicht über die Forschungszentren gibt [Tabelle II.1-1](#). Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In [Abbildung II.1-5](#) sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2007 zusammengestellt. [Tabelle II.1-2](#) enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Tabelle II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2007

Betrieb	Fortluft	Abwasser
	Aktivität in Bq	
ANF GmbH Lingen	< 1,4 E+04	*
URENCO D Gronau	2,3 E+04	1,0 E+03

* kleiner als Nachweisgrenze

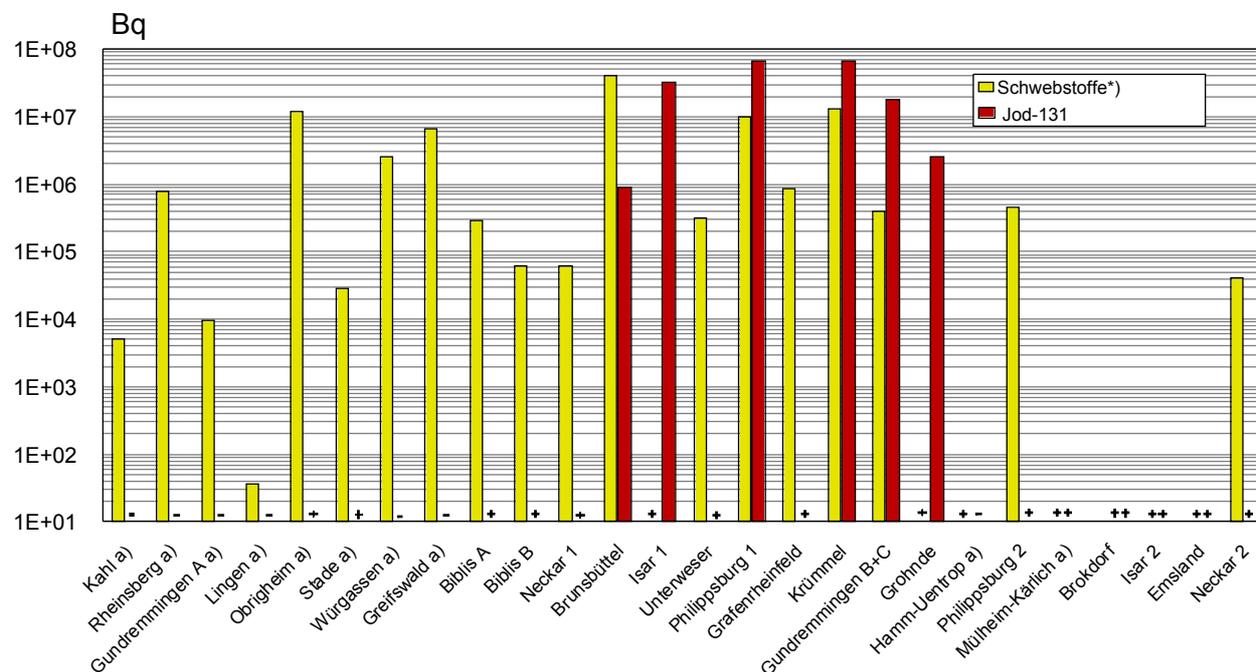
Im benachbarten Ausland waren Ende 2007 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in [Tabelle II.1-3](#) aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz“ des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird von der Leitstelle Fortluft des Bundesamtes für Strahlenschutz 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 13.05.2005 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 überwiegend deren Jahresberichten entnommen. Die in den Abbildungen II.1-6 bis II.1-8 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 An-

Abbildung II.1-1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2007
Schwebstoffe und Jod-131**



a) Betrieb beendet

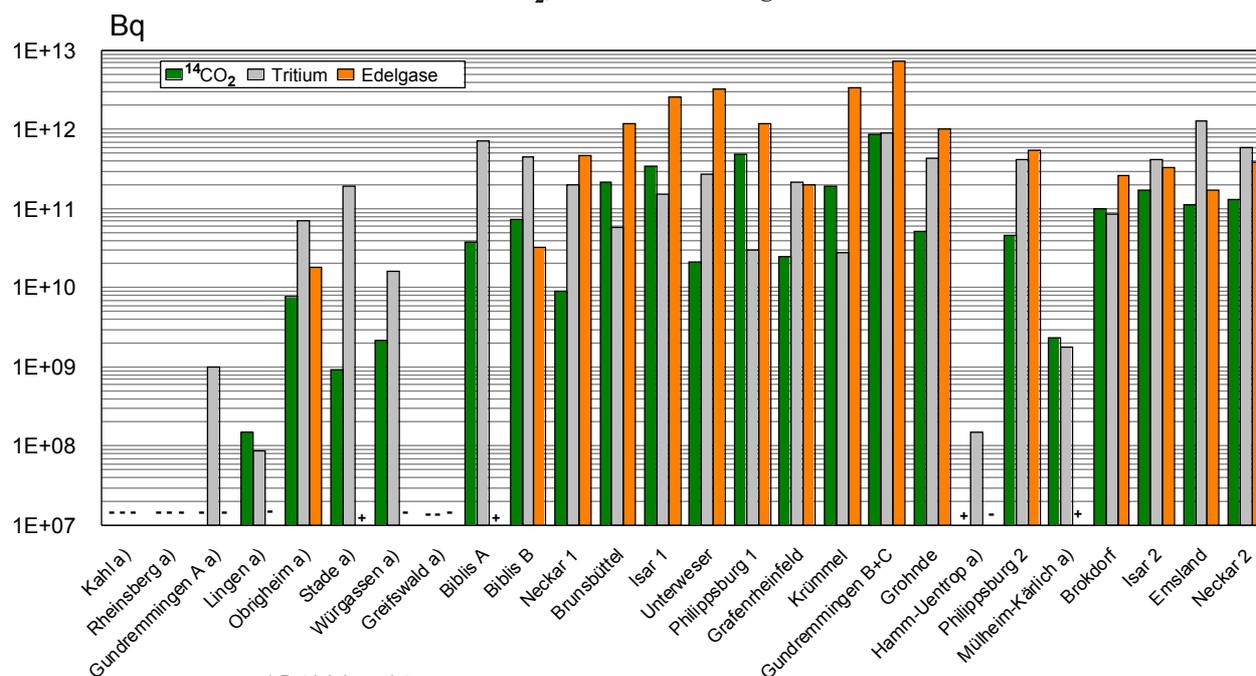
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler, früher "Aerosole"

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2007
¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase**



a) Betrieb beendet

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-3

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2007
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium

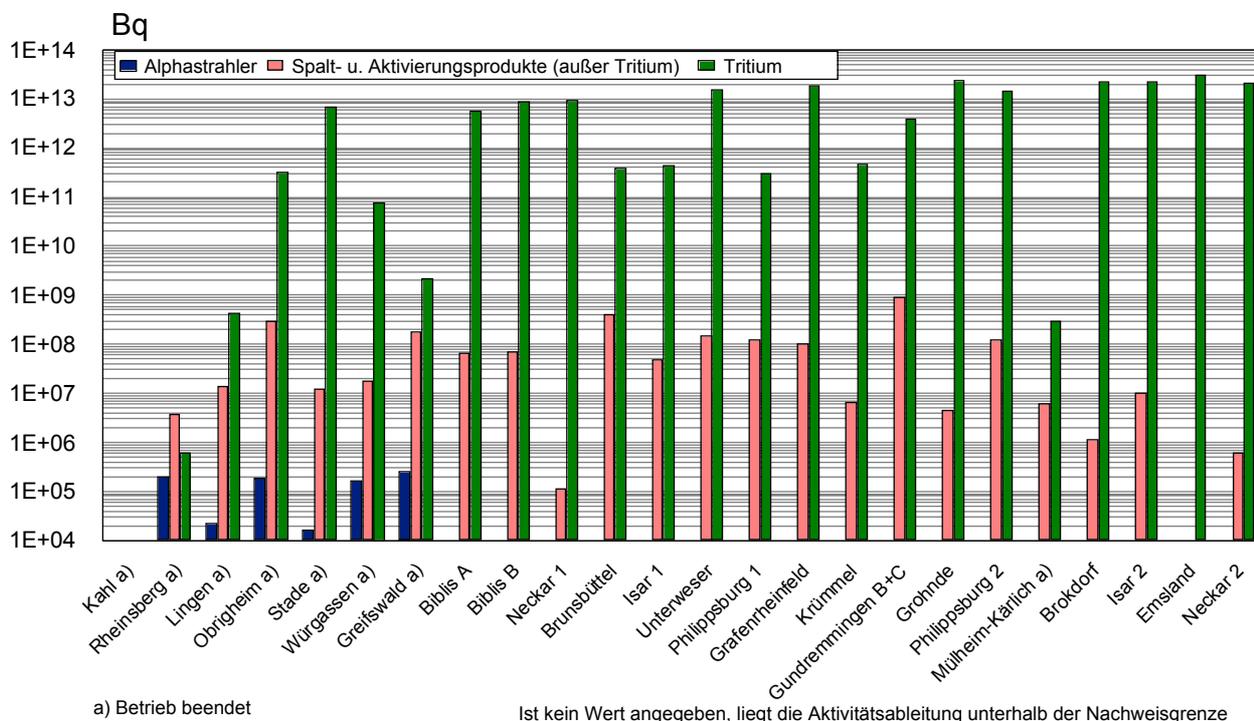


Abbildung II.1-4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2007
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, ¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase

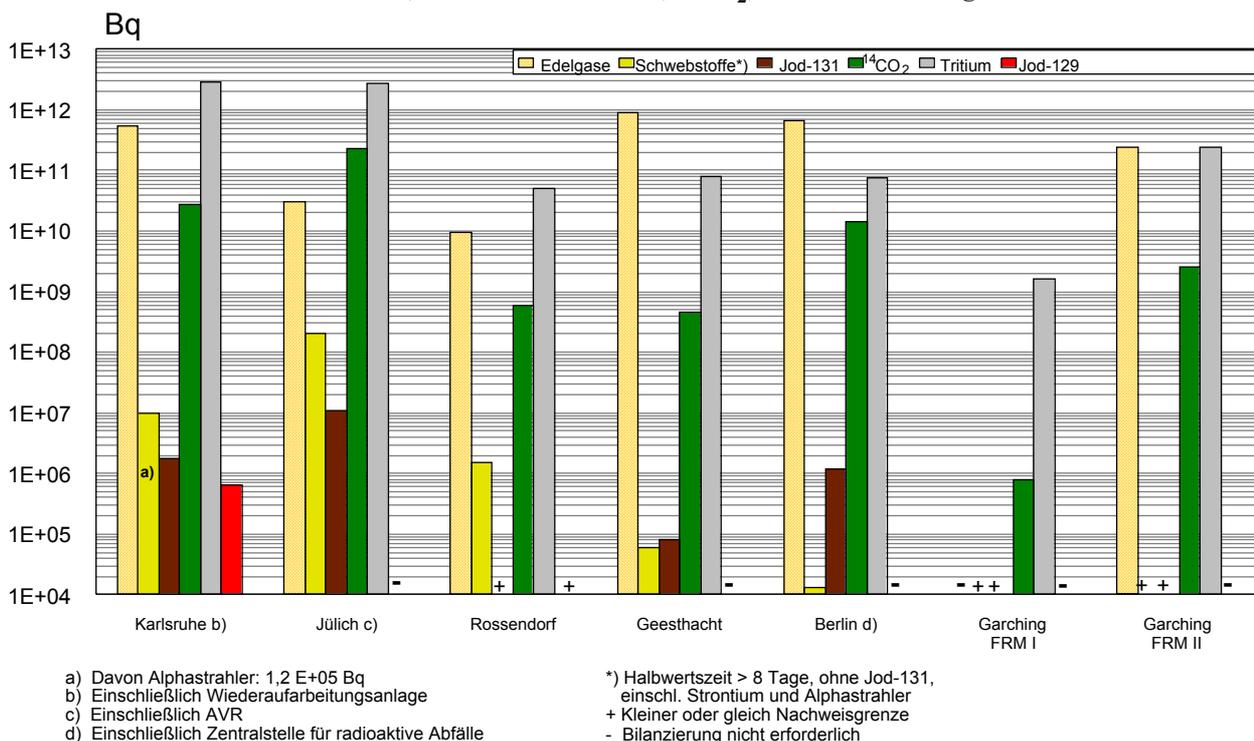


Abbildung II.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2007
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

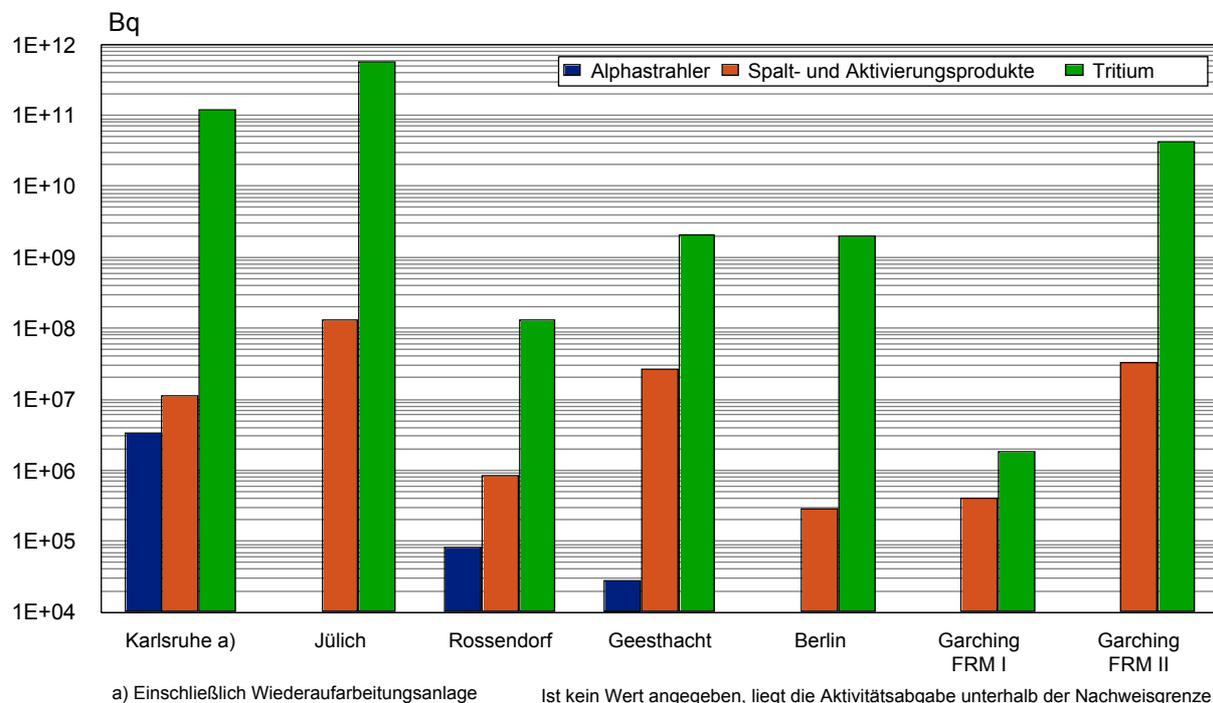
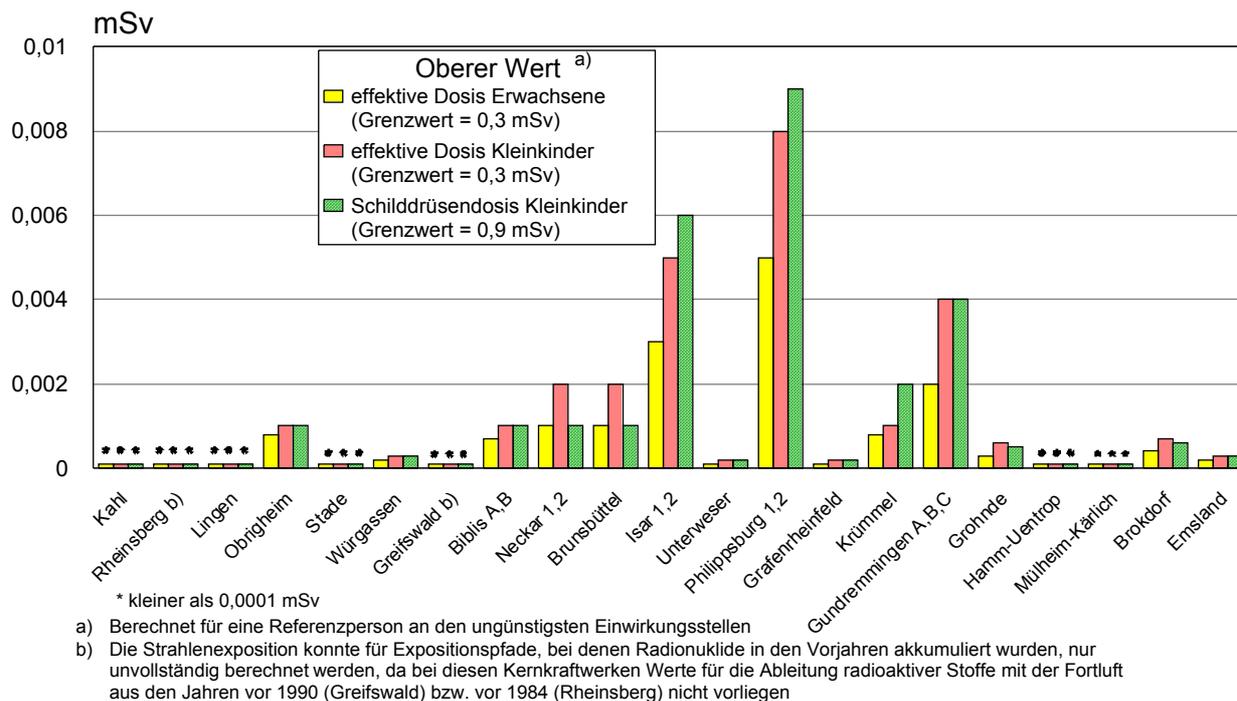


Abbildung II.1-6

**Strahlenexposition im Jahr 2007 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die
Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft**



wendung 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 2007 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft enthält [Abbildung II.1-6](#). Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe über 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. [Abbildung II.1-6](#) zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,005 mSv (unter 2% des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Kernkraftwerk Philippsburg, sowie für Kleinkinder 0,008 mSv (unter 3% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,009 mSv (1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg. Diese maximalen Werte haben sich gegenüber dem Vorjahr nicht geändert.

In [Abbildung II.1-7](#) 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 0,001 mSv und für Kleinkinder 0,0017 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht 0,3 bzw. 0,6% des Dosisgrenzwertes.

Gemäß Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche als Emittenten in Frage kommende

kerntechnische Anlagen berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,0015 mSv und 0,0009 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 effektiven Dosen bei 0,0001 mSv bzw. 0,0003 mSv für Kleinkinder, an der Donau bei 0,0006 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

In [Abbildung II.1-8](#) sind Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, des Helmholtz-Zentrums Berlin und der Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM II) in Garching angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2007 als höchsten Wert 0,009 mSv (3% des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,015 mSv (5% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,015 mSv (unter 2% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Die im Jahr 2007 ermittelte Strahlenexposition beim Forschungszentrum Jülich ist im Wesentlichen durch ¹⁴C (als CO₂ aus der Verbrennungsanlage abgeleitet) hervorgerufen worden. Die gegenüber dem Vorjahr erhöhte Exposition ergibt sich rechnerisch dadurch, dass ein Teil der Ableitungen gerade noch während der Vegetationsperiode stattgefunden hat (2. Oktoberhälfte 2007) und daher unabhängig ob tatsächlich noch Pflanzenwachstum stattfand oder nicht - entsprechend berücksichtigt werden muss.

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2007 nach Angaben aus den jeweiligen Jahresberichten für Erwachsene obere Werte von < 0,0001 mSv (Karlsruhe) und 0,0014 mSv (Rossendorf) sowie für Kleinkinder 0,015 mSv (Jülich).

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die für eine Referenzperson an den un-

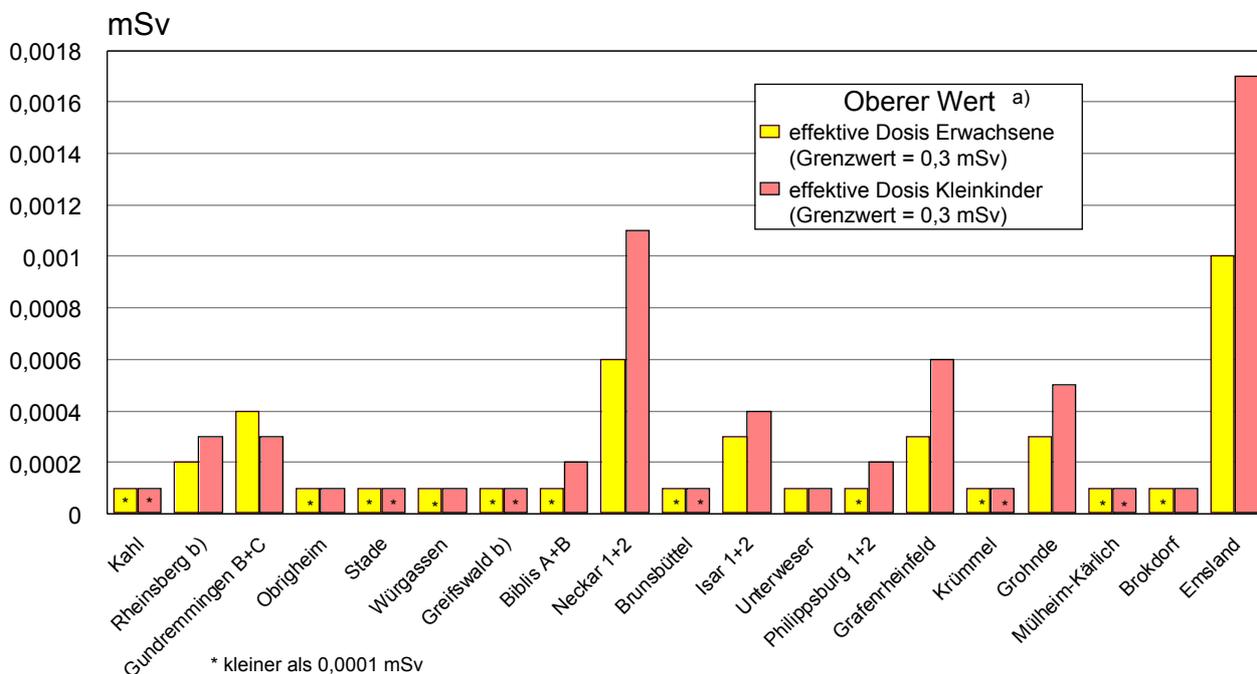
Tabelle II.1-3

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

Abbildung II.1-7

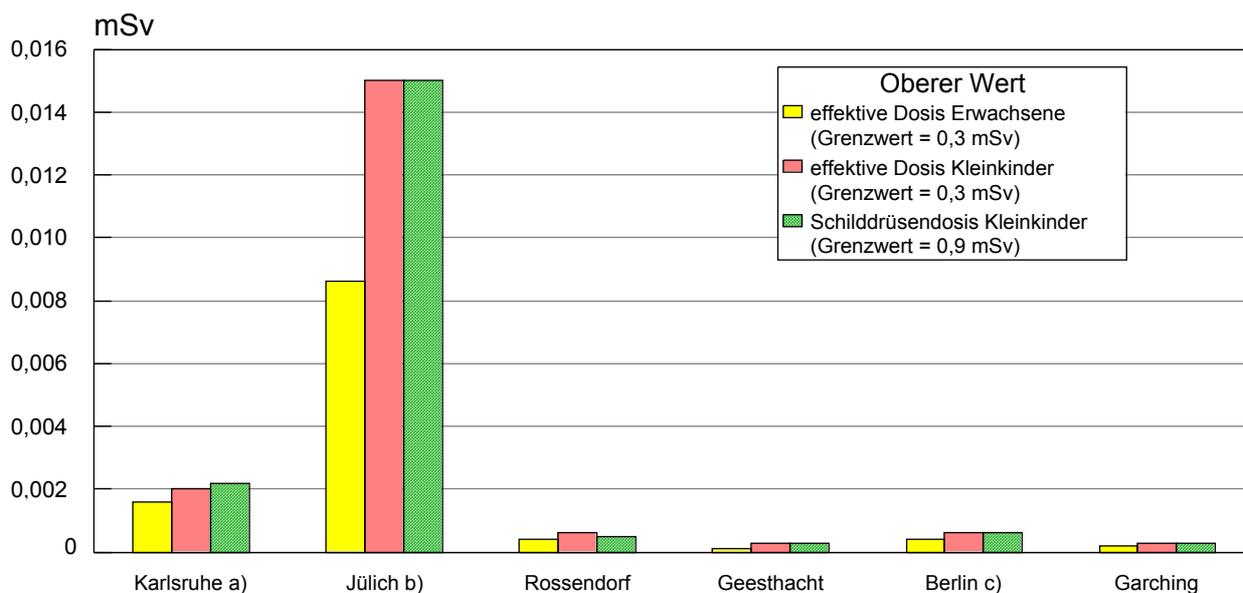
Strahlenexposition im Jahr 2007 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



- 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 der Jahre vor 1990 nicht vorliegen

Abbildung II.1-8

Strahlenexposition im Jahr 2007 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



Die Werte für die Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und HZ Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2007 entnommen

- a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
- b) Einschließlich Versuchsreaktor AVR
- c) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

günstigsten 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 jeweils unter 0,0001 mSv.

Die Hanauer Betriebe sind inzwischen abgerissen und wurden bereits 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen. Die Berichterstattung wurde daher eingestellt.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe sind in [Tabelle II.1-2](#) aufgeführt. Wie im Vorjahr liegen auch im Jahr 2007 die Werte der effektiven Dosis in der Umgebung aller Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe jeweils unter 0,0001 mSv.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in [Tabelle II.1-4](#) aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2007 mit der Fortluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0001 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0004 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,00098 mSv; dies sind 0,05%, 0,13% bzw. 0,33% des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Dosis für das rote Knochenmark (am stärksten belastetes Organ) errechnete sich zu 0,0003 mSv für Erwachsene, 0,0010 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0030 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,3% bzw. 1,20% des Grenzwerts). Die höheren Dosiswerte für mit Muttermilch ernährte Säuglinge sind darauf zurückzuführen, dass durch die Mutter aufgenommene Radionuklide an das gestillte Kind weitergegeben werden. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2007 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge.

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben (auch für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt) sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald)

treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Dasselbe gilt auch für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager am den Kernkraftwerksstandorten. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Gamma- und Neutronendosis bzw. Dosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. [Abbildung II.1-9](#) zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2007.

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 II.1-3](#)) führte 2007 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer Referenzperson von etwa 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich ebenfalls obere Werte von etwa 0,01 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbaugebieten konnte im Jahr 2007 Jod-131 nicht nachgewiesen werden.

1.3 Zusammenfassende Bewertung

Aus den für das Jahr 2007 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 [II.1-1](#) bzw. [II.1-2](#)

Tabelle II.1-4

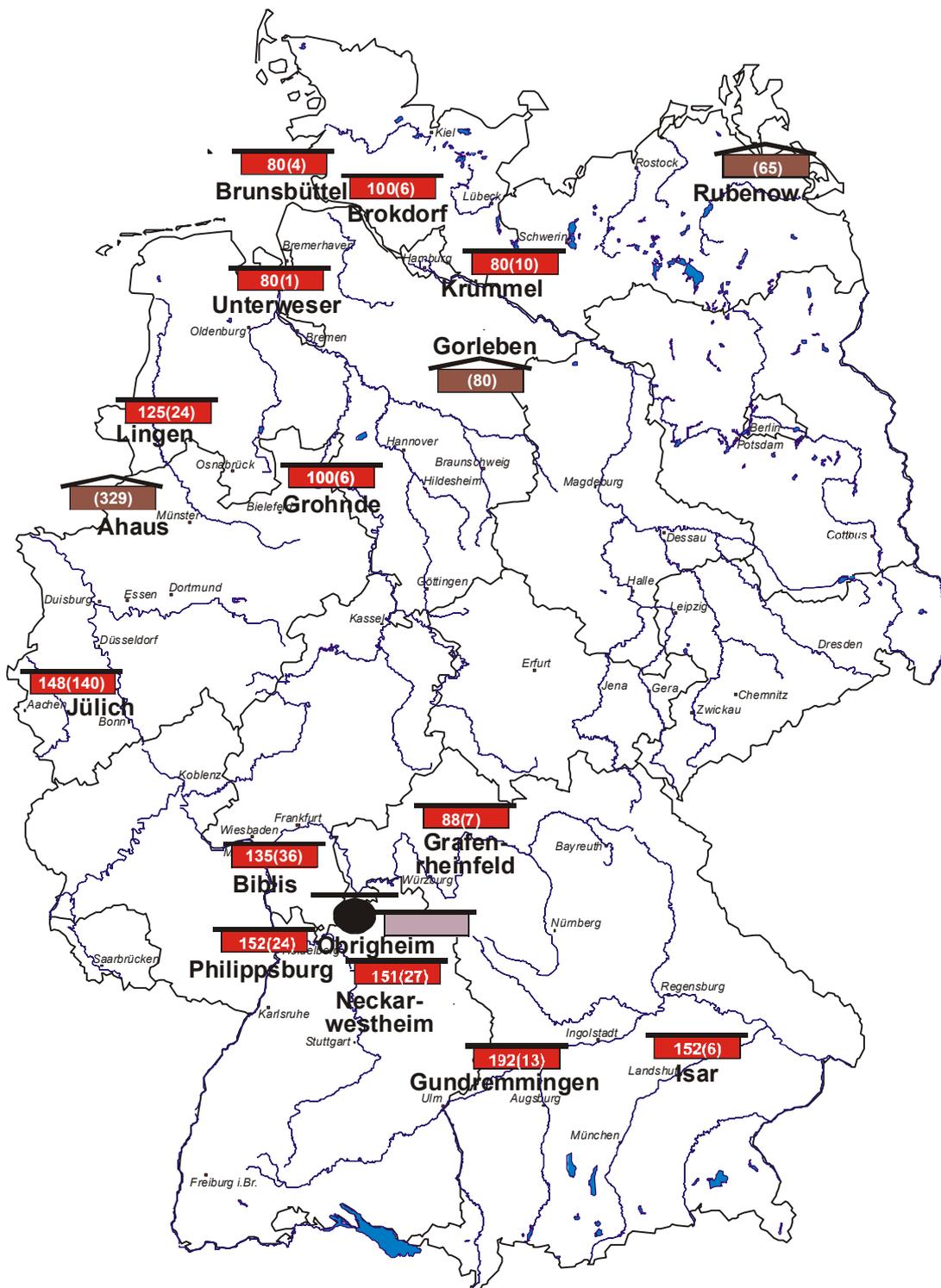
Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2007

	Fortluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	2,1 E+10	7,8 E+03
Kohlenstoff-14	8,9 E+08	-
langlebige Schwebstoffe	9,6 E+05	-
Radonfolgeprodukte	4,4 E+09	-
Nuklidgemisch außer Tritium	-	3,5 E+02

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-9

**Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland
im Jahr 2007 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern) (Stand 31.12.2007)**



 zentrales Zwischenlager in Betrieb

 Standort-Zwischenlager beantragt

 Nasslager in Betrieb

 Standort-Zwischenlager in Betrieb

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 2007 unterschreiten die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2007 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

2. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH

Bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus durch die Wismut GmbH werden radioaktive Stoffe mit den Grubenwässern und der Fortluft in die Umwelt abgeleitet. Für diese Ableitungen werden von den zuständigen Landesbehörden Grenzwerte festgelegt, deren Einhaltung die Wismut GmbH gemäß der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten – REI Bergbau“ nachweisen muss. Die für das Jahr 2007 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten wurden ([Abbildung II.2-1](#) und [Abbildung II.2-2](#)).

Die Genehmigungswerte wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 m³/h, Königstein: 650 m³/h, Ronneburg: 560 m³/h bis 700 m³/h, Seelingstädt: 300 m³/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l, WBA Ronneburg: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq Radium-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) errechnet.

Während sich die Ableitungen von Radium-226 mit den Grubenwässern gegenüber dem Vorjahresniveau leicht erhöhten, stieg die Menge des abgeleiteten Urans deutlich an. Dies ist im Wesentlichen auf die höheren zu behandelnden Wassermengen beim Flutungsverlauf der Grube Ronneburg sowie auf die Zunahme der Haldensickerwässer im Raum Schlema/Alberoda durch die überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Jahr 2007 zurückzuführen.

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsbetriebe zeigten, traten in den unmittelbar von diesen Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen auf Grund der geringeren Abflussmenge Uran- und Radium-226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürli-

chen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt, so dass dadurch keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen. Dagegen wurden in den großen Vorflutern der Bergbauggebiete (Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren keine oder nur geringfügige Erhöhungen der Urankonzentrationen und der Radium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau festgestellt.

Auch bei den Ableitungen für Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Ergebnis der fortschreitenden Verwahrung untertägiger Grubenfelder wurden diese Ableitungen im Vergleich zu den Vorjahren ebenfalls verringert und teilweise eingestellt.

Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und an einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z. B. Inversion in Tallagen) Radon-222-Konzentrationen im Freien festgestellt, die bis etwa das Sechsfache des natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveaus betragen können. Radon-222-Konzentrationen im Freien, die aus Sicht des Strahlenschutzes bedeutend sind, treten jedoch in Wohngebieten nur in unmittelbarer Nähe solcher Hinterlassenschaften auf.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden vom BfS im Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ systematisch erfasst, untersucht und radiologisch bewertet. Die Ergebnisse des Projektes stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Behörden in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zur Verfügung. Seit September 2003 werden auf der Grundlage eines Verwaltungsabkommens zwischen dem Bund und dem Freistaat Sachsen die sächsischen sogenannten Wismut-Altstandorte saniert.

3. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt

Die StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers 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. Für die Genehmigung dieser Anwendungen ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig.

Abbildung II.2-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre im Jahr 2007

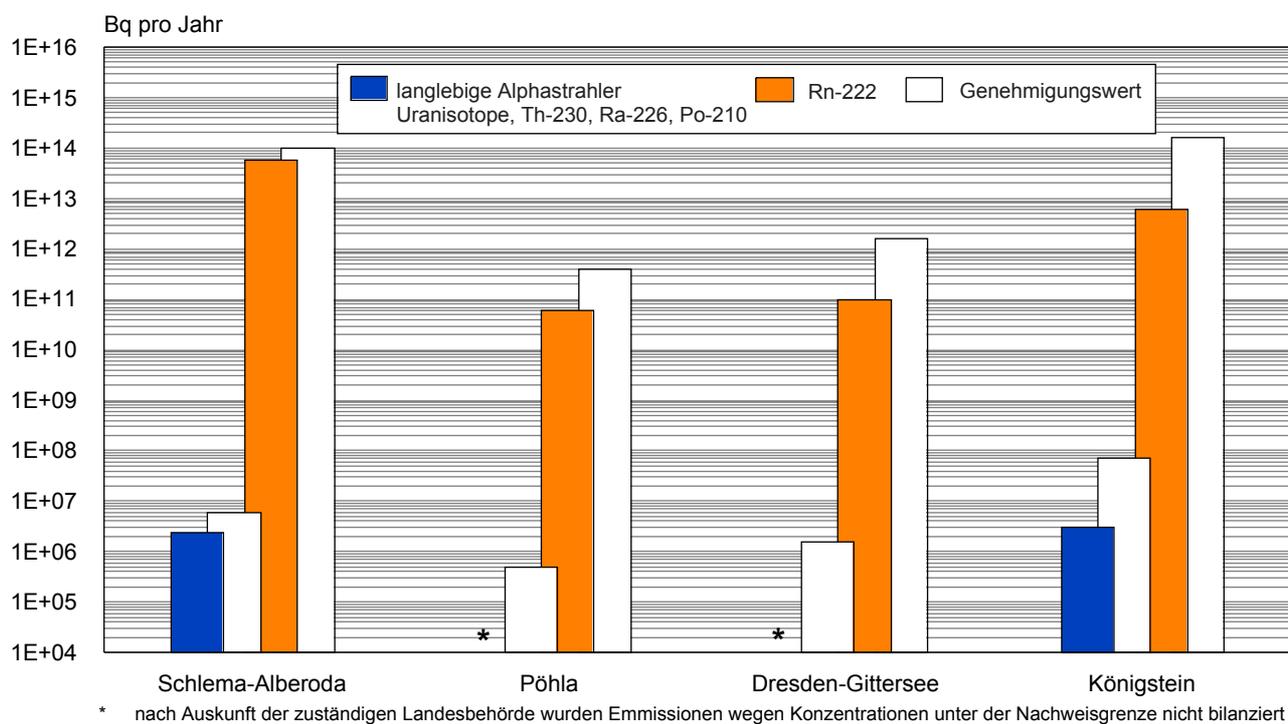
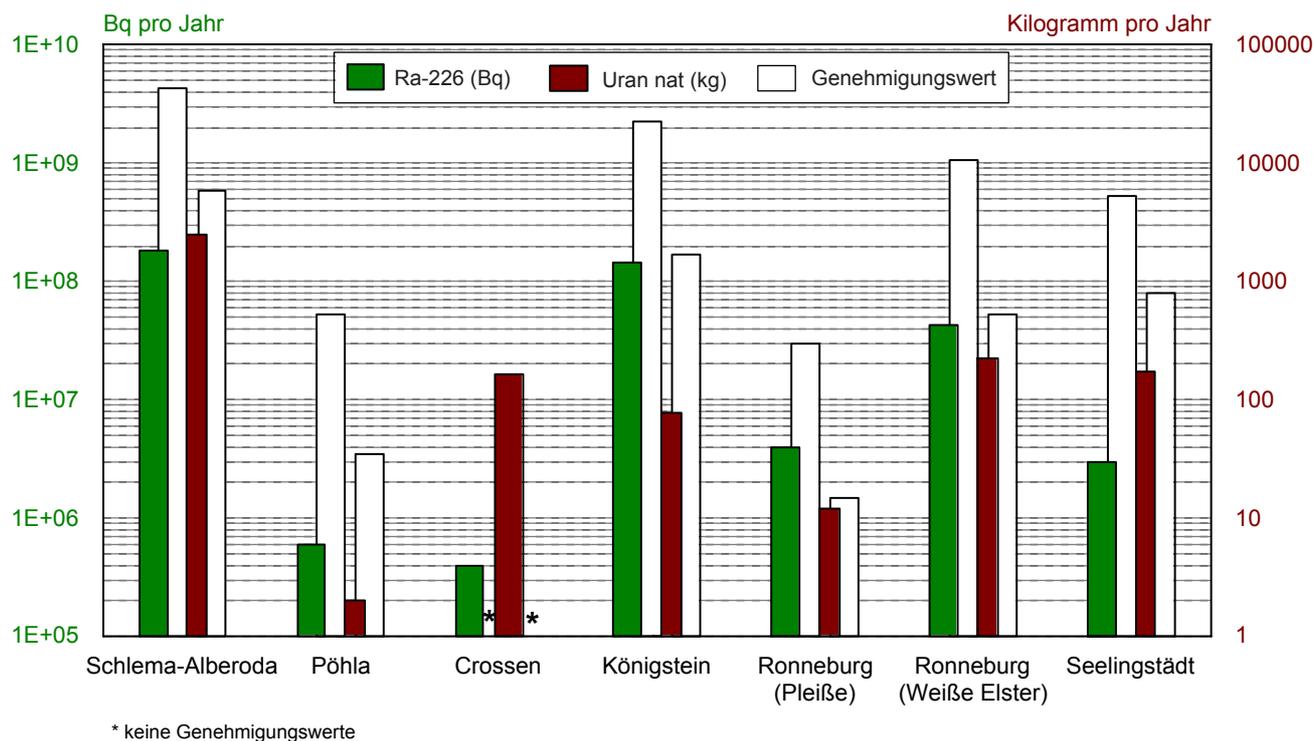


Abbildung II.2-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2007



3.1 Industrierzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrierzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe unterschiedlicher 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-, Dicken- 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 Industrierzeugnissen und die RöV den Einsatz von Röntengeräten, um – neben den Arbeitnehmern – die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrierzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

3.2 Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Es setzt die Richtlinie 2003/122/EURATOM um, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Standort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird durch das Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1 -Wertes: z. B. Iridium-192 > 10 GBq, Kobalt-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o.g. Richtlinie der EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

In Deutschland existiert für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z. B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cäsium-137 oder Iridium-192). Andere Einsatzbereiche liegen in der For-

schung. Hier wird u. a. Kobalt-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Californium-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

Ende 2007 wurden im Register für hochradioaktive Strahlenquellen insgesamt 453 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten aufgenommen und 47 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt. Zu 7626 registrierten hochradioaktiven Quellen wurden 16863 Meldungen über deren Erhalt und Abgabe in das Register aufgenommen.

3.3 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 keine Bauartzulassung 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 auf 1 μ Sv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

3.4 Freigabe schwach radioaktiver Stoffe

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur schwach radioaktiv kontaminiert oder aktiviert wurde. Den Hauptanteil bilden Baustoffe, die im Zuge der Freigabe, d.h. der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung, wieder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden können.

Zur Frage, unter welchen Bedingungen schwach radioaktive Stoffe freigegeben werden können, hat sich innerhalb der internationalen Strahlenschutzgemeinde ein Konsens gebildet, wonach eine Freigabe solcher Stoffe dann verantwortet werden kann, wenn sie für Einzelpersonen der Bevölkerung nur zu geringfügigen Strahlenexpositionen, die allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert (μ Sv) im Kalenderjahr liegen, führt. Dieses Schutzziel ist immer Ausgangspunkt bei der Herleitung von Freigabewerten.

Die Freigabe von radioaktiven Stoffen basiert auf der Entscheidung, ob die freizugebenden Stoffe rechtlich als radioaktiv einzustufen sind oder nicht. Die Abgrenzung erfolgt über Entscheidungsmessungen und den Vergleich mit entsprechenden Freigabewerten.

Die EU-Grundnormen (96/29/EURATOM) enthalten keine Freigabewerte. Bislang stellt die EU ihren Mitgliedstaaten für die Festlegung der Freigabewerte nur Grundsätze zu Verfügung. Im Rahmen der bevorstehenden Fortschreibung der EU-Grundnormen wird jedoch die Einführung solcher Richtwerte für die uneingeschränkte Freigabe, bei der keine Bedingungen an die weitere Verwendung und Verwertung der freigegebenen Stoffe gestellt werden, angestrebt. Derartige Datensätze wurden bereits von der Artikel 31-Expertengruppe der EU erarbeitet und in der Radiation Protection Series

No.122¹ im Jahre 2000 veröffentlicht. Fünf Jahre später hat die IAEA in der Safety Reports Series No.44² ebenfalls die Herleitung von Richtwerten und einen entsprechenden Datensatz veröffentlicht, der für die Freigabe angewandt werden kann.

Freigabewerte können z.B. als spezifische Aktivität (in Bq/g) berechnet und in Tabellenwerken dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Es kann somit direkt über eine Messung der Aktivität des freizugebenden Materials entschieden werden, ob durch eine Freigabe eine Überschreitung der Dosisleistung von 10 µSv pro Person im Kalenderjahr zu erwarten wäre oder nicht. Sollte der gemessene Wert unter dem gesetzlich festgelegten Freigabewert liegen, kann das Material freigegeben werden. Die Errechnung der tabellierten Freigabewerte geschieht mittels komplexer radioökologischer Modelle, die verschiedene Expositionsszenarien, beispielsweise solche, die einen Deponiearbeiter betreffen, beinhalten. Über den Wert entscheidet in der Regel das restriktivste Szenarium, so dass alle weiteren Szenarien hierdurch automatisch abgedeckt sind (konservativer Ansatz). Freigabewerte liegen oft nahe an der technischen Nachweisgrenze für ionisierende Strahlung.

III. Berufliche Strahlenexposition

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in fünf Bereiche:

- Bei Personen, die genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv/a erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. In der Praxis werden auch Personen, die in Strahlenschutzbereichen mit einer effektiven Jahresdosis von mehr als 1 mSv/a tätig sind, überwacht. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter (Kapitel III. 1.1).
- Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z. B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt (Kapitel III.1.2).
- Mit der neuen Strahlenschutzverordnung ist auch Luftfahrtpersonal überwachungspflichtig, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann (Kapitel III. 2.1).
- Mit der neuen Strahlenschutzverordnung wurde außerdem in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen die

Überwachung von Personen eingeführt, die bei Arbeiten eine jährliche effektive Dosis von 6 mSv überschreiten können. Dies betrifft z. B. die Beschäftigten in Schauhöhlen, Wasserwerken oder Heilbädern (Kapitel III. 2.2).

- Berufliche Strahlenexpositionen infolge von Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durch Beschäftigte der Wismut GmbH werden nach § 118 StrlSchV erfasst (Kapitel III.2.3).

Die Dosisfeststellung erfolgt in der Regel durch die von Landesbehörden bestimmten Messstellen. Diese melden ihre Dosisfeststellungen zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz. Dort werden die Meldungen aus den o. g. fünf Bereichen personenbezogen zusammengeführt und unter anderem auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte ausgewertet. Der Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv.

1. Zivilisatorische Strahlenquellen

1.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl dieser überwachten Personen betrug im Jahr 2007 insgesamt ca. 317000 und nahm gegenüber dem Vorjahr um ca. 5000 Überwachte zu. Davon waren ca. 244000 im Bereich der Medizin beschäftigt (ca. 4000 mehr als im Vorjahr). [Abbildung III.1-1](#) zeigt die Anzahl der Überwachten seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Die Anzahl des fliegenden Personals ist seit 2004 in dieser Abbildung enthalten. Da Personen, die die Messstelle wechselten, bis einschließlich 1998 bisweilen doppelt erfasst wurden, kam es zu Mehrfachzählungen. Seit dem Überwachungsjahr 1999 treten infolge der zentralen, personenbezogenen Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen nicht mehr auf.

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 2007 betrug 45 Personen-Sv (ohne fliegendes Personal).

Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die [Abbildung III.1-2](#). Für die Gesamtheit aller Überwachten ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,14 mSv. Es ist jedoch zu beachten, dass bei ca. 82% dieser Überwachten während des ganzen Jahres gar keine Exposition auftrat bzw. die Expositionen unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter lagen. In die-

¹ RP 122 „Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption“ Part I. Recommendations of the Group of Experts established under the terms of Article 31 of the Euratom treaty, European Commission 2000

² Safety Reports Series No.44: “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA, Wien, 2005

sen Fällen wird von den Messstellen als Personendosis der Wert Null festgesetzt. Im Bereich Medizin erhielten ca. 85% und in den nichtmedizinischen Bereichen ca. 73% keine messbare Personendosis (siehe [Abbildung III.1-3](#)). Bei den exponierten Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Bildet man den Mittelwert nur für Exponierte, also für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 57000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,79 mSv. Dieser Wert ist gegenüber dem Vorjahreswert (0,77 mSv) leicht erhöht.

2001 wurde im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM der Jahreshesgrenzwert für die berufliche Strahlenexposition von 50 mSv auf 20 mSv abgesenkt. Bereits ab 1999 ging die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten hatten, deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe [Abbildung III.1-4](#)). Ab 2004 sind in dieser Abbildung auch Grenzwertüberschreitungen durch Expositionen aus natürlichen Quellen enthalten (siehe Kapitel III.2, vor allem III.2.2).

Ist vorauszusehen, dass im Kalenderjahr die Teilkörperdosis für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegte Dosiswerte überschreiten kann, so ist die Dosis für diese Körperteile durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2007 für die Hände bei ca. 20.000 Personen, bei der Haut bei 44 Personen und bei der Augenlinse bei 92 Personen durchgeführt. Von den 20000 Überwachten waren ca. 3 500 Personen exponiert, d.h. sie wiesen Teilkörperdosen von mehr als 1 mSv auf. 2007 wurde der Grenzwert für die Hände (500 mSv) in vier Fällen überschritten.

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den Abbildungen [III.1-5](#) und [III.1-6](#) enthalten.

1.2 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 Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2007 meldeten 16 behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen Dosiswerte von 1 392 inkorporationsüberwachten Personen (2006: 1 600 Personen). Deren Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,03 Personen-Sv. Die maximale Jahresdosis infolge von Inkorporation betrug 3,3 mSv. In [Tabelle III.1-1](#) sind die Ergebnisse zusammengefasst.

2. Natürliche Strahlenquellen

2.1 Flugpersonal

Luftfahrtgesellschaften ermitteln seit 1. August 2003 mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis für das fliegende Personal und melden diese Werte über das Aufsicht führende Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS. In Deutschland wurden im Jahr 2007 ca. 34 000 Personen überwacht, die Kollektivdosis betrug 76 Personen-Sv. Damit hat sich die Anzahl des

Tabelle III.1-1

Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2007

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
H = 0	1 267
0 < H ≤ 0,1	70
0,1 < H ≤ 0,2	28
0,2 < H ≤ 1,0	21
1,0 < H ≤ 6,0	6
6,0 < H ≤ 20,0	0
H > 20,0	0
Gesamt	1 392

überwachten fliegenden Personals um ca. 1 500 Personen erhöht. Dies bedingt auch den Anstieg der Kollektivdosis. Die mittlere Jahresdosis blieb mit 2,2 mSv unverändert. Die Verteilung der Jahresdosen auf verschiedene Dosisintervalle zeigt [Abbildung III.1-3](#). In Bezug auf die Kollektivdosis, die mittlere Jahresdosis und die Form der Dosisverteilung zählt das fliegende Personal zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland. Der höchste Wert der Jahresdosis 2007 betrug 9,0 mSv, 12 Personen wiesen mehr als 6 mSv auf.

2.2 Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder

Nach § 95 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. Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen die Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2007 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition in Wasserwerken und Schauhöhlen für 84 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen wies nur ein Überwachter keine messbare berufsbedingte Strahlenexposition auf. Die mittlere Jahresdosis dieser 84 Überwachten betrug 6,3 mSv (2006: 81 überwachte Personen, Mittelwert 7,4 mSv). Die Kollektivdosis betrug 0,5 Personen-Sv.

Im Jahr 2007 gab es vier Überschreitungen (2006: sechs Überschreitungen) des Grenzwertes von 20 mSv, alle in Betrieben der Wasserversorgung. Die höchste effektive Jahresdosis betrug 41 mSv (2006: 57 mSv). Bei 30 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt (2006: 34 Beschäftigte) Die Dosisverteilung dieser Gruppe der Überwachten zusammen mit Beschäftigten der Sanierungsbetriebe ist in [Abbildung III.1-3](#) dargestellt.

Abbildung III.1-1

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Deutschland
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

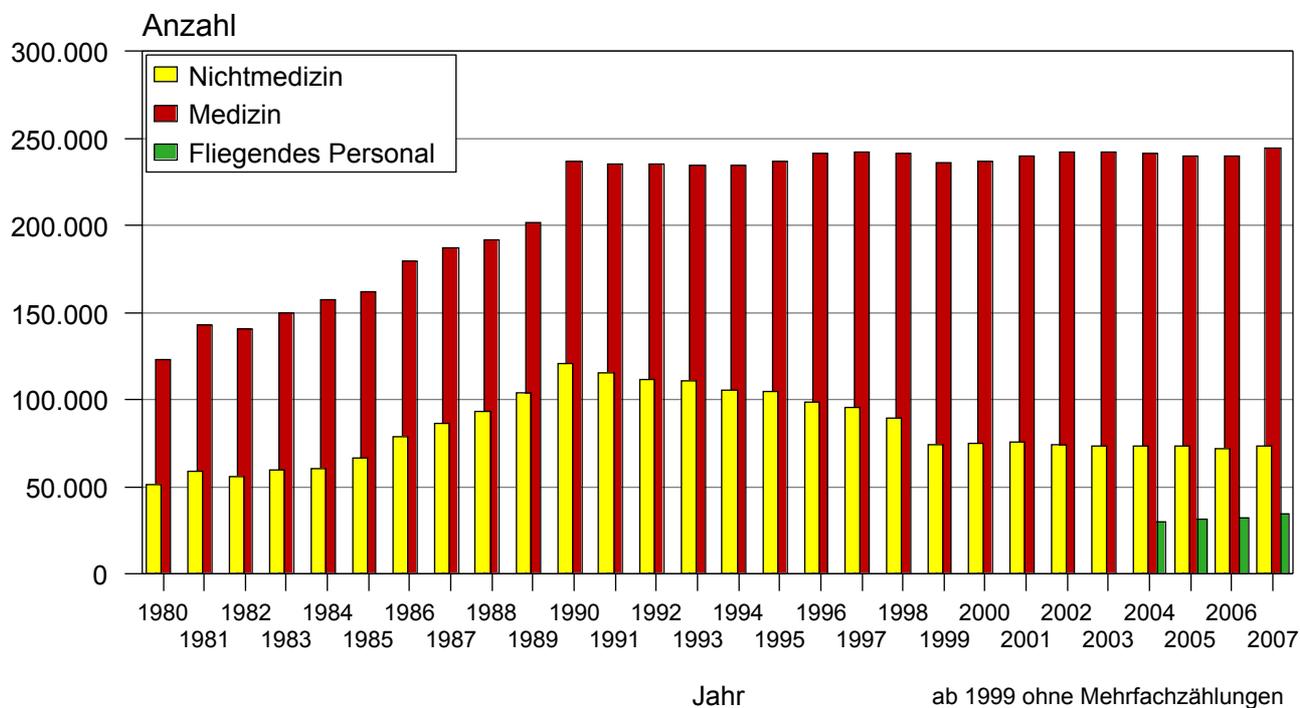


Abbildung III.1-2

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

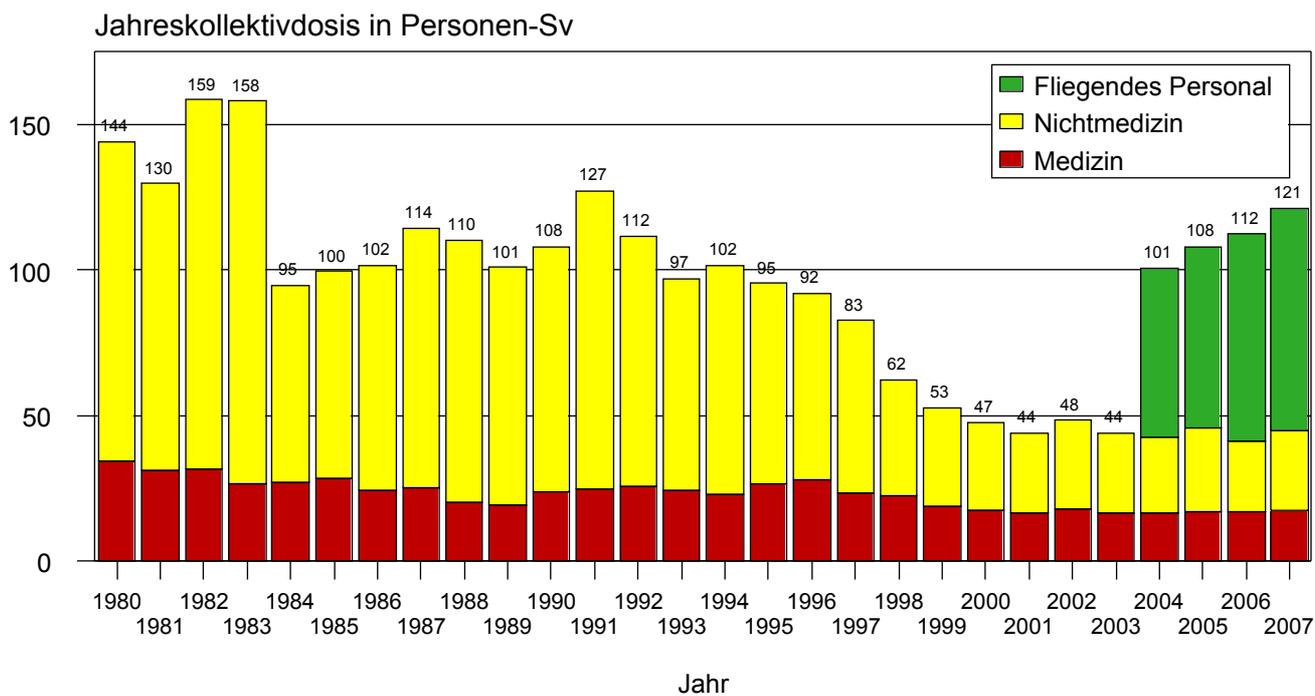


Abbildung III.1-3

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2007

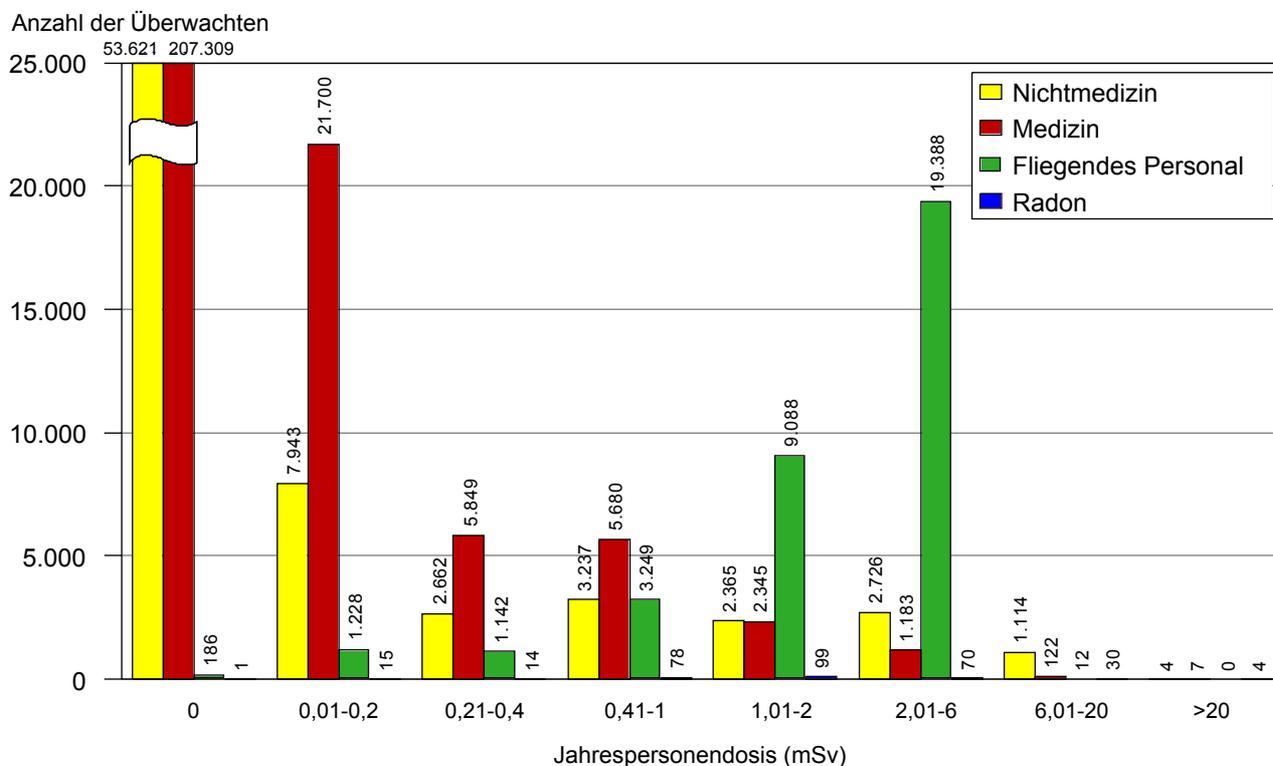


Abbildung III.1-4

Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv

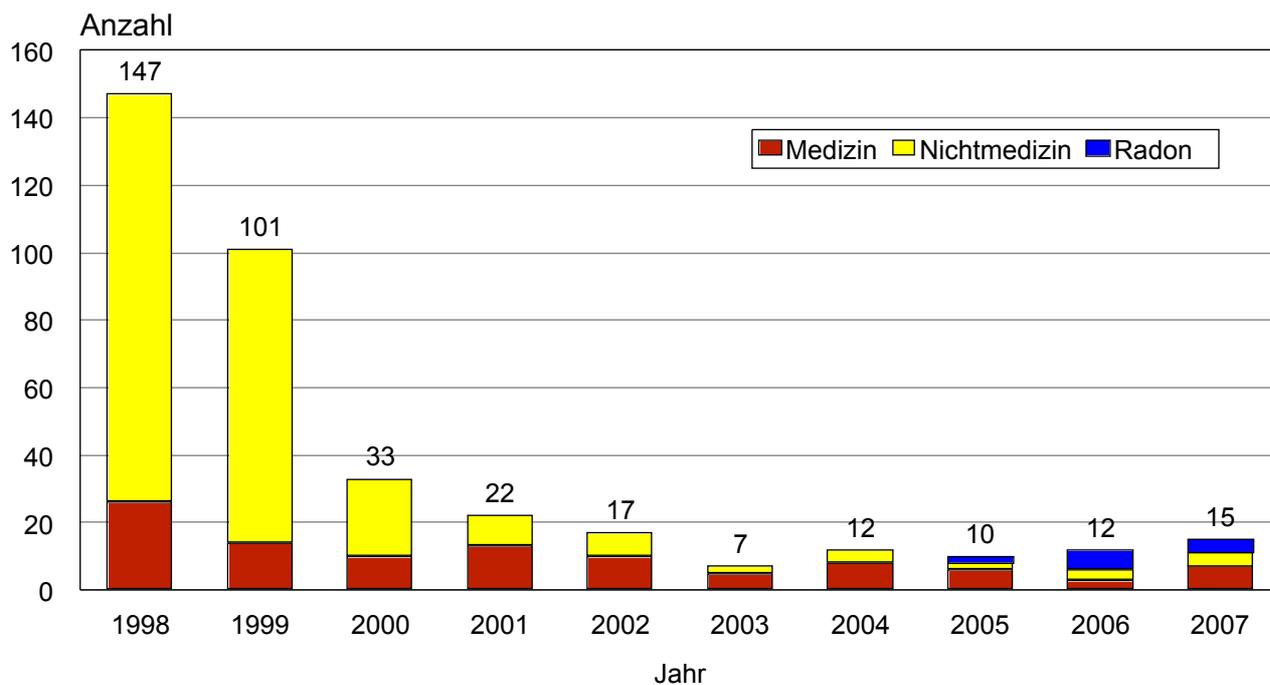


Abbildung III.1-5

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Leistungskernkraftwerken

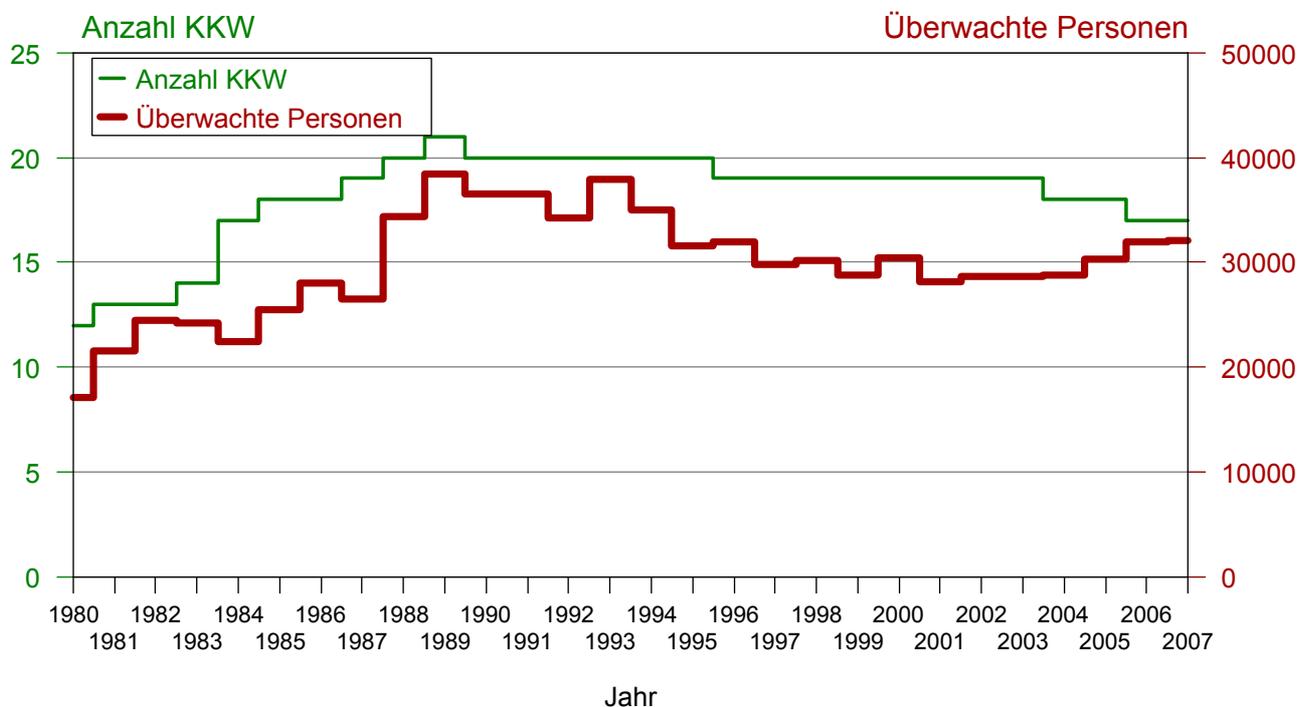
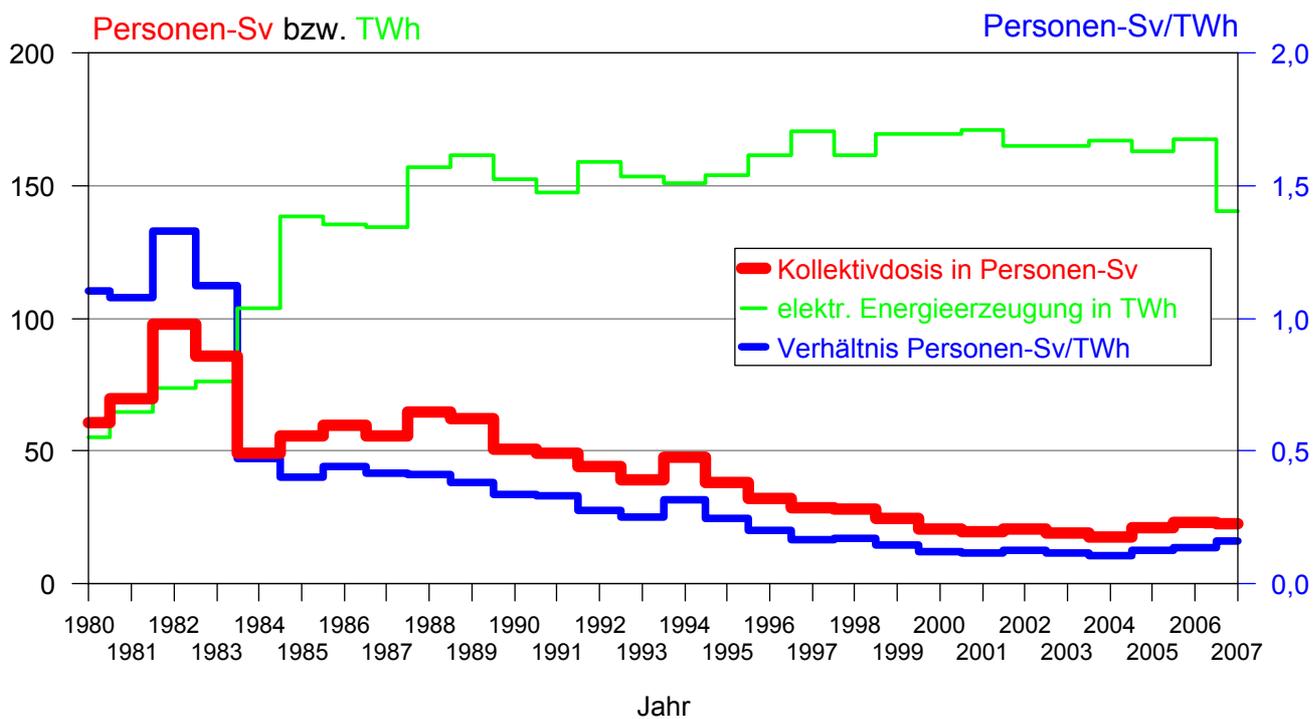


Abbildung III.1-6

Kollektivdosis und Energieerzeugung in Leistungskernkraftwerken



2.3 Sanierungsbetriebe

Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des ehemaligen Uranerzbergbaues ausführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Hierzu werden Messungen mit personengetragenen Exposimetern durchgeführt.

Im Jahr 2007 wurden für 226 Beschäftigte der Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH die Dosiswerte der durch natürliche Strahlenquellen verursachten Strahlenexposition an das Strahlenschutzregister übermittelt. Alle Überwachten wiesen effektive Jahresdosen von mehr als 0 mSv auf. Die mittlere Jahresdosis betrug 1,5 mSv, die maximale Jahresdosis 7,4 mSv. Die Kollektivdosis betrug 0,3 Personen-Sv. Die Anzahl der Überwachten ging gegenüber dem Vorjahr um 7% zurück, die individuelle Strahlenbelastung stieg an (2006: 242 Überwachte, Mittelwert 0,8 mSv, Maximalwert 4,4 mSv).

3. 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 2007 enthält **Tabelle III.3-1**. 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.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
02.01.07	Lösen einer Halterung mit Strahler (Ir-192, 1,3 TBq) vom Ausfahrseil einer Gammarradiographieanlage bei Durchstrahlungsprüfungen	Fehlerhafte Arretierung des Ausfahr Schlauchs	Zusätzliche Expositionen für zwei Mitarbeiter (0,6 mSv und 0,025 mSv) durch die Bergung	Belehrung des Mitarbeiters, Überarbeitung der Arbeitsanweisungen
08.01.07	Verkauf von mit radioaktivem Leuchtstoff versehenen Zifferblättern (Ra-226, 28 kBq) über eine elektronische Auktionsbörse	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, ordnungsgemäße Entsorgung, Dekontaminationsmaßnahmen bei einem Zwischenhändler, Vereinbarung von Kontrollen bei der elektronischen Auktionsbörse
10.01.07	Fund eines Messgeräts mit einem Strahler (Ra-226) bei einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung, vermutlich ohne Kenntnis des radioaktiven Inhalts	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.01.07	Fund eines elektronischen Bauteils mit radioaktiv markierter Leuchtfarbe (Ra-226, 25 µSv/h am Bauteil) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.01.07	Funktionsausfall einer Messsonde mit einem Strahler (H-3, 70 GBq)	Deformation während einer Messung unter Druck	Keine	Ordnungsgemäße Beseitigung durch Fachfirma
23.01.07	Fund eines Handkompasses mit radioaktiv markierter Leuchtfarbe (Ra-226, 10 µSv/h am Handkompass) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung
28.01.07	Freisetzung von ca. 50 l kontaminiertem Wasser (I-131, 122 MBq) aus einem Heißlabor eines Klinikums	Rückstau in der Abwasserleitung einer nahe gelegenen Therapiestation durch nicht ordnungsgemäß durchgeführte Umbauarbeiten	Geringfügige Kontaminationen, keine Inkorporationen	Dekontaminationsmaßnahmen, vorübergehende Einstellung der Radiojod-Therapie, Reparatur der verstopften Abwasserleitung
29.01.07	Versand eines Brachytherapie-Applikators mit einem radioaktiven Seed	Mangelnde Eingangskontrolle, Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Verbesserung der Dokumentation und der messtechnischen Überprüfung in der Eingangskontrolle
29.01.07	Fund von 26 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85, je 18,5 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.02.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 13 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Entsorgung und Sortierung durch Fachfirma
08.02.07	Fund von kontaminiertem Material (I-131) in einer Restabfallbehandlungsanlage	Unzulässige Entsorgung, vermutlich durch einen Therapie-Patienten	Keine	Abklinglagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.02.07	Versehentliche Exposition eines Mitarbeiters bei Röntgen-Durchstrahlungsprüfungen auf einer Werft	unbeabsichtigtes Passieren eines Kontrollbereiches in einem Schiffsrumpf	Nach Abschätzung weniger als 22 µSv Dosis	Untersuchung durch ermächtigten Arzt, Dosisermittlung durch Nachstellung der Prüfung und Messung, Belehrung der verantwortlichen Personen
22.02.07	Fund von 14 Uran-Pellets (Uranangereichert 3,5 %) auf dem Grundstück einer Privatperson	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung der Pellets, Kontaminationsmessungen am Fundort
27.02.07	Fund eines radioaktiven Stoffes im Hausmüll (Ra-226, 8 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Entsorgung und Sortierung durch Fachfirma
02.03.07	Fund eines Stücks Uran (Uran natürlich, 1 µSv/h an der Oberfläche) in einer Schule	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe durch einen Schüler bei einer elektronischen Auktionsbörse	Keine	Sicherstellung des radioaktiven Materials

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
05.03.07	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 30 kBq) bei Reinigungsarbeiten nach einem Trafobrand	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verbesserung der Strahlenschutzanweisungen und Belehrung zur Strahlenschutzorganisation
08.03.07	Verlust eines Gaschromatographen mit Strahler (Ni-63, 370 MBq)	Irrtümlich konventionelle Entsorgung bei Umbau und Umzugsmaßnahmen	Keine	Nachforschungen bei Schrotthändlern, bisher erfolglos
13.03.07	Versendung einer Nebelkammer inklusive der in der Kammer befindlichen Strahler (Th-232, 37 kBq und 3,6 kBq)	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Keine
16.03.07	Fund eines Strahlers (Cs-137, 6 MBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.07	Fund eines Radium-Trinkbechers (Ra-226, 26 µSv/h am Radium-Trinkbecher) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung
30.03.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (Th-232, 0,4 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Freigabe zur weiteren Verwendung
02.04.07	Fund eines radioaktiven Bauteils (Co-60, 870 Bq/g) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
02.04.07	Fund von 80 Stück Auslöseknopf-Notfallschirmen (Ra-226, 15 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücknahme und Entsorgung durch die Bundeswehr
14.04.07	Verlust von 13 Ionisationsrauchmeldern im Brandschutt	Brand einer Firmenhalle mit 25 Ionisationsrauchmeldern und einem Strahler (Pm-147)	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung der restlichen 12 Ionisationsrauchmelder, Bergung des Pm-147-Strahlers
19.04.07	Angebot eines Ra-Emanators bei einer elektronischen Auktionsbörse	Unkenntnis nach Fund des Emanators im Schrott	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.04.07	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen kontaminierter Asche mit Metallspänen im Schrott	Unkenntnis	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.04.07	Fund eines Uran-Abschirmbehälters (Uran-abgereichert, 240 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.04.07	Fund eines radioaktiv kontaminierten Zellstoffstücks (I-131, 800 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Kontaminationsprüfung durch Sachverständigen, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
30.04.07	Störung am Quellen-Ausfahrmechanismus eines Afterloading-Gerätes (Ir-192, 15,5 GBq) nach Quellenwechsel	Lösen des Seilzuges von der Antriebsrolle	Nach Abschätzung 45 µSv Personendosis für den Medizinphysik-Experten durch die Strahlerbergung	Sicherstellung des Strahlers im Notfall-Container, Absperrung, sicherheitstechnische Überprüfung nach Reparatur
03.05.07	Fund von zwei Radium-Trinkbechern, ein Gefäß mit Strahler (Ra-226, 48 kBq), ein Gefäß mit Kontaminationen (Ra-226)	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe aufgrund von Unkenntnis	Keine	Ablieferung an die Landessammelstelle
08.05.07	Fund von 3 Behältern mit radioaktiven Stoffen (Cs-137, je 1 GBq) im Schrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und Klärung des Verbleibs
18.05.07	Fund eines Blitzableiters (Ra-226, 25 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Metallverarbeitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma
21.06.07	Exposition eines Mitarbeiters bei einer Durchstrahlungsprüfung	Mangelnde Kennzeichnung und Information, Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Nach Berechnung 240 µSv Exposition	Verbesserungen der Arbeitsabläufe und Anweisungen bei der Firma
22.06.07	Fund eines nicht genehmigten Prüfstrahlers (Cs-137, 296 kBq) bei einer Privatfirma	Fehlende Umgangsgenehmigung, mangelnde Information	Keine	Sichere Aufbewahrung, Wischprüfung und Kennzeichnung des Prüfstrahlers, Einleitung eines Genehmigungsverfahrens nach § 7 StrlSchV durch den Betreiber
01.07.07	Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen
03.07.07	Fund von 6 radiumhaltigen Kathodenstrahlröhren (Ra-226, 700 kBq) bei der Verschrottung in einer Wiege- und Sortieranlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.07.07	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137, 370 kBq) bei einer Privatfirma	Nicht angezeigter Umgang	Keine	Unbekannt
16.07.07	Verlust eines Strahlers (Am-241) beim Brand eines Mähreschers	Brand mit völliger Zerstörung der Quellenaufnahme, Löschung nicht möglich	Keine erhöhte Kontamination nachweisbar	Ordnungsgemäße Entsorgung des ölkontaminierten Bodens
19.07.07	Fund von zwei Strahlenquellen (Ba-133, 20 µSv/h in 10 cm Entfernung vom Strahler) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.07.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 3 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma
02.08.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 26 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma
16.08.07	Unerlaubtes Abstellen einer Lieferung mit Radiopharmaka (Ge-68, 330 MBq) in einer nuklearmedizinischen Abteilung	Verantwortungslosigkeit	Keine	Ordnungsgemäße Lagerung, Verhängung eines Bußgeldes gegen den Fahrzeugführer
17.08.07	Verlust eines Prüfstrahlers (Sr-90, 20 MBq) beim Transport	Unbekannt	Keine	Nachforschungen bisher erfolglos
24.08.07	Fund eines Strahlers (Cs-137, 10 GBq) im Eisenschrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Nach Abschätzung max. 0,2 mSv Ganzkörperdosis für Transportpersonal	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.08.07	Fund eines Strahlers (Cs-137, 12 GBq) im Eisenschrott bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Nach Abschätzung max. 0,2 mSv Ganzkörperdosis für Transportpersonal	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.09.07	Fund eines Strahlers (Ra-226, 0,9 µSv/h an der Containeroberfläche) beim Hauptzollamt	Unzulässige Einfuhr radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.09.07	Fund eines Prüfstrahlers (Ra-226, 2,22 GBq) in einer Privatfirma	Zufälliger Fund bei Aufräumarbeiten, evt. unterlassene Entsorgung durch den vorherigen Nutzer	Keine	Dichtheitsprüfung, ordnungsgemäße Entsorgung
05.09.07	Unbeabsichtigte Exposition von 9 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage	Illegaler Aufenthalt der Personen im Laderaum eines LKW	Keine	Übergabe des Vorgangs an die Bundespolizei
17.09.07	Fund eines radioaktiven Strahlers (Ra-226, 1,2 MBq) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe an den Genehmigungsinhaber
17.09.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 4,5 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllentsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
19.09.07	Behandlung einer mit radioaktivem Jod (I-131, 110 MBq) therapierten Patientin außerhalb von Strahlenschutzbereichen	Erfordernis einer zusätzlichen Diagnostik nach Auftreten einer akuten neuralgischen Symptomatik bei der Patientin	Keine	Begleitung durch Strahlenschutzbeauftragten, Einrichtung eines temporären Kontrollbereichs, ordnungsgemäße Entsorgung der Ausscheidungen, Entlassung der Patientin nach Dosismessung
26.09.07	Fund von mit radioaktiven Stoffen kontaminiertem Hausmüll (I-131, 29 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen lassen und ordnungsgemäße Entsorgung
04.10.07	Unbeabsichtigte Exposition von 14 Personen in einer LKW-Durchleuchtungsanlage	Illegaler Aufenthalt der Personen im Laderaum eines LKW	Keine	Übergabe des Vorgangs an die Bundespolizei
24.10.07	Vorübergehender Verlust von Jod-Therapie-Kapseln (I-131, 9,5 GBq) beim Transport	Unbekannt	Keine	Keine, Versandstück wurde wiedergefunden
29.10.07	Fund von radioaktiven Stoffen und Abfällen in einer nuklearmedizinischen Laborpraxis nach Insolvenz	Unterlassene Entsorgung	Keine	Anordnung der Entsorgung an den Insolvenzverwalter, Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
30.10.07	Fund eines Flugrichtung-Anzeigeelements mit Leuchtfarbe (Ra-226)	Übergabe durch den Besitzer	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.11.07	Fund von radioaktiv kontaminiertem Staub (Cs-137, 37 Bq/g) im Filter eines Stahlwerks	Unbekannt	Keine	Beprobung des Filterstaubes, Prüfung der endgültigen Verbringung des kontaminierten Materials, polizeiliche Ermittlungen
13.11.07	Verlust von Bleibausteinen aus einem Forschungszentrum	Diebstahl	Keine, da die Bleibausteine bereits vermessen und zur Freigabe vorgesehen waren	Polizeiliche Ermittlungen
22.11.07	Fund von kupferrohrähnlichem Kabel mit Kontaminationen (Ra-226, max. 80 µSv/h an der Oberfläche) in einer Schrottladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.11.07	Fund von zwei Anzeigeelementen mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 1,5 MBq) im Schrott bei einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
30.11.07	Verlust eines freigestellten Versandstückes (P-32, 25,8 MBq) beim Transport	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Nachforschungen, bisher erfolglos
07.12.07	Fund von radioaktiv kontaminiertem Isoliermaterial (Th-232) im Schrott bei einer Schrotthandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Laboruntersuchungen des Isoliermaterials, Prüfung des Entsorgungswegs
10.12.07	Verkauf eines Aufsteckvisiers mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 22 Bq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
27.12.07	Fund von kontaminiertem Material (I-131) im Hausmüll bei einer Restabfallbehandlungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklinglagerung und ordnungsgemäße Entsorgung

IV. Medizinische Strahlenexposition

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen diagnostischen und therapeutischen Stand erreicht. Sowohl bei der Indikationsstellung als auch an die Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch die medizinische Anwendung 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 ebenfalls erzielt werden kann.

Mit Inkrafttreten der novellierten StrlSchV im Jahr 2001 und der novellierten RöV im Jahr 2002 und der dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung wurde insbesondere der Strahlenschutz des Patienten wesentlich verbessert mit dem mittelfristigen Ziel, die Dosis pro Untersuchung zu reduzieren. Die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe am Menschen angewendet werden, ist mit dem Begriff der „rechtfertigenden Indikation“, d. h. der Notwendigkeit einer Nutzen-Risiko-Abwägung für den individuellen Patienten durch einen Arzt mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe, festgelegt und in einem eigenen Paragraphen geregelt. Leider wird die rechtfertigende Indikation zurzeit aus verschiedenen Gründen nicht immer so restriktiv gestellt, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten notwendig ist. Daher wurde von der Strahlenschutzkommission gemeinsam mit den

medizinischen Fachgesellschaften eine Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen erarbeitet, die 2006 veröffentlicht wurde³.

Darüber hinaus erfolgt nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS). Weiterhin wurden die Anforderungen an die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz und an die Kenntnisse der Personen, die ionisierende Strahlung 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 (DRW) zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ÄS Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungenügend über den DRW liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und beseitigen zu können.

1. Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt bereits seit Anfang 1990 Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Mit Inkrafttreten der novellierten RöV im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen.

Die Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen basieren hauptsächlich auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassen Zahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Es besteht ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS.

³ SSK, Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, Bonn 2006, www.ssk.de/pub/kurzinfo/h51.htm

Abbildung IV.1-1

Häufigkeit von Röntgen- und CT-/MRT-Untersuchungen pro Einwohner in Deutschland

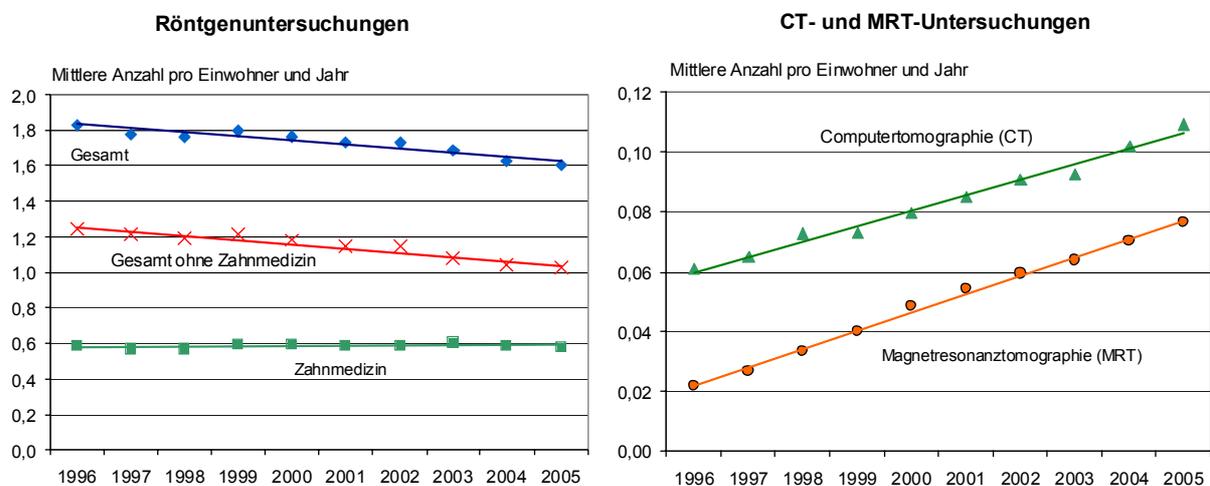
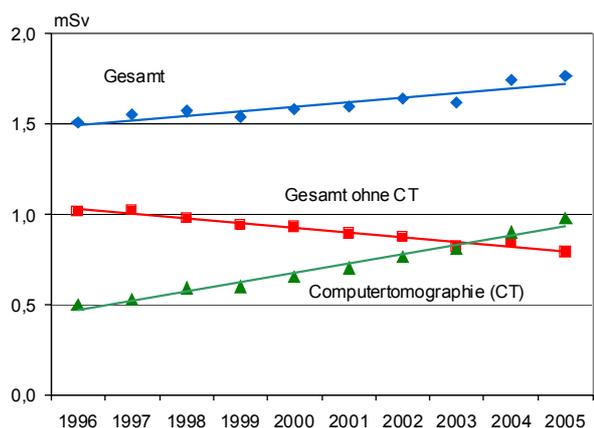


Abbildung IV.1-2

Mittlere effektive Dosis durch Röntgen- und CT-Untersuchungen pro Einwohner und Jahr (mSv)



Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2005. Für die Analyse der Daten wird ein standardisiertes Verfahren eingesetzt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich ist. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

Für die Auswertung werden auch aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosismittlung im konventionellen Bereich) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Modellannahmen erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und

Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich sehr konservative Annahmen durch validere Schätzungen ersetzt werden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten etwas geringere Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellannahmen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

Bei den Ergebnissen der vorliegenden Auswertung muss insbesondere berücksichtigt werden, dass am 1. April 2005 ein neuer Abrechnungskatalog für ambulante Leistungen der gesetzlichen Krankenversicherung (Einheitlicher Bewertungsmaßstab EBM 2000plus) eingeführt wurde. In einigen Bereichen waren mit Hilfe des EBM 2000plus genauere Abschätzungen möglich. Dies betrifft insbesondere den Bereich der Computertomographie (CT), wo nun auf Grund der detaillierten Leistungsziffern des EBM 2000plus eine genauere Abschätzung der Anzahl der Serien pro CT-Untersuchung möglich war. Nach Korrektur für die zurückliegenden Jahre ergibt sich eine etwas geringere Häufigkeit für CT-Untersuchungen ge-

genüber der Vorjahresauswertung und somit auch eine geringere mittlere effektive Dosis pro Einwohner.

Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996 bis 2005

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – 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 nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2005 nahm leicht ab, wobei der Wert für das Jahr 2005 bei etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr liegt (siehe [Abbildung IV.1-1](#)). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik macht konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen aus. Neben den zahnmedizinischen Untersuchungen entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d. h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (vergleiche auch [Abbildung IV.1-3](#)).

In der Trendanalyse ist am auffälligsten die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen – insgesamt um nahezu 80% über den beobachteten Zeitraum (siehe [Abbildung IV.1-1](#)). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z. B. der Spiral-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den „alternativen“ bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie MRT (Anstieg um 250% über den Zeitraum 1996 bis 2005, siehe [Abbildung IV.1-1](#)).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Thorax und des Bauchraumes einschließlich des oberen Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Urogenitaltrakts abgenommen.

In [Tabelle IV.1](#) sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis 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 Untersuchungsverfahren ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen 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 gehören die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße durchgeführt werden.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit Ausnahme der Magnetresonanztomographie (MRT) mit keinem anderen radiologischen Diagnoseverfahren erreicht wird. Hier ist eine besonders strenge Indikationsstellung, d. h. die Abwägung zwischen Nutzen und Risiko für den Patienten durch den anwendenden Arzt, erforderlich.

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

Die mittlere effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland stieg von ca. 1,5 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2005 an (siehe [Abbildung IV.1-2](#)). Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2005 ab (siehe [Abbildung IV.1-2](#)).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) tragen weniger als 10% zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2005 jedoch etwa drei Viertel (siehe [Abbildung IV.1-3](#)).

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit erkranken jährlich über 57 000 Frauen neu an Brustkrebs⁴, wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 63 Jahren liegt. Insgesamt etwa 17 500 Frauen verstarben im Jahr 2005 an Brustkrebs. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) in einer definierten Bevölkerungsgruppe den Erfolg einer Therapie und damit die Überle-

⁴ Krebs in Deutschland 2003-2004. Häufigkeiten und Trends. 6. überarbeitete Auflage. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.), Berlin 2008

benswahrscheinlichkeit der Betroffenen maßgeblich erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings entsprechend der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen – in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts – zu schaffen. Zur Zeit wird das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (beschwerdefreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Im April 2005 wurden die ersten Screening-Einheiten zertifiziert.

BMU und BfS haben sich in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Kranken-

kassen für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms sind zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten: Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach dem Verständnis der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene

Tabelle IV.1

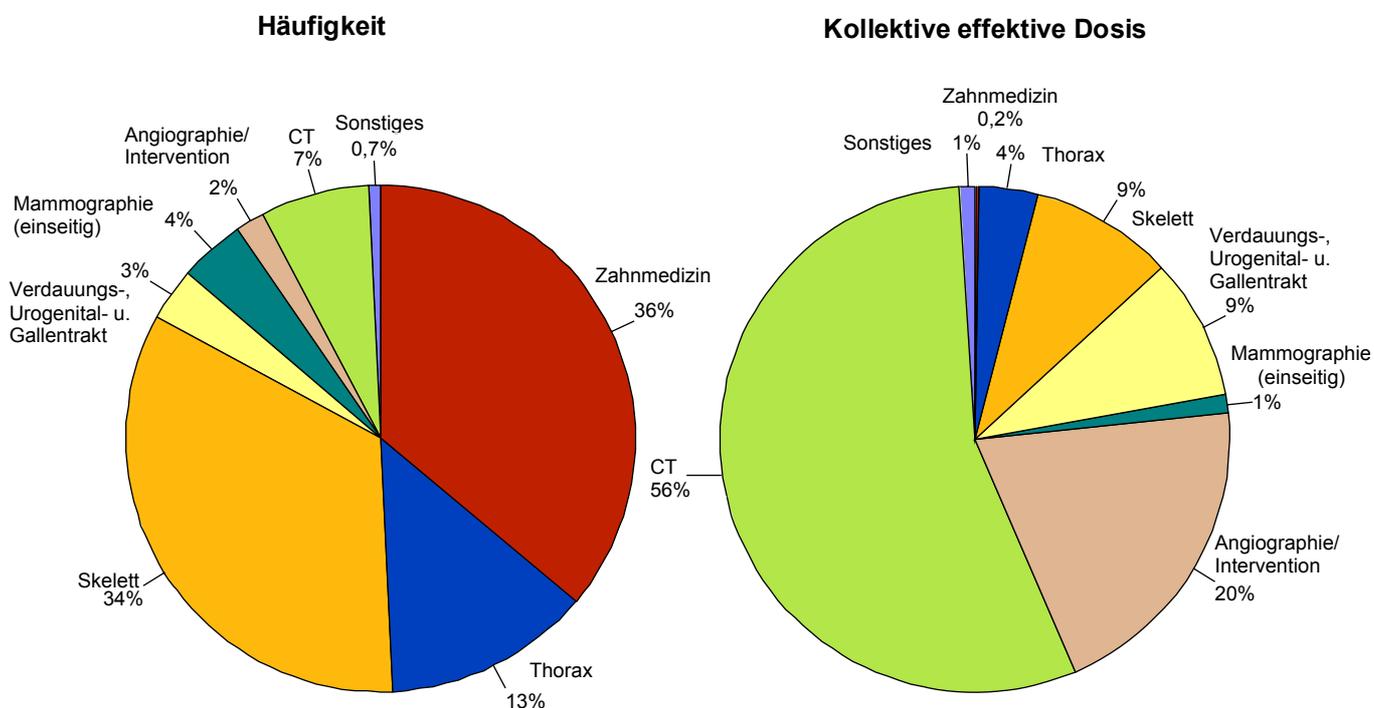
**Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten
70 ± 5 kg Körpergewicht**

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	< 0,01 – 0,1
Schädelaufnahme	0,03 – 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 – 0,3
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 – 1,2
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 – 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 – 18
Galle	1 – 8
Harntrakt	2 – 5
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 – 2
Angiographie und Interventionen	10 – 30
CT*-Untersuchungen	
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 IV.1-3

Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2005



Strahlenrisiko überwiegt. Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission zusammen mit dem BfS die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich:

Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch die Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere

Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Länderbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

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 radioaktiven Arzneimitteln 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 Nuklid Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der 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. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das – ggf. in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Für die Beurteilung der Strahlenexposition von Patienten durch die nuklearmedizinische Diagnostik wurde die Häufigkeit von Radionuklidapplikationen im Jahr 2005 und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland ermittelt.

In den Jahren 1996 bis 2005 wurden in Deutschland ca. 4,2 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 50 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung IV.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 11500 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,13 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Myokard-, Skelett-, und Schilddrüsenszintigraphie (Abbildung IV.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,5 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,8 mSv pro Person im Jahr 2005) ist die Exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte 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.

3. Therapie mit ionisierender Strahlung

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird auf ca. 230000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 206000 bei Frauen geschätzt⁴. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer und Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Ziel in der Strahlentherapie ist es, das Tumorgewebe unter größtmöglicher Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. 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 deren interdisziplinären Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen (ultraharte Röntgenstrahlen) oder schnelle Elektronen erzeugt werden. Die Bestrahlungsplanung erfolgt heutzutage meist mithilfe der Computertomographie, mittels derer ein dreidimensionales Modell der Bestrahlungsregion erstellt wird.

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

Bei der so genannten Brachytherapie erfolgt die Bestrahlung mithilfe einer Strahlenquelle, die innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Gebietes im Körper des Patienten platziert wird. Ein typisches Anwendungsgebiet der Brachytherapie ist z. B. die Behandlung von Prostatakarzinomen.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“⁵ wurden im Jahr 2007 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,4 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 57000 Patienten einer Strahlentherapie unter-

zogen. Etwa 12% der Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung strahlentherapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhalten jährlich etwa 270000 Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ ist eine mittlere jährliche Steigerung der Strahlentherapien von 5,8% zu verzeichnen.

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. Das bekannteste Beispiel ist das Radionuklid Jod-131, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung Tumorzellen vernichtet. Jährlich werden in Deutschland etwa 60000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung spezieller Gelenkerkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Tumorzellen 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 radiologischen/nuklearme-

⁵ H.-J. Brodersen, Strahlentherapie in Norddeutschland 07/08 – Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 14. Auflage, 21. März 2008, www.strahlentherapie-nord.de

dizinischen Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu bewerten.

5. Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

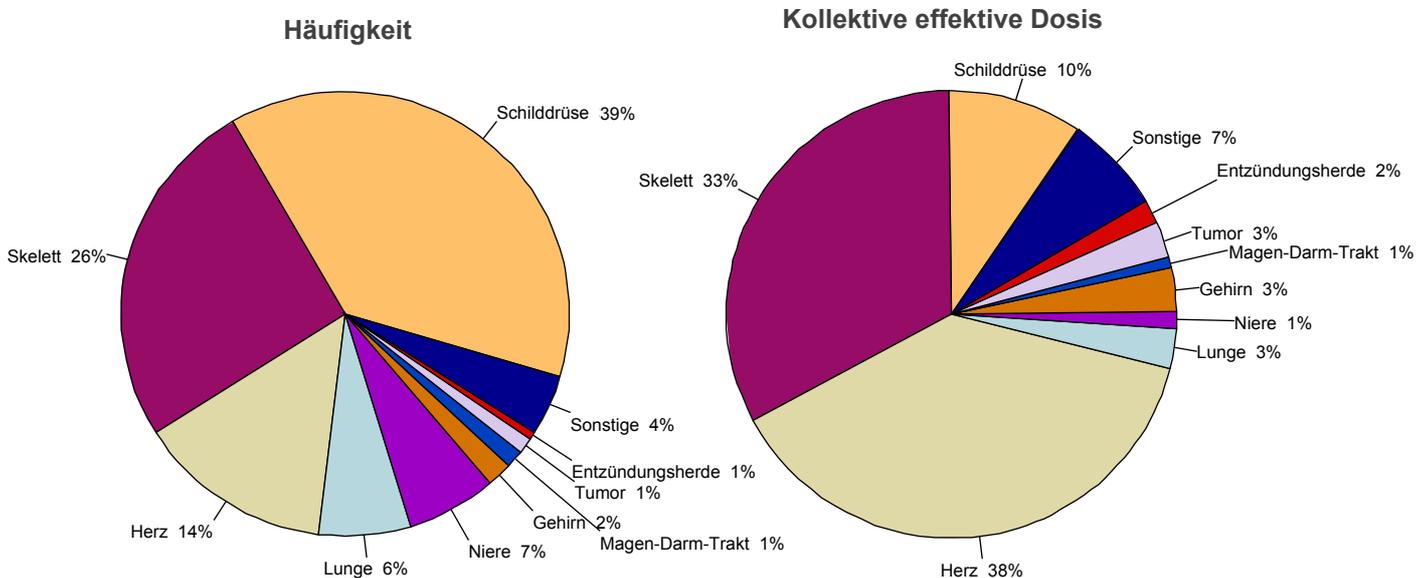
Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr verschieden und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind. In Ländern mit vergleichbaren Gesundheitssystemen, wie der Schweiz, Luxemburg oder Belgien, sind Anzahl und Dosis medizinischer Strahlenexpositionen von ähnlicher Größenordnung wie in Deutschland.

Nach aktuellen Daten aus der Literatur lag in den USA und in Japan im Jahr 2000 allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für **alle** in Deutschland durchgeführten diagnostischen Röntgenleistungen. Im Jahre 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf in den USA 3,2 mSv, wobei der Anteil der CT an der Gesamthäufigkeit aller strahlendiagnostischen Maßnahmen 12% und an der daraus resultierenden kollektiven effektiven Dosis 45% betrug.

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 eine mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe mit Vertragspartnern aus sieben europäischen Ländern gebildet, wobei Deutschland durch das

Abbildung IV.2-1

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1996-2005



BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den teilnehmenden Länder zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden von der Arbeitsgruppe bis Ende 2007 erarbeitet und im Jahre 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht⁶.

Eine Abschätzung des mit der medizinischen Strahlenexposition verbundenen möglichen Risikos macht nur dann Sinn, wenn sich diese auf den Kreis der betroffenen Personen, also die Patienten, bezieht. Dabei darf auch der reale diagnostische oder therapeutische Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt bleiben. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach radiologisch untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde vom BfS initiiert: Von Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, wurden für die zehn häufigsten Krebserkrankungen alle relevanten Patienten- und Untersuchungs-Daten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen - hochgerechnet auf Deutschland - mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen anderer Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahre 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z. B. Pankreaskarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z. B. Brustkrebs).

Weiterhin ist bei einer strahlenhygienischen Bewertung der medizinischen Strahlenexposition zu berücksichtigen, dass es sich bei Patienten häufig um ältere Menschen handelt, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So wurden 2002 etwa 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich für Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter sind.

⁶ European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008
http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

V. Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche

1. Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2007 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cäsium-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 60% 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 zurzeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu eine Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. 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.

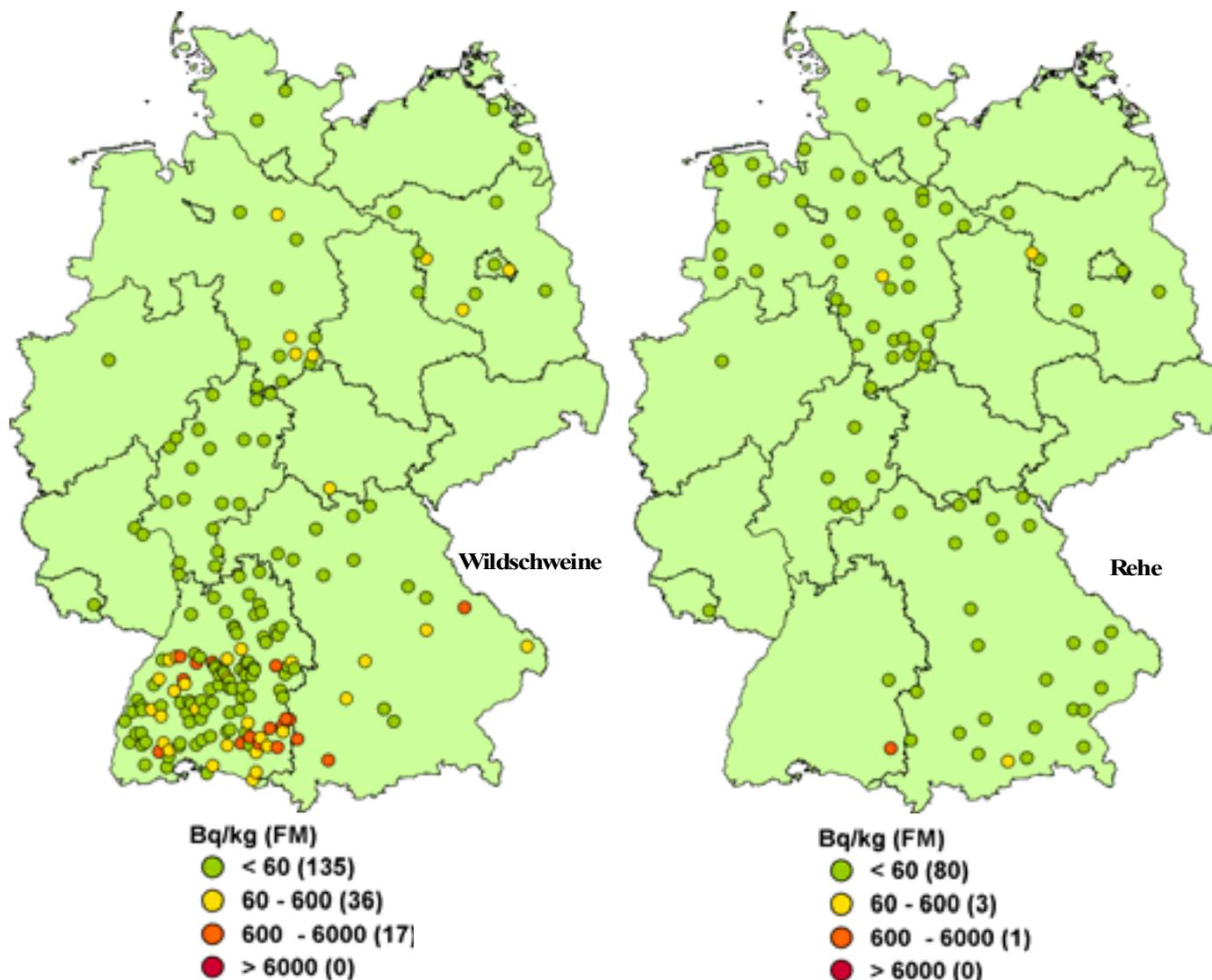
Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,26 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von bis zu 40, 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 Höchstwert von 600 Bq pro kg für Cäsium-137 und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Bericht für das Jahr 2004 wurden Werte für die Kontamination von Reh- und Wildschweinfleisch aus dem Bayerischen Wald angegeben, einer der am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

Abbildung V.1-1

**Cäsium-137-Gehalt (Mittelwerte) von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2007
(Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)**



In [Abbildung V.1-1](#) werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland.

In Bayern liegt der Mittelwert von 21 Messungen an Wildschweinen bei 700 Bq/kg, die Werte reichen bis 8600 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 26 Messungen bei 41 Bq/kg mit einem Höchstwert von 620 Bq/kg.

Auch in Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Der Mittelwert liegt bei 245 Bq/kg (257 Messungen), der Maximalwert bei 8450 Bq/kg. 2007 wurde in Baden-Württemberg auch bei Rehfleisch in einem Fall mit 930 Bq/kg der Höchstwert überschritten. In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 50 Bq/kg

und ein Maximalwert von 250 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen.

Cäsium-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und 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.

2. Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt. Seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Der letzte unterirdische Kernwaffentest fand 2006 in Nordkorea statt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

VI. Nichtionisierende Strahlung

1. Elektromagnetische Felder

Die biologischen Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit werden seit etwa 50 Jahren intensiv untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung, belegt in mehr als 20000 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 Intensitäten unterhalb der Grenzwerte. Für diese konnte trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte auch 2007 kein wissenschaftlicher Beleg erbracht werden. Ebenso ergaben sich keine Hinweise auf Mechanismen, die diesen möglichen biologischen Wirkungen zu Grunde liegen könnten. Die gesundheitliche Relevanz der vor allem in Zellexperimenten beschriebenen biologischen Wirkungen ist weiterhin unklar. Andererseits klagten jährlichen repräsentativen Umfragen zu Folge rund 6% der Bevölkerung über gesundheitliche Beeinträchtigungen mit teilweise dramatischen Krankheitsverläufen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz sowie nationale und internationale Expertengremien verfolgen und bewerten nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Bei der Bewertung neuer Erkenntnisse wird jeweils die Gesamtheit aller Forschungsergebnisse betrachtet, da diese Vorgehensweise die Grundlage für eine ganzheitliche Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen darstellt.

Um Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand zu schließen und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde zu verringern, koordiniert das BfS im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben wie z. B. das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans (UFOPLAN).

1.1 Forschung

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien und einiger tierexperimenteller Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien wird eine Krebs be-

günstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder z. B. für kindliche Leukämie bei zeitlich gemittelten magnetischen Flussdichten über etwa 0,4 μT diskutiert. Die SSK hat ein erhöhtes Risiko für Leukämieerkrankungen bei Kindern, die längere Zeit einer nächtlichen Exposition von 0,4 μT magnetischer Flussdichte und darüber ausgesetzt sind, als Verdacht für eine mögliche gesundheitliche Beeinträchtigung eingestuft. Da für niedrige Intensitäten niederfrequenter Magnetfelder nach wie vor kein Wirkungsmechanismus nachgewiesen ist, empfiehlt die SSK, die geltenden Grenzwerte beizubehalten. Von der IARC werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft, ebenso wie z. B. Koffein oder Autoabgase.

In der wissenschaftlichen Literatur wird über einen Einfluss niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin und bestimmten Krebsmedikamenten auf Brustkrebszellen berichtet. Die wachstumshemmende Wirkung wurde dabei abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des UFO-Planes von 1999 bis 2004 durchgeführt wurde, bestätigte diese Ergebnisse, die zunächst nur einen biologischen Effekt an einigen Brustkrebszelllinien beschreiben. Ein Wirkungsmechanismus hierzu ist unbekannt.

Um die gesundheitliche Relevanz für den Menschen beurteilen zu können, wird, im Rahmen des UFOPLANs eine Folgestudie mit dem Titel „Untersuchung des Wirkungsmechanismus für die Veränderung des Wachstums von Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Onkostatika und niederfrequenten Magnetfeldern“ durchgeführt. Es werden Veränderungen der Genexpression und der Signaltransduktion von Steroidhormonrezeptoren untersucht. Ferner soll geklärt werden, bei welchen Zelllinien die Effekte auftreten und ob die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente ebenfalls beeinträchtigt wird. An der Zelllinie MCF-7 konnte gezeigt werden, dass nach Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer magnetischen Flussdichte von 1,2 μT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe so genannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, wurden die interessantesten und die für die Krebsentstehung (Kanzenogenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene näher untersucht. Es ergaben sich erneut einige signifikante Veränderungen. Diese Ergebnisse wurden mit Hilfe der Mikroarrays erzielt. Bei der Überprüfung der Ergebnisse anhand anderer Methoden zeigten sich Veränderungen, die im Zusammenwirken das veränderte Wachstumsverhalten der Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Tamoxifen (Krebsmedikament) und niederfrequenten Magnetfeldern zumindest teilweise erklären können. Der im Vorläuferprojekt beobachtete Effekt, dass eine Flussdichte von 1,2 μT eine stärkere Wirkung auf die wachstumshemmende Wirkung des Tamoxifen (Krebsmedikament) hat als eine Flussdichte von 100 μT , konnte bei den Untersuchungen der Genexpression bestätigt werden. Die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente, die einen anderen Wirkmechanismus aufweisen als Tamoxi-

fen, wurde durch niederfrequente Magnetfelder kaum oder gar nicht beeinflusst.

Im Jahr 2007 wurde zum Thema Wirkmechanismen niederfrequenter Magnetfelder eine weitere Studie begonnen mit dem Titel: „Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologischen Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion“. Ziel dieser Studie ist die weitere Aufklärung des Mechanismus für die biologischen Wirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern im Bereich niedriger magnetischer Flussdichten. Neben der direkten Wirkung auf das genetische Material (Veränderungen der Genexpression und Genotoxizität) sollen auch andere Effekte untersucht werden, die für das Krebsgeschehen relevant sind, z.B. auf daran beteiligte Proteine, die Zellproliferation, die Signaltransduktion und die Apoptose.

Bei einer Studie zum Thema „Elektrosensibilität“, das im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms durchgeführt wurde (siehe nächstes Kapitel), konnten die Ergebnisse einer Vorläuferstudie an einer größeren Gruppe von Personen im Wesentlichen bestätigt werden. Es zeigte sich, dass die zahlreichen Beschwerden, die von den Betroffenen auf elektrische und magnetische Felder zurückgeführt werden, in der Bevölkerung weit verbreitet sind. Es ergaben sich aber keine Hinweise auf eine spezifische Häufung von Symptomen bei einer bestimmten Gruppe von Personen, womit möglicherweise die Existenz einer Gruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt gewesen wäre. Mit Hilfe der „transkraniellen Magnetstimulation“ wurden die objektive motorische Schwelle und die möglicherweise vorhandene Fähigkeit elektrosensibler Personen und Kontrollpersonen gemessen, subjektiv zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Es zeigte sich, dass die objektiven motorischen Schwellen der Elektrosensiblen nicht verschieden waren von denen der Kontrollpersonen. Andererseits konnte eine klar verminderte Fähigkeit der subjektiv elektrosensiblen Personen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem tatsächlichen Magnetimpuls zu unterscheiden. Da die Altersverteilung der Probanden in dieser Studie gegenüber der Machbarkeitsstudie wesentlich breiter war, konnten auch Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen aufgezeigt werden. Der Abschlussbericht und eine kurze Bewertung aus der Sicht des BfS sind auf der Website des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms unter www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_abges/bio_015.html veröffentlicht.

Die Ergebnisse dieser Studie werden im Zusammenhang mit weiteren Studienergebnissen zu diesem Thema aus dem Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm diskutiert und bewertet, wobei auch die Ergebnisse der internationalen Untersuchungen zum Thema „Elektrosensibilität“ berücksichtigt werden.

Bei Betrachtung aller nationalen und internationalen Studien zum Thema „Elektrosensibilität“ ergibt sich, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen den Beschwerden

der elektrosensiblen Personen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern bisher nicht nachgewiesen werden konnte. Diese Einschätzung wird auch von der WHO geteilt⁷.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2007 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/papiere/dmf_dos.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 Empfehlungen zur Reduktion der individuellen Strahlenexposition auch die Intensivierung der Forschung.

Das BfS begleitet fachlich im Auftrag des BMU Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von Mobilfunkfeldern nachzugehen. Weitere Forschungsvorhaben, die die als Vorsorgemaßnahme gebotene Minimierung der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunkfelder und technische Regulierungsfragen beim Aufbau der UMTS-Netze zum Gegenstand haben, wurden und werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) vergeben (siehe Abschnitte „BMBF“ und „BMWi“).

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm

Um die Risikobewertung bezüglich möglicher „Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurde vom BMU das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) initiiert, das im Rahmen des UFO-Planes des Bundesumweltministeriums durch das BfS umgesetzt und fachlich betreut wird. Hierfür stehen für den Zeitraum von 2002 bis 2008 insgesamt 17 Mio. Euro zur Verfügung, die vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern anteilig übernommen werden. Über den Mitteleinsatz entscheidet allein das BfS, um interessengeleitete Einflüsse auszuschließen.

Gestützt auf mehrere öffentliche Fachgespräche unter Beteiligung der deutschen Strahlenschutzkommission und Vertretern aus Wissenschaft, Politik, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie der Öffentlichkeit im Rahmen einer öffentlichen Konsultation über das Internet (www.emf-forschungsprogramm.de/oeffentlichkeit) wurde das Gesamtprogramm mit Priorisierung der Forschungsvorschläge festgelegt.

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm beinhaltet insgesamt 54 Forschungsprojekte, wovon 22 Projekte

⁷ Fact sheet N° 296 vom Dezember 2005 „Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensibilität (Elektrosensibilität)“

dem Bereich Biologie, 15 Projekte dem Bereich Dosimetrie, 10 Projekte dem Bereich Epidemiologie und 7 Projekte dem Bereich Risikokommunikation zugeordnet

sind. 2006 wurden die Finanzmittel zu 100 Prozent festgelegt. Eine Übersicht über die Vorhaben befindet sich in [Tabelle VI.1-1](#).

Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

Biologie	
1	<p>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie A. Demodulation / Kommunikation Es wird die elektrische Feldverteilung an und in der Zellmembran unter dem Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder berechnet und experimentell überprüft. An neuronalen Netzwerken wird die Aktivität der einzelnen Nervenzellen und die Signalübertragung zwischen den Nervenzellen untersucht.</p>
2	<p>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie B. Pinealdrüse In der Hirnanhangsdrüse wird u. a. das Hormon Melatonin gebildet. Es soll geklärt werden, ob die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks die Hirnanhangsdrüse in ihrer Funktion beeinflussen.</p>
3	<p>Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie C. Funktionen An Immunzellen wird der Einfluss eines GSM-Mobilfunksignals auf zelltypspezifische Funktionen wie die Phagozytoseaktivität, die Produktion freier Radikale (Superoxide und Stickoxide) und die Bildung von Interleukinen sowie mögliche Einflüsse auf das Proteinmuster der Zellen untersucht.</p>
4	<p>Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder Mäuse eines für die Entstehung einer bestimmten Form des Blutkrebses (lymphoblastische Lymphome) empfindlichen Zuchtstammes werden lebenslang elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks ausgesetzt. Es werden die Überlebensrate und das Körpergewicht dokumentiert, Blutwerte analysiert, und relevante Organe auf das Auftreten von Tumormarkern (Tumorkennzeichen) untersucht.</p>
5	<p>in vivo - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation A. Langzeituntersuchungen Hier werden über drei Generationen hinweg Labornager Mobilfunkfeldern ausgesetzt. Der Gesundheitszustand der Tiere, die Körperentwicklung, die Vermehrungsfähigkeit und vor allem mögliche Auswirkungen auf Lernleistung und Gedächtnis werden untersucht.</p>
6	<p>in vivo - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation B. Kanzerogenese Hier wird untersucht, ob die Felder der UMTS-Mobilfunktechnologie bei dauerhafter Befeldung die Leukämierate oder die Bildung solider Tumore in einem Leukämie-Tiermodell, den AKR-Mäusen, beeinflussen.</p>
7	<p>in vitro - Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation C. Blut-Hirn-Schranke Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung der Frage, ob und wie Zellen der Blut-Hirn-Schranke durch hochfrequente Felder der Mobilfunktechnologie beeinflusst werden.</p>
8	<p>Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo) Aufgabe dieses Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke im Tiermodell Ratte zu bestimmen. Es wird untersucht, ob Schäden – ggf. auch zeitverzögert – auftreten, ob sich eine eventuell erhöhte Durchlässigkeit wieder rückbildet, und ob etwaige Veränderungen als Hinweis für eine Gesundheitsschädigung gewertet werden können.</p>
9	<p>Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut In der geplanten Studie über mögliche HF-bedingte, genotoxische Effekte werden DNA-Strangbrüche, chromosomale Veränderungen, Mikrokerne und Schwesterchromatidaustausche untersucht. Dazu wird Blut von mehreren Spendern (Erwachsene und Kinder) mit Mobilfunksignalen befeldet und nach einem einheitlichen Protokoll in drei Labors, die nicht die Befeldung durchgeführt haben, parallel analysiert.</p>

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

10	<p><i>Einfluss von GSM Signalen auf isoliertes menschliches Blut</i> <i>B. Differenzielle Genexpression</i> Ziel des Projekts ist die Untersuchung der Frage, ob Felder des Mobilfunks das Proteinmuster in Blutzellen (z. B. die Bildung von Stressproteinen) beeinflussen. Analog zum Projekt Genotoxizität werden Blutzellen (Lymphozyten) erwachsener und jugendlicher Spender befeldet und analysiert.</p>
11	<p><i>Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane</i> <i>A. Das Hörsystem</i> Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Hörsystem zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.</p>
12	<p><i>Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)</i> Als Ergänzung zu dem Projekt „Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem“ soll hier untersucht werden, ob und ab welcher Intensität hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks Tinnitus auslösen könnten.</p>
13	<p><i>Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane.</i> <i>B. Das visuelle System</i> Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Auge zu beschreiben und deren Wirkungsmechanismen zu untersuchen, um die gesundheitliche Relevanz beurteilen zu können.</p>
14	<p><i>Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter</i> In einer umfassenden Literatur- und Datenrecherche wurden mögliche altersabhängige Auswirkungen der HF-Exposition untersucht und kritische Zielstrukturen diskutiert. Als Ergebnis wird empfohlen, kopfnah betriebene Strahlungsquellen mit höchster Priorität zu betrachten. Obwohl auch biologische und epidemiologische Studien machbar sind, werden Projekte mit dosimetrischer Ausrichtung favorisiert. Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass in einer einzelnen Hauptstudie zwar die Fragestellung nicht umfassend beantwortet werden kann, wichtige Teilaspekte aber sinnvoll bearbeitet werden können. Eine Hauptstudie wird auf Basis der Machbarkeitsstudie durchgeführt.</p>
15	<p><i>Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter (Hauptstudie)</i> Durch möglichst realitätsnahe Modellierung sowohl des kindlichen Kopfes als auch der Strahlungsquelle soll die Frage nach Ausmaß und Verteilung der Energieaufnahme und Temperaturveränderungen im kindlichen Kopf untersucht werden. Dabei werden altersabhängige Unterschiede so weit wie möglich berücksichtigt. Untersuchungen an Probanden (Dicke und Elastizität des Ohres, Temperaturmessungen im Gehörgang und auf der Haut) fließen in die Modellierungen ein.</p>
16	<p><i>Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen</i> Ziel des Vorhabens ist es zu klären, ob hochfrequente elektromagnetische Felder, die von Mobiltelefonen abgegeben werden, die Gehirnaktivität (Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit) beeinflussen können.</p>
17	<p><i>Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen</i> Ziel des Vorhabens ist es, den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Basisstationen des Mobilfunks auf die Schlafqualität der Bevölkerung in der Nähe einer Mobilfunksbasisstation zu untersuchen.</p>
18	<p><i>Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen</i> In Ergänzung zu dem Projekt „Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen“ soll hier die Reaktion auf den Wegfall der elektromagnetischen Exposition in den Wohnungen von Betroffenen untersucht werden.</p>

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

19	<p>Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter</p> <p>Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ an Patienten, die sich als elektrosensibel gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks betrachten. Die Studie soll klären, ob der selbstdiagnostizierten Elektrosensibilität eine besondere Empfindsamkeit oder Wahrnehmung elektromagnetischer Felder zugrunde liegt und wie die Gruppe der „Elektrosensiblen“ hinsichtlich psychischer und labor-klinischer Parameter charakterisiert ist.</p>
20	<p>Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien</p> <p>In dem Forschungsvorhaben soll anhand objektiver medizinischer Tests geklärt werden, ob Allergien und eine besonders hohe Belastung mit bzw. eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien tatsächlich bedeutsam für das Auftreten von Elektrosensibilität sind, und wie sich dieser Zusammenhang gegebenenfalls auf Art und Stärke der gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Betroffenen auswirkt.</p>
21	<p>Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen</p> <p>In dieser Studie soll geklärt werden, ob eine Langzeitexposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks nach UMTS-Standard Vermehrungsfähigkeit und Entwicklung beeinflusst.</p>
22	<p>Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)</p> <p>Im Forschungsprojekt „Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder“ wurde eine signifikant höhere Gewichtszunahme bei den nach GSM-Standard mit SAR 0.4 W/kg chronisch exponierten Tieren im Vergleich zur Kontrolle beobachtet. Im vorliegenden Projekt soll untersucht werden, ob diese detektierte Gewichtszunahme auf eine Beeinflussung des Metabolismus unterhalb der Schwelle für gesicherte thermische Effekte zurückzuführen ist.</p>
Dosimetrie	
1	<p>Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren</p> <p>Mit Hilfe rechnerischer Methoden soll die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Körper von exponierten Versuchstieren ermittelt und mit der experimentell ermittelten, möglichst hoch aufgelösten, räumlichen SAR-Verteilung verglichen werden.</p>
2	<p>Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen</p> <p>Ziel des Vorhabens ist es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln, die geeignet sind, die Exposition der Bevölkerung im Umfeld von Mobilfunk Basisstationen zu ermitteln.</p>
3	<p>Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunk-basisstationen“ untersucht werden</p> <p>Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens für die Erfassung der Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgehend von Mobilfunkbasisstationen im Rahmen epidemiologischer Studien.</p>
4	<p>Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro</p> <p>Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer detaillierten Übersicht aus strahlenschutztechnischer Sicht über gegenwärtig bereits verwendete und in naher Zukunft am Markt zu erwartende drahtlose Kommunikationseinrichtungen für Heim- und Büroanwendungen sowie die Erarbeitung von mess- und rechentechnischen Verfahren zur Expositionsbestimmung.</p>
5	<p>Bestimmung der Expositionsverteilung von HF-Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter</p> <p>Aufbauend auf den gegenwärtig wissenschaftlich dokumentierten Erkenntnissen bezüglich der Absorption hochfrequenter elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper, sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiterreichende Untersuchungen, speziell im Hinblick auf anatomisch kleine und empfindliche Organstrukturen des Kopfes (z. B. Auge, Innenohr, Pinealdrüse) durchgeführt werden.</p>

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

6	<p>Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt Ziel des Vorhabens ist es, mögliche Verfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition der Nutzer von Mobiltelefonen zu diskutieren. Des weiteren soll durch das Vorhaben an einer Reihe konkreter Beispiele die zeitliche Variabilität sowie die Abhängigkeit der Belastung der Nutzer vom Gerät, von der Netzstruktur und von Umgebungseinflüssen gezeigt werden.</p>
7	<p>Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless-LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten Im Rahmen dieses Projektes soll die reale Feldverteilung im Umfeld von WLAN-Sendeantennen in innerstädtischen Gebieten erfasst werden, um ein Bild über die reale Expositionssituation zu bekommen, die sich durch diese Sender für die Bevölkerung ergibt.</p>
8	<p>Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen Als Ergänzung zum Projekt „Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen“ sollen in diesem Projekt Verfahren zur Messung und Berechnung elektromagnetischer Felder in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen entwickelt werden.</p>
9	<p>Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien Die Hypothese, dass die drahtlose Telekommunikation in teilgeschirmten Räumen (z. B. Handynutzung in Kraftfahrzeugen, der Bahn oder in bestimmten Innenräumen) zu erhöhten Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder führt, soll im Rahmen dieses Projektes überprüft und quantifiziert werden.</p>
10	<p>Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich Dieses Forschungsvorhaben soll die Frage beantworten, ob es im Rumpfbereich sensible, lokale Bereiche gibt, die unter den angesprochenen Randbedingungen stärker exponiert sind, und denen im Rahmen eines wirksamen Strahlenschutzkonzeptes besonders Rechnung zu tragen ist.</p>
11	<p>Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern Ziel des Vorhabens ist es, Untersuchungen an relevanten Typen von DVB-T – und DAB - Sendeanlagen durchzuführen sowie die unterschiedlichen Versorgungskonzepte (analog, digital, Verteilung der Sender) in Hinblick auf die damit verbundene Exposition der Bevölkerung zu bewerten.</p>
12	<p>Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen Dielektrische Eigenschaften von biologischen Geweben wie etwa die elektrische Leitfähigkeit oder die Dielektrizitätskonstante sind makroskopische Größen. Im Rahmen dieses Projektes soll geprüft werden, ob diese Eigenschaften beim Übergang in zelluläre oder gar subzelluläre Dimensionen weiterhin ihre Gültigkeit besitzen.</p>
13	<p>Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der tatsächlichen Exposition in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines praktikablen rechentechnischen Verfahrens zur Ermittlung der realen SAR-Werte in komplizierten Immissionsszenarien mit mehreren verschiedenartigen HF-Quellen.</p>
14	<p>Untersuchung des Einflusses von Antennen- und Gerätetopologien von körpernah betriebenen drahtlosen Kommunikationsendgeräten auf die von diesen verursachten SAR-Werte Ziel des Vorhabens ist zu untersuchen, welchen Einfluss das Design von Antennen und Geräten sowie die Wahl der Sendefrequenz auf die resultierenden SAR-Werte von körpernah betriebenen Endgeräten drahtloser Kommunikationsdienste hat.</p>
15	<p>Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien Mit Ultrawideband (UWB) steht eine neue Technologie vor der Einführung, die anders als die bisher üblicherweise zur Funkübertragung eingesetzten schmalbandigen Verfahren Expositionen über einen besonders weiten Frequenzbereich hervorrufen wird. Derzeit stehen noch keine geeigneten und anerkannten Verfahren für die Expositionserhebung von UWB-Technologien zur Verfügung. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes soll daher der Frage nachgegangen werden, wie derartige Immissionen geeignet zu erheben und zu bewerten sind.</p>

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

Epidemiologie	
1	<p><i>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</i></p> <p>Ziel des Vorhabens war es, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu prüfen, ob in Deutschland eine Kohortenstudie zu hoch exponierten (Berufs-)gruppen durchgeführt werden kann. Es wurden potentielle 30 Berufsgruppen identifiziert und auf festgelegte Kriterien zur Machbarkeit einer Kohortenstudie geprüft. Nur drei Gruppen erfüllten die Kriterien. Für diese wurde ein mögliches Studiendesign erarbeitet und Vor- und Nachteile der Durchführung einer entsprechenden Kohortenstudie bewertet. Gesamtergebnis der Bewertung war, dass kein Studiendesign für eine Kohortenstudie festgelegt werden konnte, welches eine verzerrungsfreie Abschätzung des Erkrankungsrisikos durch HF-EMF erlaubt hätte. Das BFS hat deshalb entschieden, keine Kohortenstudie an hoch HF-exponierten Personen durchzuführen.</p>
2	<p><i>Machbarkeit einer prospektiven Kohortenstudie unter Handynutzern</i></p> <p>Zur Untersuchung von Langzeiteffekten von Handynutzung ist geplant, international eine prospektive Kohortenstudie zu Handynutzern mit 250000 Kohortenmitgliedern in mehreren Studienzentren durchzuführen. In einer Machbarkeitsstudie wurde geprüft, ob in Deutschland eine Studie mit 50000 Kohortenmitgliedern aufgebaut werden kann, die die Anforderungen des internationalen Studienprotokolls erfüllt. Die Machbarkeitsstudie zeigte, dass aufgrund der geringen Teilnehmeraten der Probanden eine solche Studie nur mit extrem großen Aufwand aufgebaut werden könnte. Aus diesem Grund hat das BFS beschließen müssen, im Rahmen des DMF-Programms keine solche Studie zu finanzieren.</p>
3	<p><i>Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)</i></p> <p>In einer von der DFG und der Uni Essen finanzierten Fall-Kontroll-Studie wird der Frage nachgegangen, inwieweit für häufige Nutzer eines Mobiltelefons ein erhöhtes Risiko besteht, an einem seltenen Augentumor zu erkranken. Ziel der zusätzlichen finanziellen Unterstützung durch das BFS war es, zusätzliche Interviews bei Fällen und Kontrollen durchzuführen, um die Aussagekraft der Studie zu erhöhen. Die Erhebung bei Fällen und Kontrollen ist abgeschlossen. Insgesamt wurden 458 Fälle und 1210 Kontrollen interviewt. Die statistische Auswertung, die nicht Gegenstand dieses Projekts war, erfolgt derzeit.</p>
4	<p><i>Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen</i></p> <p>Im Rahmen einer Basiserhebung wurde ein bundesweiter Querschnitt von ca. 40000 Personen zu gesundheitlichen Beschwerden und subjektivem Expositionserleben befragt, sowie eine grobe Abschätzung der Felder von Mobilfunkbasisstationen über die Standortdaten der Basisstationen und Angaben der Probanden vorgenommen. Auf Basis einer Vertiefungserhebung bei 3200 regional aus der Basiserhebung ausgewählten Probanden erfolgen detaillierte Erhebungen der Beschwerden und Confounder. Darauf aufbauend werden Risikoanalysen durchgeführt.</p>
5	<p><i>Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie</i></p> <p>Im Rahmen der Vertiefungserhebung des Vorhabens "Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunk-Basisstationen" werden zusätzlich Personendosimeter zur Expositionsbestimmung eingesetzt.</p>
6	<p><i>Validierung des Expositionssurrogats der Querschnittsstudie</i></p> <p>Auf der Grundlage der in der Ergänzungsstudie zur Querschnittsstudie für 1500 Probanden durchgeführten Messungen soll eine externe Validierung des Expositionssurrogats der Hauptstudie durchgeführt werden.</p>
7	<p><i>Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)</i></p> <p>Zur Klärung, ob bei Verwendung eines Mobiltelefons ein erhöhtes Hirntumorrisiko vorliegt, initiierte die WHO eine internationale Fallkontrollstudie, die in 13 Ländern nach einem einheitlichen Studienprotokoll durchgeführt wird. Durch das DMF wird eine Erweiterungsstudie finanziert, mit der die Aussagekraft des deutschen Studienteils gestärkt und die Übertragung der Ergebnisse der internationalen Studie auf deutsche Verhältnisse verbessert werden soll.</p>

Forschungsvorhaben im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (Vorhaben des BMU)

8	Retrospektive Expositionsabschätzung bei Teilnehmern der INTERPHONE-Studie Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein wichtiger Aspekt der Auswertung der Interphone-Rohdaten - die retrospektive Expositionsabschätzung - mitfinanziert.
9	Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen Ziel des Vorhabens ist es, die Hypothese eines erhöhten Kinderleukämierisikos in der Umgebung starker Fernseh- und Rundfunksender in einer deutschlandweiten epidemiologischen Studie zu untersuchen
10	Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern Ziel dieses Vorhabens ist es, im Rahmen einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie den Zusammenhang der akuten subjektiven Befindlichkeit mit der individuell gemessenen und selbsteingeschätzten Exposition von Mobilfunkfeldern bei Kindern und Jugendlichen zu untersuchen.
Risikokommunikation	
1	Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information Ziel des Vorhabens war es, die zentralen Zielgruppen für die Informations- und Kommunikationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk zu identifizieren und hinsichtlich ihrer charakterisierenden Merkmale und Eigenschaften zu beschreiben, um eine Grundlage für die zielgruppengerechte Information im Bereich Mobilfunk zu gewinnen.
2	Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate Ziel des Vorhabens war es, eine fundierte, objektive und interessensunabhängige Informationsquelle zu schaffen, um die Diskussion über mögliche gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf eine sachlichere Grundlage zu stellen und den interessierten Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit zu geben, die tatsächlichen oder vermeintlichen Risiken durch elektromagnetische Felder objektiv einzuschätzen.
3	Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen In jährlichen repräsentativen Umfragen werden die Wahrnehmung und Sorgen der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks ermittelt und mögliche Veränderungen erfasst.
4	Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen Ziel des Vorhabens ist es, exemplarische Lösungen für die Standortproblematik zu finden und anhand eines Leitfadens eine sachliche Auseinandersetzung um den Mobilfunk vor Ort zu unterstützen. Anhand dieses Leitfadens soll den Kommunen Informationen an die Hand gegeben werden, wie die angemessene Information der Bürger im Rahmen der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen erfolgen kann.
5	Ergänzende Informationen über Elektrosensible Ziel des Vorhabens ist es, nähere beschreibende Informationen über elektrosensible Personen im Bereich der soziodemografischen und weiteren Persönlichkeitsmerkmale zu erheben. Damit sollen die Kenntnisse über elektrosensible Personen über den medizinisch-biologischen Bereich hinaus ergänzt und diese Personengruppe „im Ganzen“ beschrieben werden.
6	Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen Ziel dieses Vorhabens ist es, die Kenntnis und Wirkung in der Öffentlichkeit der im Bereich Mobilfunk zahlreich vorhandenen Informations- und Kommunikationsmaßnahmen zu untersuchen.
7	Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21 Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die vorhandenen Erfahrungen und Potenziale aus den lokalen Agenda 21-Prozessen auszuwerten und daraus Empfehlungen für die Kooperation der Beteiligten im Mobilfunkbereich abzuleiten.

Abschluss des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF)

Bevor die Ergebnisse des gesamten DMF 2008 bewertet werden, wurden in den Jahren 2006 und 2007 themenspezifische Diskussionen der jeweiligen Teilbereiche des DMF im Rahmen von 5 internationalen Fachgesprächen durchgeführt. An diesen Gesprächen nahmen die Forschungsnehmer, international anerkannte Spezialisten für die entsprechenden Teilgebiete, Vertreter internationaler Organisationen sowie nationale wie internationale Wissenschaftler mit einer breiten Expertise im Bereich „Nichtionisierende Strahlung“ teil. Um die Ergebnisse auch für internationale Organisationen, die übergreifende Regelungen und Empfehlungen aussprechen, verfügbar zu machen, wurden die Berichte der einzelnen Fachgespräche teilweise in englischsprachigen, wissenschaftlichen Fachjournalen und auf den Internetseiten des DMF (www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase) veröffentlicht.

Im Juli 2006 fand das internationale Fachgespräch zur Dosimetrie im BfS in Neuherberg statt. Schwerpunkt des Fachgesprächs waren die Forschungsprojekte, die sich mit der Bestimmung der im Alltag vorhandenen Exposition durch elektromagnetische Felder befasst hatten. Neben der Mobilfunktechnologie wurde auch die Exposition durch neue Technologien (z. B. digitaler Rundfunk und Fernsehen, WLAN, schnurlose DECT-Telefone) untersucht und somit ein weites Spektrum an technischen Anwendungen elektromagnetischer Felder abgedeckt, die das tägliche Leben bestimmen. Darüber hinaus wurden die Beiträge der Dosimetrie in den biologischen Projekten des DMF diskutiert.

Im Oktober 2006 fand das internationale Fachgespräch zu Projekten der Risikokommunikation und Risikowahrnehmung im BfS Neuherberg statt. Schwerpunkt des Fachgesprächs waren die Forschungsprojekte, die sich mit der Wahrnehmung des Mobilfunks in der Gesellschaft, der Risikowahrnehmung und Möglichkeiten einer verbesserten Risikokommunikation befassten. Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Projekte an sich, stand insbesondere die Frage der Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung der erarbeiteten Erkenntnisse im Mittelpunkt des Fachgesprächs.

Im Dezember 2006 fand das Fachgespräch zum Themenbereich „Akute gesundheitliche Effekte“ statt. Schwerpunkt dieses internationalen Fachgesprächs war die Frage, ob die hochfrequenten Felder des Mobilfunks akute gesundheitliche Auswirkungen haben können. Die diskutierten Projekte bearbeiteten die Thematik sowohl in epidemiologischen Studien als auch im Labor. Das Spektrum der untersuchten Symptome umfasst alle wesentlichen Beschwerden, die von betroffenen Personen im Zusammenhang mit dem Mobilfunk berichtet werden. Intensiv beleuchtet wurden Auswirkungen auf den Schlaf. Ein besonderes Augenmerk wurde auf Kinder und elektrosensible Personen gelegt.

Im Mai 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Wirkmechanismen statt. Schwerpunkt waren die For-

schungsprojekte, die sich auf zellulärer und subzellulärer Ebene mit den Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befassen. Zu den in den Studien untersuchten Endpunkten gehören z. B. die Funktion von Zellen, Einflüsse auf die Melatoninproduktion, schädigende Einflüsse auf die DNA oder auf die Expression von Genen sowie die biophysikalischen Eigenschaften von Zellen, Zellmembranen und Zellsuspensionen, von denen die Energieabsorption im exponierten Gewebe abhängt. Weiterhin wurden Vorhaben vorgestellt, die mit elektrophysiologischen Methoden die Funktionalität neuronaler Netzwerke in einem Netzhautpräparat und von Hörzellen in der isolierten Hörschnecke während einer Exposition untersuchten.

Im Oktober 2007 fand das internationale Fachgespräch zu Langzeitwirkungen statt, auf dem vor allem tierexperimentelle Langzeitstudien und epidemiologische Studien, die sich mit Langzeiteffekten hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks befasst haben, vorgestellt und diskutiert wurden. In den biologischen Studien wurden u. a. Auswirkungen chronischer HF-Exposition auf die Blut-Hirn-Schranke, auf das Stress- und Immunsystem, die Kognition, Tinnitus, Fortpflanzung und Entwicklung sowie auf die Entwicklung von Leukämie in einem speziellen Tiermodell untersucht. Im epidemiologischen Teil wurden u. a. die deutschen Teilergebnisse der INTERPHONE-Studie, vorläufige Daten einer umfassenden Studie zum Uvealmelanom und der Stand einer Fall-Kontroll-Studie zu kindlichen Leukämie um Radio- und Fernsehsender präsentiert.

Zur abschließenden Gesamtbewertung der Ergebnisse des DMF wird im Juni 2008 zusammen mit der WHO eine internationale Konferenz durchgeführt. Ziel dieser Tagung ist, ein wissenschaftliches Fazit des DMF unter Berücksichtigung des internationalen Kenntnisstandes zu ziehen und eine ganzheitliche Risikobewertung zu erstellen.

BMBF⁸

Die Forschungsarbeiten im 2005 gestarteten Vorhaben „mini watt II“ wurden auch 2007 mit großem Erfolg fortgesetzt. In mini watt II werden die Immissionen und Expositionen aktueller und zukünftiger Mobilfunk- und Rundfunkdienste untersucht, insbesondere Erfolg versprechende Maßnahmen zur Minimierung dieser Immissionen. Auf Grund der Beteiligung aller Mobilfunknetzbetreiber stehen die Ergebnisse diesen sofort für geeignete Umsetzungsmaßnahmen zur Verfügung. Ferner werden die Ergebnisse zu den spezifischen Absorptionsraten nach Abschluss des bis Mitte 2008 verlängerten Vorhabens auch den Endgeräteherstellern zugänglich gemacht.

Ein Großteil der geplanten Arbeitspakete wurde bis Ende 2007 nahezu abgeschlossen mit folgenden wichtigen Ergebnissen:

– Es konnte gezeigt werden, dass feinmaschigere Netz-

⁸ Die Vorhaben des BMBF und des BMWi können dem 2. Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf die Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen (Deutscher Bundestag, Drucksache 16/1791) entnommen werden

strukturen und intelligente Antennensysteme gegenüber herkömmlichen Systemen deutliche Vorteile bezüglich der Exposition aufweisen. Ferner wurde festgestellt, dass - ein großes Kundeninteresse an derselben Information vorausgesetzt - eine rundfunkähnliche Aussendung über ein DVB-T Netz zu einer niedrigeren Immissionsbelastung führt als eine individuelle Verteilung der Information über UMTS.

- Es wurde nachgewiesen, dass die spezifische Absorptionsrate bei Mobiltelefonen durch ein immissionsoptimiertes Design (Art der Anbringung der Antenne etc.) deutlich gesenkt werden kann.
- Die Pulshaltigkeit von Funksignalen wurde analysiert und Methoden zu deren Abschwächung identifiziert.
- Die tatsächlichen Immissionen bedeutender Funkdienste wurden bestimmt und addiert.

Gleichzeitig erfolgt in weiteren, durch das BMU geförderten Arbeitspaketen eine Abschätzung der möglichen biologisch-medizinischen Wirkungen durch die zu erwartenden Expositionen.

BMWi⁸

Die Forschungsvorhaben des BMWi zu "Genehmigungsverfahren" und "Risikokommunikation" wurden im Jahr 2005 abgeschlossen; die entsprechenden Ergebnisse sind im Internet unter www.mobilfunk-information.de einsehbar. Die Internetseiten sind zuletzt im Juli 2008 redaktionell überprüft worden. Zusätzlich zu diesem Internetinhalt wurden parlamentarische Fragen und Antworten dieser Legislaturperiode zu den verschiedenen Aspekten der Mobilkommunikation unter www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Telekommunikation-und-Post/Mobilfunk/antworten-bundesregierung.html zur Veröffentlichung gebracht.

1.2 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ (www.ssk.de/werke/volltext/2001/ssk0103.pdf) darauf hingewiesen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen“. Sie weist darauf hin, dass „entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem ortsfeste Anlagen betrifft, die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder aus Geräten, z. B. bei Haushaltsgeräten oder bei Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sind, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen kann“. Um dementsprechend 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. Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/elektro/oekolabel.html. Ende 2007 umfasste diese Erhebung insgesamt 999 Geräte von 34 verschiedenen Herstellern, wovon 73 Handys UMTS-Geräte waren. Ein standardisiert ermittelter SAR-Wert konnte für 882 Handys gefunden werden. Aus Sicht des Strahlenschutzes könnten mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 29% der 2007 auf dem deutschen Markt befindlichen Handytypen mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel" ausgezeichnet werden. Informationen zu den Vergabegründungen für den „Blauen Engel“ für Handys durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung RAL e. V. sind auf der Internetseite www.blauer-engel.de/downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-106.pdf zu finden.

Die Handyhersteller lehnten bisher das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte nahezu geschlossen ab. Ihre ablehnende Haltung begründeten sie damit, dass es sich um einen globalisierten Markt handelt und dass die Geräte europäischen Vorgaben entsprechen. Außerdem suggeriere der „Blaue Engel“, dass entsprechend gekennzeichnete Handys gesundheitlich unbedenklicher seien als solche ohne den „Blauen Engel“. Es fehlt an der Bereitschaft der Hersteller, mit dem „Blauen Engel“ einen aktiven Beitrag zum vorsorgenden Gesundheits- und Verbraucherschutz zu leisten. Inzwischen hat jedoch ein Hersteller das Umweltzeichen erhalten. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich einer verstärkten Verbraucherinformation nicht zu verschließen.

Ende 2006 wurde für weitere Endgeräte, nämlich Säuglings-Überwachungsgeräte, die Vergabegründung für den Blauen Engel veröffentlicht (siehe www.blauer-engel.de/downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-125.zip). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des Blauen Engels ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Bis Ende des Jahres 2007 hat ein Hersteller den Blauen Engel erhalten.

1.3 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 Sendeantennenanlagen 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 300 GHz (300 000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird im Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) 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. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde auch im Jahr 2007 gezeigt, dass die Grenzwerte an den Orten, an denen sich Menschen aufhalten, um Größenordnungen unterschritten werden.

Die Bundesnetzagentur stellt auf ihren Internetseiten unter emf.bundesnetzagentur.de seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung. Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen möglich, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilt hat. Die EMF-Datenbank ist mehr als eine kartographische Darstellung von Standorten von Funkanlagen und EMF-Messreihen. Sie bildet vielmehr eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Zu diesem Zweck wurde von der BNetzA 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 BNetzA nur die von Landesumweltministerien beauftragten EMF-Messreihen in die EMF-Datenbank aufgenommen. Mit der EMF-Datenbank ergänzt die BNetzA ihr bisheriges EMF-Monitoring. Sie setzt damit eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom September 2001 um, wonach „relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien“.

1.4 Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone

DECT-Telefone halten auf Grund ihrer niedrigen mittleren Sendeleistung von weniger als 20 mW den geltenden SAR-Basisgrenzwert von 2 W/kg ein. Es muss daher nicht, wie bei Mobiltelefonen üblich, der SAR-Wert nach DIN EN 50360 zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Grenzwerten ermittelt und von Herstellerseite angegeben werden.

Die Basisstationen der nach dem DECT-Standard arbeitenden Schnurlos-Telefone senden allerdings im Standby-Betrieb (kontinuierliches Kontrollsignal zwischen Basisstation und Mobilteil), also auch dann wenn nicht telefoniert wird. Darüber hinaus wird beim Telefonieren unabhängig vom Abstand zwischen dem Telefon und der Basisstation permanent mit der maximalen Leistung gesendet.

Unter dem Aspekt einer vorsorglichen Reduzierung der Exposition ist zu fordern, dass die Basisstationen im Stand-by-Betrieb automatisch abgeschaltet und die Telefone mit einer bedarfsgerechten Regelung der Sendeleistung ausgestattet werden.

Strahlungsarme DECT-Telefongeräte sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Abschaltung oder mindestens 100 000-fache Absenkung des Kontrollsignals im Standby-Betrieb unabhängig von der Anzahl der angemeldeten Mobilteile, wobei sich das Mobilteil nicht notwendigerweise in der Basis befinden muss;
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung des Mobilteils beim Telefonieren in mehr als 2 Stufen ähnlich der beim Handy;
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung der Basisstation während des Telefonierens;
- Möglichkeit des Anschlusses eines Headsets an das Mobilteil;
- Möglichkeit der Einstellung / Begrenzung der Reichweite.

Inzwischen sind einige Hersteller diesen Forderungen zumindest teilweise nachgekommen. Ende des Jahres 2007 waren einige Geräte auf dem deutschen Markt, die eine Absenkung bzw. völlige Abschaltung des Kontrollsignals zwischen Basisstation und Mobilteil ermöglichen. Hierzu muss sich aber das Mobilteil in der Basisstation befinden und es darf nur ein Mobilteil an der Basis angemeldet sein. Bei einem Gerät wird das Kontrollsignal auch dann abgeschaltet, wenn bis zu sieben Mobilteile angemeldet sind und sich kein Mobilteil in der Basisstation befindet. Mehrere Geräte senken die Sendeleistung des Mobilteils entfernungsabhängig ab und bei einigen Geräten ist auch eine manuelle Absenkung der Sendeleistung der Basisstation möglich. Diese Geräte können als „bedingt strahlungsarm“ bezeichnet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine Liste der 2007 auf dem deutschen Markt erhältlichen bzw. angekündigten „bedingt strahlungsarmen“ DECT-Schnurlostelefone sowie Art und Ausmaß ihrer Strahlungsreduzierung zusammengestellt. Diese Liste ist im Internet unter: www.bfs.de/elektro/Strahlungsarme_Dect_Schnurlostelefone.html veröffentlicht.

2. Optische Strahlung

2.1 Forschung zur UV- und IR-Strahlung

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Geringe Sonnenexpositionen können sich dagegen gesundheitsfördernd auswirken. Unter anderem wird durch UV-B in der Haut die Produktion von Pro-Vitamin D3 induziert, welches den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Neuere epidemiologische Studien lieferten Hinweise, dass einige Krebsarten (Darmkrebs, aber auch Brust- und Prostatakrebs) mit Vitamin-D-Mangel korreliert sind. Auf

Grund dieser Tatsachen liegen widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf gesundheitsfördernde UV-Bestrahlung vor.

Weiterhin konnte mittels epidemiologischer Studien und durch Untersuchungen an Tiermodellen und Zellen gezeigt werden, dass auch chronische Bestrahlung mit Infrarot (IR; Wärmestrahlung) sowohl allein als auch in Kombination mit UV-Strahlung Hautschäden hervorrufen kann. Einerseits kommt es dabei zu einer Beschleunigung der Hautalterung, andererseits können auch Hautschäden auftreten (z. B. thermale Keratosen), die als Vorstufen von Hautkrebs anzusehen sind. Bekannt ist bisher, dass die Wirkung von IR-Strahlung und auch das Zusammenwirken von IR- mit UV-Strahlung auf Veränderungen der Signaltransduktion und der Genexpression beruht. Eine Beteiligung der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies wird ebenfalls diskutiert. Außerdem beeinflusst IR-Strahlung die DNA-Reparatur und die durch UV-Strahlung ausgelöste Apoptose (programmierter Zelltod). Der genaue Wirkungsmechanismus für diese Effekte ist aber bisher noch wenig erforscht.

Neuere Untersuchungen deuten außerdem darauf hin, dass der Gebrauch von Sonnenschutzmitteln zwar vor Sonnenbrand, aber kaum vor Hautkrebs schützt. Eine Ursache dafür könnte in dem Zusammenwirken von UV-A-, UV-B- und IR-Strahlung bei der Entstehung von Hautkrebs liegen. Deswegen wurden im Jahr 2007 durch das BFS Forschungsvorhaben im Bereich UV und auch in Bezug auf das mögliche Zusammenwirken von UV und IR initiiert (Tabelle VI.2-1).

Tabelle VI.2-1

Forschungsvorhaben zum Thema UV und IR

UV
Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs
UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin D3 Bedarfs im menschlichen Körper
IR
Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung

Ziel des Vorhabens „Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs“ ist die weitere Aufklärung der Entstehungsmechanismen von Hautkrebs und dabei vor allem die Bedeutung der unterschiedlichen Expositionsparameter und der Zusammenhang mit den individuellen Risikofaktoren. Unter anderem soll geklärt werden, ob akute Expositionen mit höheren UV-Dosen zu anderen Ergebnissen führen als chronische Expositionen mit kleinen UV-Dosen und welche Rolle UVA-Strahlung spielt. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen dabei die sog. schwer geschädigten

epidermalen Zellen (CRBC). Diese Zellen reparieren die UV-bedingten DNA-Schäden nicht vollständig und bleiben auch über einen Regenerationszyklus der Hautzellen hinaus in der Epidermis erhalten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen diese Zellen möglichst eindeutig charakterisiert werden und vor allem soll untersucht werden, ob und wie sie sich zu Hautkrebszellen weiterentwickeln und welche Einflussfaktoren dabei eine Rolle spielen.

Ziel des Vorhabens „UV-abhängige Vitamin-D-Synthese – Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfs im menschlichen Körper“ ist es, das quantitative Verhältnis von UV-Exposition und Vitamin-D3-Level unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Schwangere, ältere Menschen, Patienten, etc.) näher zu charakterisieren. Hierauf basierend soll eine Empfehlung zur optimalen UV-Exposition differenziert nach Bevölkerungsgruppen erarbeitet werden. Das Projekt startete Ende 2007. Erste Ergebnisse werden 2008 erwartet.

Ziel des Vorhabens “Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung“ ist es, zu beschreiben, auf welchem Weg IR-Strahlung allein und in Kombination mit UV-A- und UV-B-Strahlung zur beschleunigten Hautalterung und Krebsentstehung beiträgt und soweit möglich den Wirkungsmechanismus aufzuklären.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine Reduktion des apoptotischen Zelltodes, wenn Keratinozyten in vitro drei Stunden vor der UV-Bestrahlung mit IR bestrahlt wurden. Durch eine Vorbestrahlung mit IR ließ sich die Zahl der Sonnenbrandzellen deutlich reduzieren. Außerdem bewirkt eine Vorbestrahlung mit IR sowohl in vitro als auch in vivo eine Reduktion der UV-bedingten DNA-Schäden. Welche Bedeutung diese Ergebnisse für die Entstehung von Hautkrebs durch UV-Strahlung haben, ist Gegenstand der weiteren Untersuchungen. Beruhend auf den Ergebnissen des Vorhabens sollen verbesserte Empfehlungen für einen optimalen Schutz vor den schädlichen Wirkungen sowohl von UV- als auch von IR-Strahlung im Alltag erstellt werden.

2.2 Solares UV-Monitoring in Deutschland

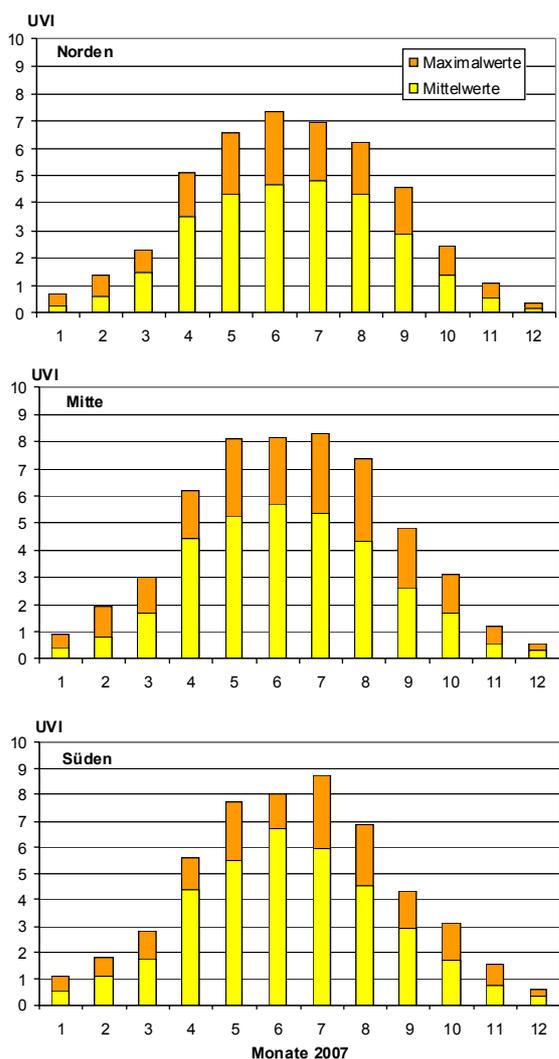
Seit 1993 wird die bodennahe solare UV-Strahlung an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das Bundesamt für Strahlenschutz, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BFS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesundheitlich bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter www.bfs.de/uv/uv2/uvi/messnetz.html veröffentlicht.

Eine wichtige Kenngröße für die 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 Sommer-

monaten werden als UVI-Werte veröffentlicht (www.bfs.de/uv). In **Abbildung VI.2-1** wurden für das Jahr 2007 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen sind in Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen sind in Dortmund, Lindenberg, Kulmbach) und den Süden

Abbildung VI.2-1

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2007 im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands



(Messstation ist in München) der Bundesrepublik dargestellt.

Die monatliche Schwankungsbreite der UV-Werte ist vor allem witterungsbedingt sehr groß. Die höchsten Werte mit Maximalwerten über 8 traten in der Mitte und im Süden Deutschlands im Mai, Juni und Juli auf. Ab UVI-Werten von 6 ist die UV-Belastung hoch, Schutzmaßnahmen sind erforderlich, bei UVI-Werten ab 8 ist die UV-Belastung sehr hoch und besondere Schutzmaßnahmen sind erforderlich.

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.

2.3 Zertifizierung von Solarien

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Beobachtung einer Zunahme von Hautkrebs wird mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung gebracht. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2007 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren.

Grundlage ist das im Mai 2003 etablierte Verfahren für die Zertifizierung der Solarien. Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind:

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

Darüber hinaus verpflichtet sich der Studiobetreiber, Personen unter 18 Jahren die Nutzung seiner Geräte zu untersagen.

Neue europäische Vorgaben, u. a. hinsichtlich der Bestrahlungsstärke, erfordern die Anpassung der bisherigen Kriterien.

Das Zertifizierungsverfahren „zertifiziertes Solarium“ wurde demzufolge im Jahr 2007 von dem Verfahren „geprüftes Sonnenstudio“ abgelöst. Das Zertifizierungsverfahren „geprüftes Sonnenstudio“ greift z. T. einer gesetzlichen Regelung zum Schutz vor künstlicher UV-Strahlung im Umweltgesetzbuch vor.

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 Strahlenschutzes⁹.

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.

⁹ ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable“

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

Die Strahlendosis und ihre Einheiten

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

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

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

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

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

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlungssituation 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 **Organ-dosis**. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

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

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

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

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

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

Tabelle A 2-1

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 2 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.

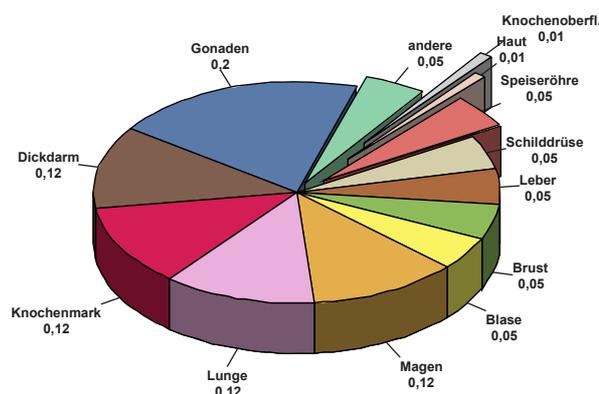
$$E = w_T \times H_T$$

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⁻³, Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten **ICRU-Kugel** mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

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

zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das **Film-dosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Film-dosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Film-dosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich 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 Bestrahlung¹⁰

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 in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung (Ingestion), dem Trinkwasser oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. 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 einzelnen 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 physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u.a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung 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 Annahmen 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 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 Organdosis 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 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 $8 \mu\text{m}$) von einem Teilchen-

¹⁰ Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

durchgang 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).

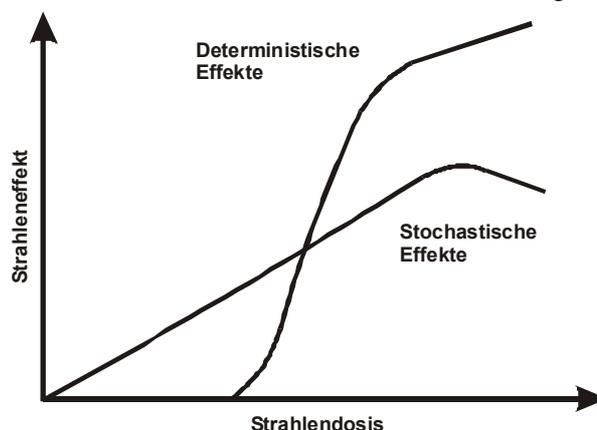
Stochastische und deterministische Strahlenwirkung¹⁰

Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) 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 (Abbildung 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, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

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 (Abbildung A-2).

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden 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 vorausagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikoeffizienten ausgedrückt.

Abbildung A-2



Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaeren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaeren 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.

Genetisch vererbbaere Defekte¹⁰

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 an 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. analysiert. 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 überwiegenderem 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, geht man heute davon aus, 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 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.

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ 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. 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 viele 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 Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach heutigem wissenschaftlichem Verständnis der 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 dem Schwankungsbereich der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

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 Edelga-

ses und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zur Radonexposition der Bevölkerung in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd 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 m³ Raumluft.

Risikoabschätzung

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende 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.

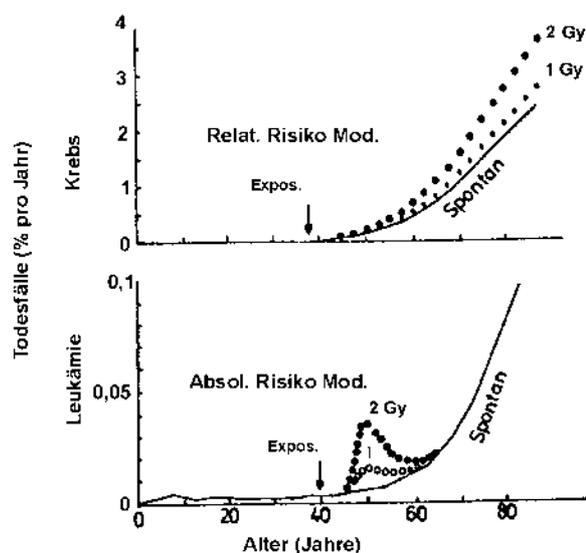
Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischer Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee 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 linearen 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 ausreichen kann 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

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.

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 absolute und das relative Risikomodell ([Abbildung A-3](#)). Das absolute Risikomodell geht davon aus, dass die Strahlung eine zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodell 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 hohe Strahlendosen bei den japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR¹¹ ein Lebenszeitrisko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9 % für Männer, 13 % für Frauen und einen Mittelwert von 11 % für beide Geschlechter bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisko deshalb um etwa 1 %, bei 10 mSv um 0,1 %. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25 Prozent aller Todesfälle Krebs als Ursache, d.h. von einer Million Menschen werden etwa 250 000 an einer Krebserkrankung sterben.

¹¹ United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

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 Schädwirkungen 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 μ T) 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 Berührungszepatoren 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

Tabelle B 2-1

Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	B	Vs/m² (Voltsekunde pro Quadratmeter); T (Tesla) 1 Vs/m ² = 1 T gebräuchlich: 1 μ T veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ für Luft und organische Materialien: $B (\mu T) = 1,256 \cdot H (A/m)$ $1 G = 10^{-4} T = 100 \mu T$

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. In der nachfolgenden **Tabelle B 2-1** sind die wichtigsten Messgrößen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder aufgeführt.

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 ortsfeste Niederfrequenzanlagen geregelt (s. **Tabelle B 2-2**).

Tabelle B 2-2

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-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 µT im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m² entsteht. Bei diesem Wert, welcher der körpereigenen Stromdichte entspricht, wurden keine biologischen Effekte wissenschaftlich nachgewiesen. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m² 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 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. **Tabelle B 3-1**) für gewerblich genutzte ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz, entspricht 300 000 MHz) festgelegt worden.

Tabelle B 3-1

Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen

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

* f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken ausgenutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-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. In der nachfolgenden **Tabelle B 3-2** sind die wichtigsten Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder aufgeführt.

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

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale

Tabelle B 3-2

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	Dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = $376,7 \text{ V/A}$
Leistungsflussdichte	S	W/m² (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	SAR	W/kg (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

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 Temperatúrausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Damit sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

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

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

- In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.
- Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden.
- Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z.B. aus Autos ohne Außenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation.
- Verwendung von Handys, bei denen der Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate).

- Die Nutzung von Head-Sets: Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab. Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert.
- Beim Verbindungsaufbau sendet ein Handy im GSM-Standard 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 gehören neben dem sichtbaren Licht die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung sowie die Infrarot(IR)-Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf. Die IR-Strahlung wird unterteilt in die kurzwellige IR-A-Strahlung mit einem Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm, die IR-B-Strahlung (1400 bis 3000 nm) und den langwelligen Teilbereich, die IR-C-Strahlung, (3000 nm bis 1 mm).

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 Gesamtzongehaltes würde diesen Einfluss weiter erhöhen. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und gesundheitlich sowie ökologisch bewertet werden muss.

Auf den Menschen bezogen, ist neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D₃-Synthese allerdings die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebserkrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme

steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Um 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 69).

Darüber hinaus ist bei einer Erhöhung der erwarteten UV-Strahlung mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich ein im Wasser lebender Organismus durch seine 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 kurzweiligen 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/m² für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes (Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Tabelle B 4-1

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

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlich-

keit der Haut erhöhen, wie z.B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt **Tabelle B 4-1**. 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.

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 4-2

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 120000 pro Jahr im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 330000 pro Jahr. In den letzten Jahrzehnten hat diese Rate deutlich zugenommen. Als wesentliche Ursachen für den starken Anstieg werden das geänderte Freizeitverhalten mit zunehmendem Aufenthalt im Freien und die Nutzung der künstlichen UV-Strahlung im Solarium verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II ([Tabelle B 4-2](#)).

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.

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 (Stadttrand 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). 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 im Internet unter www.bfs.de/uv/uv2/uvi/messnetz.html und www.bfs.de/uv/uv2/uvi/prognose.html veröffentlicht. Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index.

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 geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamt Ozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet vier Hauttypen, die in [Tabelle B 4-2](#) 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 4-3** 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. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten, wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei der Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Dabei spielt der Hauttyp eine entscheidende Rolle. Die im Mai 2003 vom Runden Tisch Solarium (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. Darüber hinaus verpflichtet sich der Betreiber eines nach BfS-Kriterien zertifizierten Studios, Personen unter 18 Jahren die Nutzung der Geräte in seinem Studio zu untersagen.

Tabelle B 4-3

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	

Infrarotstrahlung

Natürliche IR-Strahlungsquellen sind die Sonne und das Feuer. Der infrarote Anteil der den Erdboden erreichenden Sonnenstrahlung beträgt knapp 50%. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-Strahlung ab. Die meisten künstlichen IR-Strahlungsquellen sind thermische Strahler, die bis zu 1000°C heiß werden können. Industriell werden Infrarotöfen z. B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisierung verwendet. Die üblichen Bestrahlungsstärken liegen dabei im Bereich von 1-8 kW/m². In der Medizin aber auch im Wellnessbereich, werden zur Wärmebehandlung

des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen z. B. in Infrarot-Wärmekabinen eingesetzt. Die Glühwendeltemperaturen dieser Lampen liegen bei ca. 2000°C, die Bestrahlungsstärken liegen im Bereich von 100-300 W/m².

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Bei höheren Intensitäten ist sie jedoch mit gesundheitlichen Gefahren (z. B. Augenschäden und Verbrennungen) verbunden, vor denen man sich schützen muss. In begrenztem Umfang stellen die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren natürliche Schutzmechanismen dar.

IR-Strahlung wird überwiegend an der Körperoberfläche absorbiert. Von der IR-Strahlung sind somit zunächst Auge und Haut betroffen. Durch Wärmeleitung kann aber auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperorgane erfolgen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf das Auge

Der vordere Teil des Auges ist besonders für den kurzwelligen IR-Anteil (IR-A) durchlässig. Es können unmittelbar Netzhautschädigungen erfolgen. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z. B. „Glasbläserstar“). Eine Bestrahlung der Haut kann bei ausreichend hohen Bestrahlungsstärken bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen. Bei niedrigeren Bestrahlungsstärken schützen davor im Allgemeinen die natürlichen Abwehr- und Schmerzreaktionen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Gesamtorganismus

Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Hohe thermische Belastungen z. B. durch IR-Bestrahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40°C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangel durchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitze-Kollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41°C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

Anhang C:

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen

Absorption	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
Aktivität (Radioaktivität)	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
AKR-Mäuse	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
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Angiographie	Darstellung der Blutgefäße
Äquivalentdosis	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, Bethesda, 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 μ Sv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen
Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
AVR	Atomversuchsreaktor (Jülich)
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betasppektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie)
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)
Blut-Hirn-Schranke	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
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
Deterministisch	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)
Diuretika	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DNS	Desoxiribonukleinäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
Dosimetrie (nichtionisierende Strahlung)	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
DRW	Diagnostische Referenzwerte
DWD	Deutscher Wetterdienst
Effektive Dosis	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
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	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)
Elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
Elektrische Spannung	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)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)

Elektrosensibilität	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
Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z. B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
Elektrostatistisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
EMF	Elektromagnetische Felder
Energiedosis	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)
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
Fall-Kontroll-Studie	Ein Studiendesign, das in der Epidemiologie entstanden ist. Fall-Kontroll-Studien dienen dem retrospektiven Nachweis von pathogenen Faktoren für gesundheitliche Störungen. 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). Eingebettete Fall-Kontroll-Studie: 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
Fall-out	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
Fernfeld	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)
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	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
Gammastrahlung	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Schwebstoffen und Gasen in der Atmosphäre

Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
HF	Abkürzung für die Ausdrücke „Hochfrequenz“, „hochfrequente“
Hochfrequenz	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
IARC	International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
Induktion	Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird
Influenz	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
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z.B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung)
IR	Infrarote Strahlung (Wellenlänge 780 nm bis 1 mm)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleiche Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kohortenstudie	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
Kollektivdosis	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

Kontamination	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
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Leukämie	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
Machbarkeitsstudie	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Induktion	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)
Magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
MED	Minimale erythemotogene Dosis Erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem)
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
MRT	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie) Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden.
Nachweisgrenze	Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten zurzeit verfügbaren Nachweismethoden gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann, also in einem vorgegebenen statistischen Konfidenzintervall liegt.
Nahfeldexposition	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
Nichtionisierende Strahlung	Elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können
NIR	Englisch „non ionizing radiation“ – Nichtionisierende Strahlung
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken

Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	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
Ortsdosis	Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV angegebenen Messgrößen
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
Personendosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
Perzentil	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)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie Nuklearmedizinisches Schnittbildverfahren, mit dessen Hilfe physiologische Funktionen und Stoffwechselprozesse sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Es beruht auf der Markierung von Biomolekülen mit kurzlebigen Radionukliden (Radiotracer), bei deren Zerfall Positronen entstehen. Die emittierte Strahlung wird mittels eines Detektorrings, der den Patienten umgibt, registriert und in Bilder umgesetzt, die die Verteilung des Radiotracers im Körper darstellen.
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Querschnittsstudie	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
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
RöV	Röntgenverordnung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
RTS	Runder Tisch Solarien
Schwebstoffe	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

Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl. I S. 2272) geregelt
Sievert	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 (μ Sv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
SSK	Strahlenschutzkommission
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	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
StriSchV	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 3 § 15 Nr. 1 und 2 des Gesetzes vom 13. Dezember 2007 (BGBl. I S. 2930)
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 43 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I, S. 2304)
TBL	Transportbehälterlager
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
TM	Trockenmasse
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UBA	Umweltbundesamt
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung)
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100–400 nm)
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung 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
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WMO	World Meteorological Organization (Welt-Organisation Metereologie)

Anhang D:

Stichwortverzeichnis

A

Abklingbecken 19
Ableitung 19
Ableitungen 13
Abwasser 13, 15, 16, 17, 18, 19
Allgemeine Verwaltungsvorschrift 13, 17
Alphastrahler 13, 15, 16, 19
Altlastenkataster 21
Aufenthalt am Flussufer 17

B

Baden-Württemberg 43
Baugrund 9, 11
Baumaterialien 7, 9, 11
Baustoffe 7, 9
Bayerischer Wald 7, 42
Bayern 43
Bergbau 9, 21, 24
Besondere Vorkommnisse 29
Beton 9
Blei-210 7
Blei-214 10
BMBF 45, 52
BMWi 45, 53
Böden 7
Bodenluft 11, 12
Brachytherapie 40
Brennelemente 19
Bundes-Immissionsschutzgesetz 6, 53
Bundesnetzagentur 6, 54

C

Californium-252 23
Cäsium-137 6, 23, 42, 43
Computertomographie 36, 37, 38, 41

D

DECT-Schnurlostelefone 54
Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm 45, 52
 Biologie 46
 Dosimetrie 48
 Epidemiologie 50, 52
 Risikokommunikation 51, 52
diagnostische Referenzwerte 35
Druckwasserreaktor 13

E

Edelgase 14, 15
effektive Dosis 7, 17
effektive Jahresdosis 5

Elbe 21
Elektromagnetische Felder 44
Elektrosensibilität 45
Emissionsüberwachung 13
Energieeinsparverordnung 11
Erythem 60, 67, 69, 75
EU-Grundnormen 23, 25
EU-Richtlinie
 Bauprodukte 9, 11
 hochradioaktive Strahlenquellen 23

F

Flugpersonal 6, 25
Fluor-18 40
Forschung 21
Forschungszentrum 15, 16, 18
 Berlin 13, 17
 Dresden-Rossendorf 13
 Garching 13, 17
 Geesthacht 13, 17
 Jülich 13, 17
 Karlsruhe 13, 17
 Rossendorf 17
Fortluft 13, 14, 16, 18, 19
Freigabe 23

G

Gamma-Ortsdosisleistung 7, 9
Gamma-Strahlung 7
Gebäude 11
Geologie 11
Granit 9
Gronau 13, 17

H

Halbwertszeit 7
Haushalt 21
Hautkrebs 55, 56, 68
Heilbäder 25
Hochradioaktive Strahlenquellen 23
HRQ- Register 23

I

IAEA Safety Reports 24
IMIS 8, 43
Industrie 9
Industrieerzeugnisse 23
Ingestion 7
Inhalation 4, 7, 9
Inkorporation 4, 7
Inkorporationsüberwachung 25
Ionisationsrauchmelder 23
Iridium-192 23
IR-Strahlung 54, 55, 70

J

Jod-129 15
Jod-131 14, 15, 19, 41

K

Kalium-40 7, 9
Kalksandstein 9
Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe 13, 19
Kernkraftwerk 13, 14, 15, 18
 Beznau 17
 Biblis 14
 Brokdorf 14
 Brunsbüttel 14
 Cattenom 17
 Dodewaard 17
 Emsland 17
 Fessenheim 17
 Gösgen-Däniken 17
 Greifswald 14
 Gundremmingen 14
 Isar 14
 Krümmel 14
 Leibstadt 17
 Mühleberg 13, 17
 Obrigheim 14
 Philippsburg 17
 Phillipsburg 14
 Stade 14
 Unterweser 14
 Würgassen 14
kerntechnische Anlagen 13, 17, 21
 grenznahe 17, 19
Kerntechnischer Ausschuss 13
Kernwaffenversuche 42, 44
kindliche Leukämie 44
Kleinkinder 17
Kobalt-60 23
Kohlendioxid 13
Kohlenstoff-14 13, 14, 15
kosmische Strahlung 5, 7, 24

L

Lingen 13, 17
Lungenkrebsrisiko 10

M

Magnetfelder
 niederfrequente 45
Magnetresonanztomographie 37
Main 17
Mammographie-Screening 37, 38
Metallschrott 29
Milch 42
Mobilfunk 6
Mobilfunksendeanlagen 53

N

Nahrung 9, 13
Natursteine 9
Neckar 17
Neutronen 7
Neutronendosis 19
Nichtionisierende Strahlung 6, 44
Nuklearmedizinische Diagnostik 39

O

Optische Strahlung 54

P

Photonen-Äquivalentdosisleistung 7
Pleibe 21
Polonium-214 10
Polonium-218 10
Positronenemissionstomographie 40

R

Radium-226 9, 21
Radon 10, 11
Radon-220 4, 7
Radon-222 4, 7, 9, 10, 11, 21
Radonzerfallsprodukte 7
rechtfertigende Indikation 35
Referenzperson 13, 17, 19, 21
REI 13
REI Bergbau 21
Rhein 17
Risikobewertung 44
Röntgendiagnostik 35
 zahnmedizinische 37
Röntgenuntersuchungen 36, 37, 41
Röntgenverordnung 21, 23, 29, 35, 38
Rubenow 19
Rückbau von Kernkraftwerken 23
Rückstände industrieller Prozesse 9

S

Sachsen 7, 9, 21
Sachsen-Anhalt 7, 21
Sanierungsbetriebe 29
Schauhöhlen 25
Schilddrüsendosis 17, 19
Schwarzwald 7
Schwebstoffe 14
Schweiz 13
Solares UV-Monitoring 55
Solarien 7, 56, 69
spezifische Aktivität 9
Störstrahler 23
Strahlenexposition
 aus kerntechnischen Anlagen 21
 äußere - siehe externe

berufliche 5, 6, 24, 26
im Kernkraftwerk 25
erhöhte 9
externe 7, 8, 9
im Freien - siehe externe
in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 13
in der Umgebung von Kernkraftwerken 16
innere 7
kosmische 4
medizinische 6, 24, 35, 41
natürliche 4, 7, 9, 21, 25
terrestrische 4
von Patienten 40
zivilisatorische 4, 13, 24
Strahlenschutzkommission 10, 39, 44, 45, 53, 54, 69
Strahlenschutzregister 24
Strahlenschutzverordnung 9, 13, 17, 21, 23, 24, 29, 35
Strahlenschutzvorsorgegesetz 4

T

Technetium-99m 40
Technik 21
terrestrische Strahlung 5, 7, 24
Therapie
mit ionisierender Strahlung 40
mit offenen radioaktiven Stoffen 41
Thorium-232 9
Thorium-Zerfallreihe 9
Thüringen 7, 9, 21
Transferfaktor 11
Transportbehälterlager 19
Trinkwasser 9, 21
Tritium 14, 15, 16

Tschernobyl 6, 42

U

Umgebungsüberwachung 19
Umwelt-Forschungsplan 44, 45
Umweltradioaktivität 21
Umweltzeichen „Blauer Engel“ 53
UNSCEAR 9
Uran 21
Uranproduktion 9
Uran-Radium-Zerfallreihe 9
UV-Index 7, 56, 68, 69
UV-Monitoring 68
UV-Strahlung 6, 54, 55

W

Wahrscheinlichkeit des Überschreitens 11
Wasserwerke 25
Weide-Kuh-Milch-Pfad 19
Weiße Elster 21
Weltgesundheitsorganisation 10
Wiederaufarbeitung 19
Wild 43
Wismut 21
Wismut-214 10

Z

Zerfallsprodukte 7
Ziegel 9
Zwickauer Mulde 21
Zwischenlager 19, 20