

Unterrichtung durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2005

	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 Effekte durch Radon	10
3.2 Optimale Vorgehensweise zur 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	21
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 umschlossene Strahlenquellen	23
3.3 Störstrahler	23
3.4 Freigaberegungen	23
III. Berufliche Strahlenexposition	23
1. Natürliche Strahlenquellen	26
1.1 Flugpersonal	26

1.2	Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder	26
2.	Zivilisatorische Strahlenquellen	26
2.1	Personendosisüberwachung	26
2.2	Inkorporation	28
3.	Besondere Vorkommnisse	28
IV.	Medizinische Strahlenexposition	36
1.	Röntgendiagnostik	36
2.	Nuklearmedizinische Diagnostik	40
3.	Therapie mit ionisierender Strahlung	41
4.	Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	41
5.	Bewertung	42
V.	Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche	43
1.	Tschernobyl	43
2.	Kernwaffenversuche	43
VI.	Nichtionisierende Strahlung	45
1.	Elektromagnetische Felder	45
1.1	Forschung	45
1.2	Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“	49
1.3	Umweltzeichen „Blauer Engel“	50
1.4	Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen	51
2.	UV-Strahlung	51
2.1	Forschung	51
2.2	Internationaler Workshop zu UV und Vitamin D	53
2.3	Solares UV-Monitoring in Deutschland	53
Anhang A:		
	Strahlendosis und Strahlenwirkung	54
Anhang B:		
	Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen	61
Anhang C:		
	Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen	67
Anhang D		
	Literatur zum Forschungsvorhaben „Untersuchungen molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse“	74

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2005

Kurzfassung

Medizinische Strahlenexposition:

- Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen auf 1,7 mSv (1996–2003)
- Zunahme der Anzahl der Computertomographien um 3 % von 2002 auf 2003

Berufliche Strahlenexposition:

- Rückgang der Zahl der Personen mit Expositionen über 20 mSv seit 1998
- Weitgehend unveränderte Dosis tatsächlich exponierter Personen in Höhe von 0,81 mSv (Vorjahr 0,82 mSv)

Hochradioaktive Strahlenquellen:

- Seit August 2005 zentrale Erfassung hochradioaktiver umschlossener Strahlenquellen

Strahlenexposition Flugpersonal:

- Keine Überschreitungen des Grenzwerts von 20 mSv pro Jahr; mittlere Jahresdosis 1,96 mSv

Emissionsüberwachung Kernkraftwerke:

- Beitrag zur Strahlenexposition auch 2005 deutlich unter 1 %

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:

- 51 Forschungsprojekte aus Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation
- Laufzeit bis 2007; Forschungsetat von 17 Mio. € wird ausgeschöpft.

Mobilfunksendeanlagen:

- Keine Grenzwertüberschreitungen in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen
- Bundesnetzagentur ermöglicht durch einheitliche Messvorschrift für Feldstärkemessungen Vergleiche der 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 der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlen“ (NIR).

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

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 Wismut,
- die berufliche Strahlenexposition,
- die medizinische Strahlenexposition,
- sowie die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche.

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

Darüberhinaus wird über die Exposition durch nichtionisierende Strahlen berichtet.

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

Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere Radon in Gebäuden kann zur Erhöhung beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, durch die Sanierung von Bergbauanlagen (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. Jahrhun-

derts. 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 2005 noch einen geringen Beitrag der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2005 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 für die 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 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 beim Aufenthalt in Gebäuden.

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

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,8 mSv pro Einwohner und Jahr.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen, durch die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus und deren Sanierung durch die Wismut GmbH in der Bundesrepublik

Abbildung 1

**Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2005
(Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)**

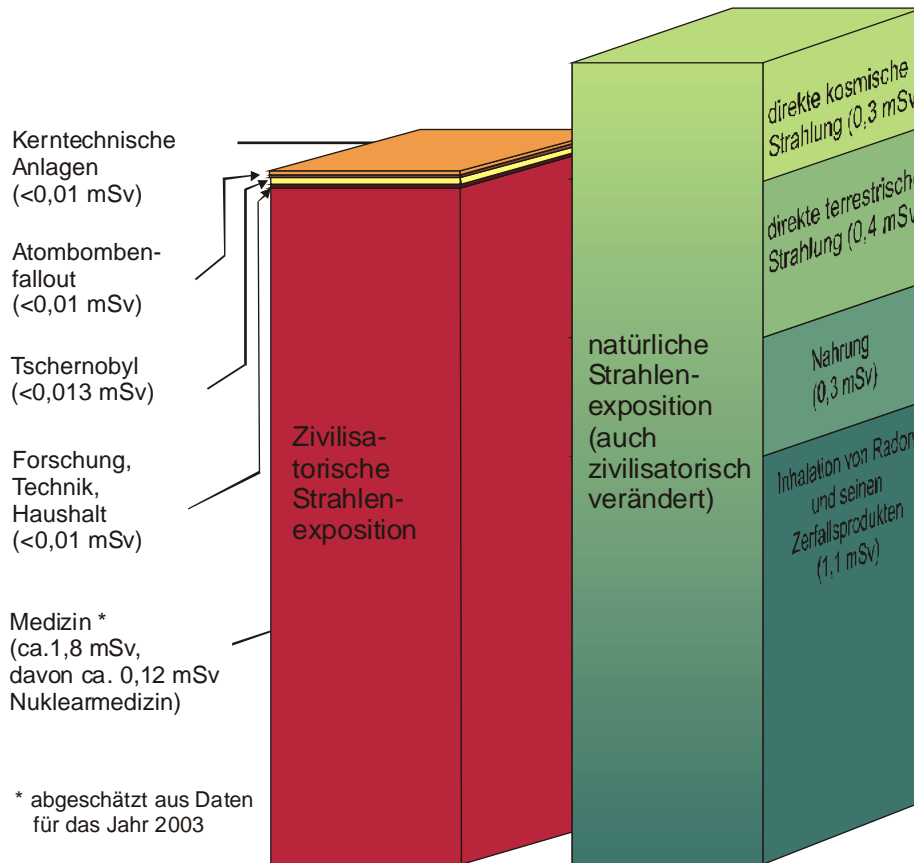
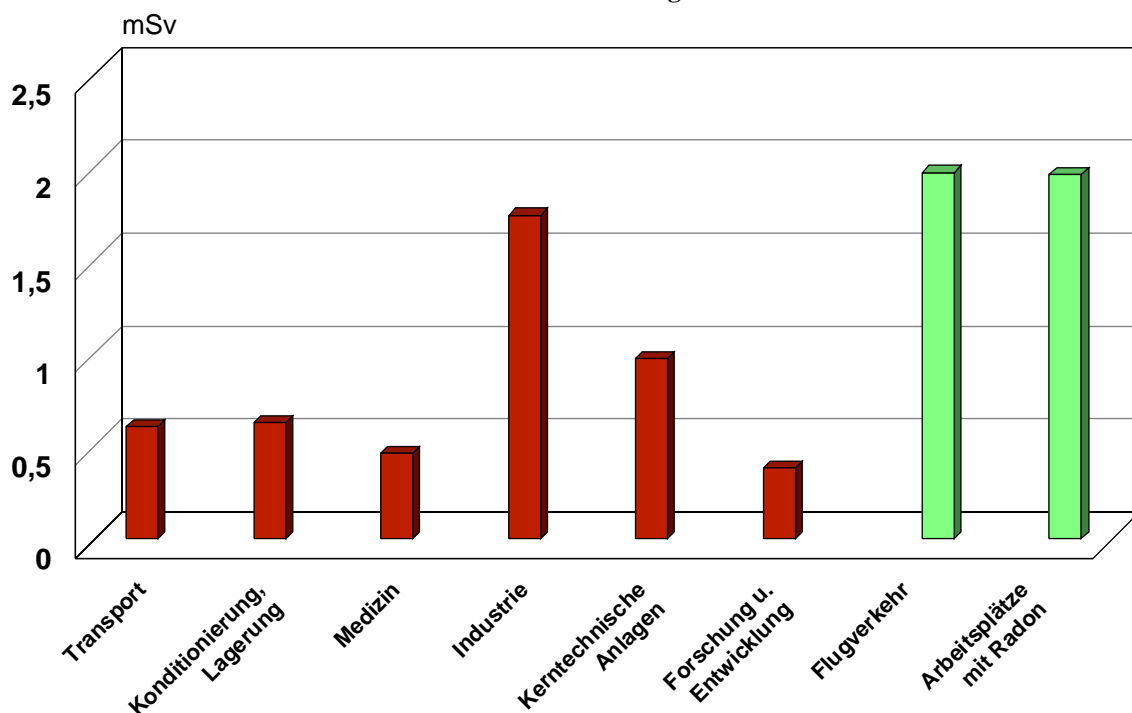


Abbildung 2

**Mittlere Jahres-Personendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland
im Jahr 2005 in bestimmten Tätigkeitsbereichen**



Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2005 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).

Auch der Beitrag durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Forschung, Technik und Haushalt lag unterhalb dieses Wertes (Abschnitt II.3).

Berufliche Strahlenexposition

Bei der beruflichen Strahlenexposition hat sich der Beitrag gegenüber dem Vorjahr nicht wesentlich verändert. Seit der Absenkung des Jahresgrenzwerts von 50 mSv auf 20 mSv durch die Novellierung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001 ging die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten haben, kontinuierlich zurück (Abschnitt III.2.1). Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung, die seit 2002 an das Strahlenschutzregister des BfS übermittelt werden (Abschnitt III.2.2) zeigen 2005 eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung der Jahresdosen durch Inkorporation zu niedrigeren Werten.

Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2005 ca. 311.000. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 53.000 Personen) betrug 0,81 mSv. [Abbildung 2](#) gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Gegenüber dem Vorjahr ist bei den beruflich Strahlenexponierten der Wert der Jahresdosis aus Radonzerfallsprodukten von 0,69 mSv auf 1,96 mSv angestiegen. Dies liegt zum einen an einer erheblichen Zunahme der Anzahl von Beschäftigten mit Jahresdosen von mehr als 6 mSv aus Wasserwerken und Schauhöhlen. Zum anderen liegt es an der deutlichen Abnahme der Anzahl der Beschäftigten in der Wismut GmbH, deren niedrigere Jahresdosen den Gesamtmittelwert für den Personenkreis der Radonexponierten senken (Abschnitt III.1.2).

Die ermittelte Jahresdosis für fliegendes Personal liegt bei 1,96 mSv. Im Vergleich zum Vorjahr ergibt sich kein wesentlicher Unterschied.

Medizinische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Er ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Die aktuellsten Abschätzungen für diesen Beitrag liegen für das Jahr 2003 vor. Er betrug in den Jahren 2002 und 2003 jeweils 1,7 mSv (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 0,013 mSv im Jahre 2005 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt 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 2005 weniger als 0,01 mSv.

Gesamtbewertung für ionisierende Strahlung

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition beträgt zusammen zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Rechnerisch ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenbelastung wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf etwa 1,8 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die berechnete Gesamtexposition beträgt 3,9 mSv. Der gegenüber dem Vorjahr etwas niedrigere Wert ergibt sich auf Grund genauerer Abschätzungen für die Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen.

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, zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern z. B. des Mobilfunks, bis hin zur optischen Strahlung, die sich in Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung unterteilen lässt. Auf Grund der technischen Entwicklung in unserer Umwelt ist die Bevölkerung vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

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

Sowohl im niederfrequenten wie im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung 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 Bundesnetz-

agentur (BNetzA), vormals Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP), nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA und von einigen Bundesländern wurde gezeigt, dass die 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 Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Dies hat zu einer Besorgnis erregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Handeln tut hier not. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2005 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die Belastung durch UV für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren. Hierzu gehört zum einen das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen wird hier die tägliche UV-Strahlung kontinuierlich erfasst und bewertet.

Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von über acht im Norden Deutschlands auf und bis über neun in der Mitte Deutschlands in den Monaten Mai bis Juli (Abschnitt VI.2.3). Ein ozonbedingter Trend zu einem Anstieg der UV-Strahlung, der auf einen Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre zurückgeführt werden könnte, lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht nachweisen. Zum anderen hat das BfS 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 seit 2003 laufende freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Drei der fünf durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen haben bis Ende 2005 55 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Solarienbetriebe ist diese Anzahl unbefriedigend und zwingt zu einer Überprüfung des Instruments der Freiwilligkeit.

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 γ -Strahlung bei, die von den in Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht. Eine innere Strahlenexposition resultiert aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide über die Ingestion und die Inhalation.

Den wesentlichen Beitrag zur äußeren Strahlenexposition, die durch die kosmische Strahlung verursacht wird, liefert die ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von

0,24 mSv, die mit der Höhe über dem Meeresspiegel zunimmt (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Dagegen verursacht die Neutronenkomponente der kosmischen Strahlung 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, 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 die äußere Strahlenexposition vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Auf solchen Flächen wurden im Mittel γ -Ortsdosisleistungen bestimmt, die auf ein Jahr hochgerechnet 0,35 mSv ergeben würden. Höhere Werte (lokal bis über 1,2 mSv/a) 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 und Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

Abbildung I.1-1 zeigt die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland 2005.

In urbanen Gebieten wird die γ -Ortsdosisleistung im Freien 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.

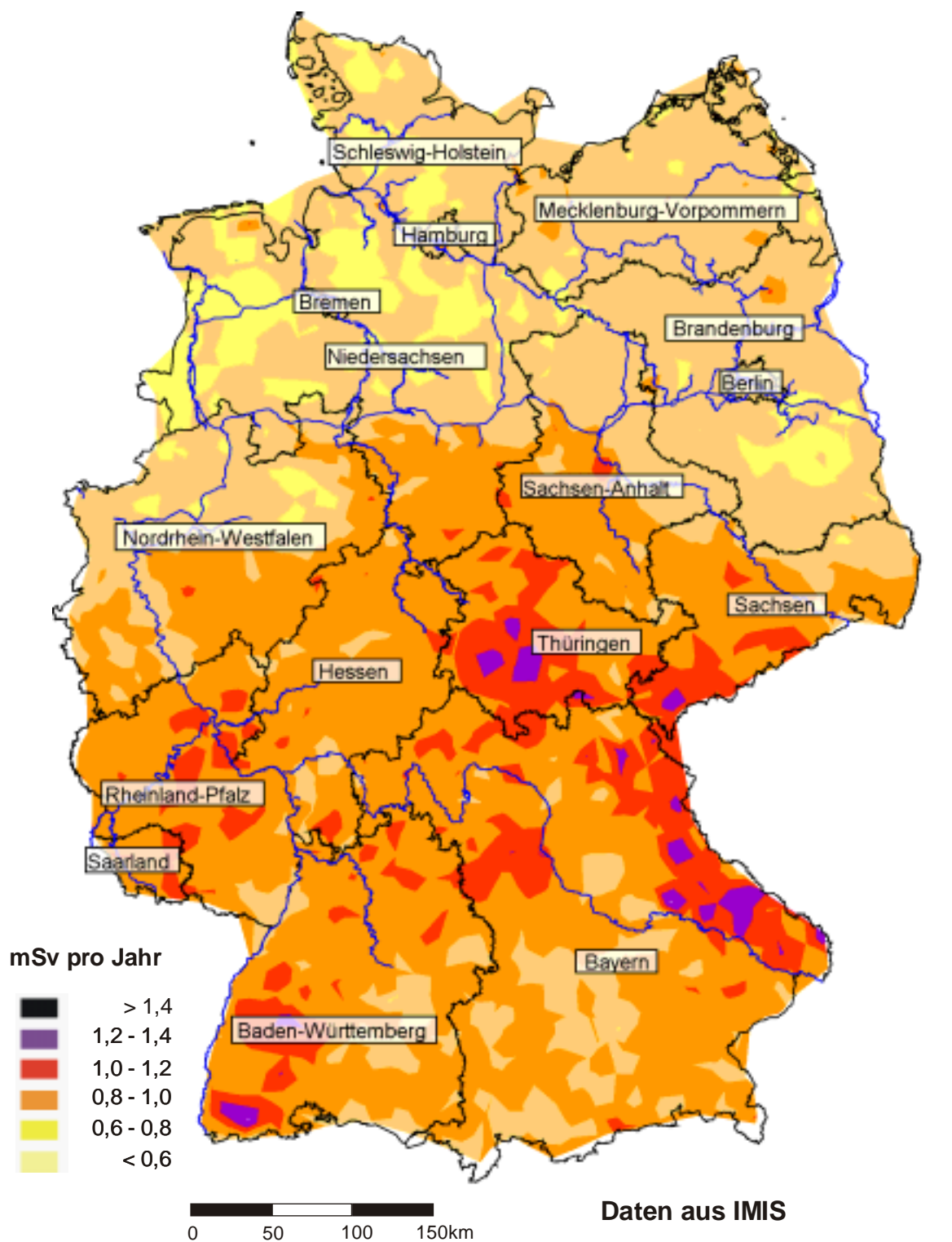
In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition ebenfalls durch den Gehalt der Radionuklide in den verwendeten Baustoffen bestimmt. Die γ -Ortsdosisleistung in Gebäuden beträgt auf ein Jahr hochgerechnet im Mittel 0,49 mSv bei einem Wertebereich von 0,12-4,3 mSv.

Bei mittleren Aufenthaltsdauern von 19 Stunden in Gebäuden und 5 Stunden im Freien pro Tag beträgt die jährliche effektive Dosis durch die von den terrestrischen Radionukliden verursachten äußeren Strahlenexposition 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 Aerosole angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort durch α -Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. 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

Abbildung I.1-1

Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland in Bodennähe im Freien, 2005



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 Kaliumgehalt 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 Zufuhr (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 60) 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 deshalb 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 Variation der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis für die durchschnittlichen Verhältnisse in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein Wert von 2,4 mSv angegeben (siehe Seite 60).

Die natürlichen Radionuklide in den 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, dadurch verursachte 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 Radionuklide 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 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 er-

folgen, 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 des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt (s. Tabelle III.1 im Bericht von 1999).

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

Der Mittelwert der durch die natürlichen radioaktiven Stoffe in den Baumaterialien verursachten Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands ergibt hochgerechnet auf ein Jahr eine Exposition von 0,49 mSv. Werte über 1,2 mSv/h sind selten.

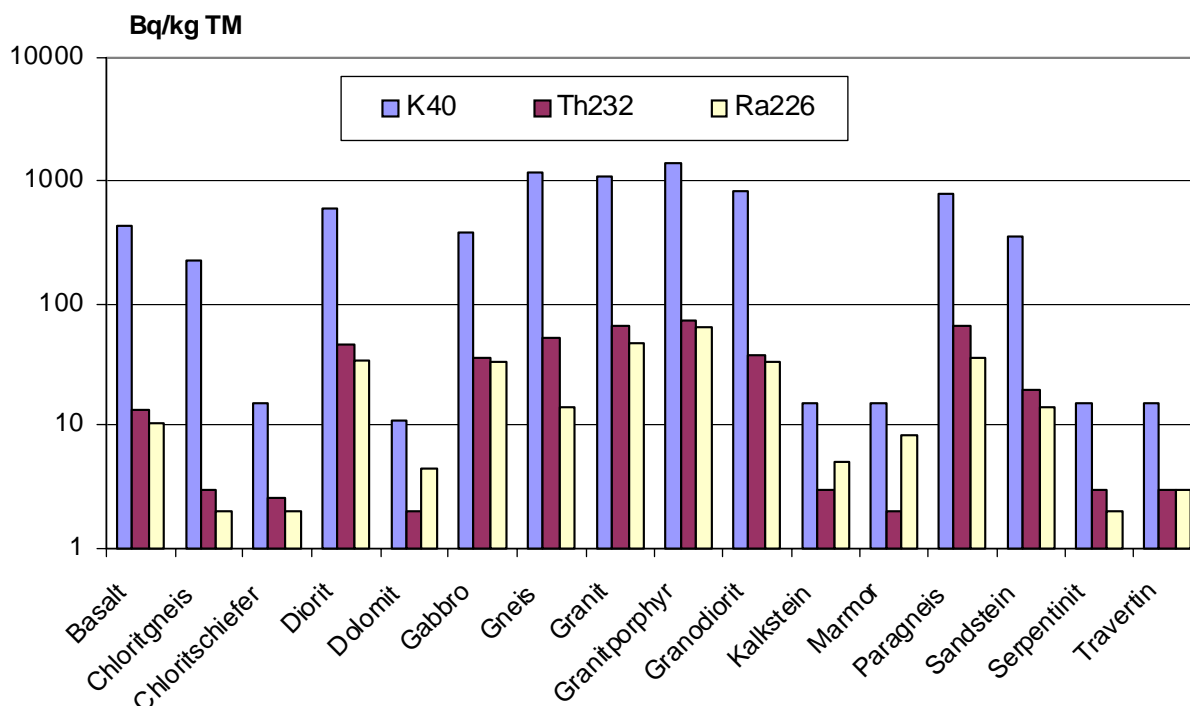
Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutschland verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering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

Bedingt durch die zunehmende Anwendung dieser Materialien im häuslichen Bereich steht in jüngster Zeit die natürliche Radioaktivität von Naturwerkstein 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. Dazu sind in der Anlage XII der StrlSchV Überwachungsgrenzen für

Abbildung I.2-1

Medianwerte der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide in Naturwerksteinen

die Verwertung dieser Materialien als Baustoff festgelegt worden. Bei deren Einhaltung ist sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird. Dies ist bei der Prüfung der Verwendbarkeit von Baustoffen zu beachten, denen Rückstände der genannten Art zugesetzt werden. Mit der neuen Regelung wird der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) entsprochen, nach der in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

3. Radon in Gebäuden

3.1 Gesundheitliche Effekte durch Radon

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

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

In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs unter-

sucht. Auf dieser Grundlage kommt die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Empfehlung, verabschiedet auf der 199. Sitzung am 21./22.04.2005 zu folgender Bewertung:

- Die zusammenfassende Auswertung der in Europa und Nordamerika durchgeführten Studien ergibt 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.

3.2 Optimale Vorgehensweise zur Begrenzung der Radonexposition in Gebäuden

Die SSK fordert in der in Abschnitt I.3.1 genannten Empfehlung dazu auf, im Sinne der Konsistenz von Risikoeinstufungen Regelungen zur Begrenzung der Radonexposition in Wohnungen vorzubereiten. Aus den epidemiologi-

schen Untersuchungen ergäbe sich, dass das Ziel dieser Regelungen eine generelle und möglichst weit gehende Reduzierung der Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen sein sollte.

Bei der Entwicklung eines Konzeptes muss folgendes in Betracht gezogen werden:

- Die Häufigkeit der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland ist annähernd logarithmisch normalverteilt.
- Die Radonkonzentration im Freien liegt meist im Bereich bis 30 Bq pro Kubikmeter Luft, aber es kommen vereinzelt auch Konzentrationen bis zu 80 Bq/m³ vor.
- Der Beitrag zur Radonkonzentration in Wohnungen aus mineralischen Baumaterialien, die den Hauptanteil der Wohnbausubstanz bilden, beträgt im Median 30 Bq/m³ und reicht bis 70 Bq pro Kubikmeter Innenraumluft.

Daraus folgt, dass als praktikable und den Umständen in Deutschland angemessene Zielstellung für Regelungen festgelegt werden sollte, Radonkonzentrationen von über 100 Bq pro Kubikmeter Luft in Aufenthaltsräumen durch Maßnahmen zu vermeiden. Art und Effizienz der Maßnahmen sollten bei Neubauten der Standortsituation gerecht werden. Bei der Sanierung bestehender Gebäude sollten sie sich an der Höhe der gemessenen Radonkonzentration orientieren.

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 pro Kubikmeter Luft. 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 regionalen 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 den Quotienten aus der Radonkonzentration in unterkellerten Erdgeschoss-Wohnräumen bzw. Kellerräumen zu der Radonkonzentration in der Bodenluft 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 ‰).

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden unter Beachtung der Verteilung des Transferfaktors die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung unterschiedlicher Konzentrationsniveaus abgeschätzt. In [Abbildung I.3-2](#) ist die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der Konzentration von 100 Bq/m³ in einem vollständig unter-

kellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft dargestellt.

Bei einer Bauausführung entsprechend der heutigen Anforderungen, vor allem einer DIN-gerechten Abdichtung der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte, sind in Gebieten, in denen die Radonkonzentration in der Bodenluft 20 kBq/m³ nicht übersteigt, Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ 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 beim Neubau ergänzende Maßnahmen eingeplant werden, um sicher zu stellen, dass die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen 100 Bq/m³ möglichst nicht übersteigt. Selbst an Standorten mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft kann dies mit vertretbarem finanziellem Aufwand erreicht werden. Wenn bauliche oder heizungs-, Lüftungstechnische Maßnahmen in Umsetzung der Energieeinsparverordnung durchgeführt werden, sind objektbezogenen Lösungen anzuwenden, die zu keiner Erhöhung der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen führen.

Ausgehend von Messungen in über 50.000 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/m³ 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 nach grober Abschätzung derzeit davon ausgegangen, dass in mindestens 10 bis 12 % der bestehenden Ein- und Zweifamilienhäuser Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen vorkommen. In rund 0,3 % des Bestandes dieser Häuser liegt die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen vermutlich über 1000 Bq/m³.

Abbildung I.3-2

Berechnete Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der Radonkonzentration von 100 Bq/m³ in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft

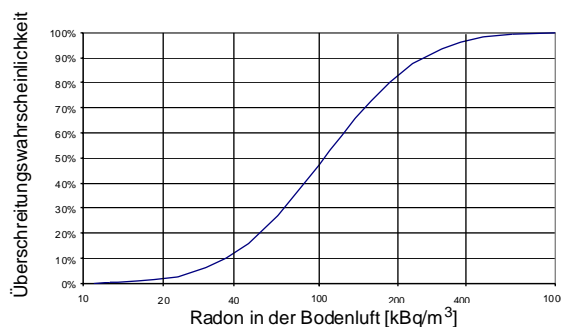
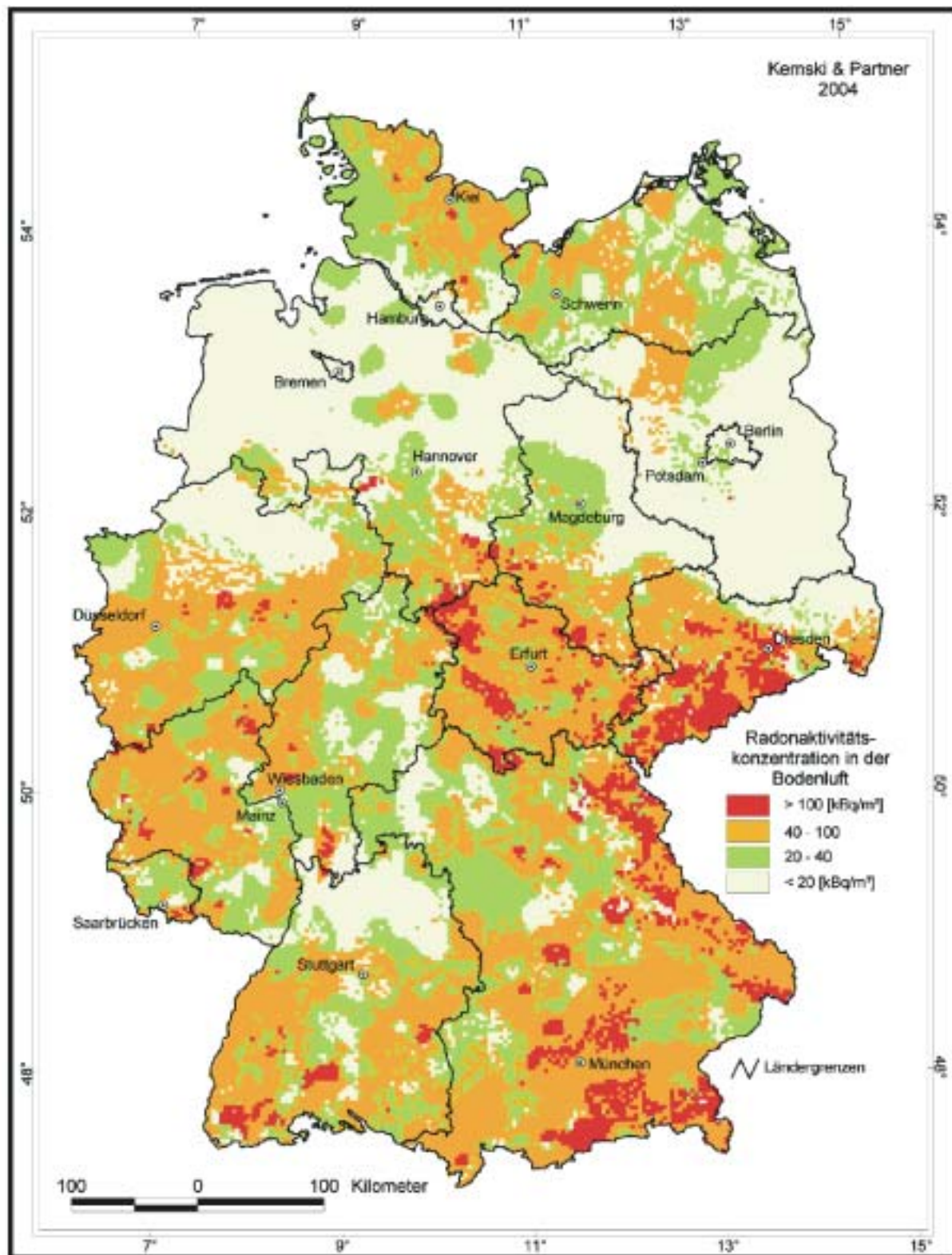


Abbildung I.3-1

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

Die für 2005 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.

¹⁴C wird in [Abbildung II.1-2](#) in Form von ¹⁴CO₂ angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders von Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes ¹⁴C abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist. Die Gesamtsumme an abgeleitetem ¹⁴C über die Fortluft im Jahr 2005 beträgt an den in [Abbildung II.1-2](#) aufgeführten Standorten etwa 5,6 • 10¹² Bq.

In [Abbildung II.1-4](#) sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, dem Hahn-Meitner-Institut Berlin und der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) in Garching für das Jahr 2005 zusammengefasst. Die Ableitungen radio-

aktiver 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 2005 zusammengestellt. [Abbildung II.1-6](#) enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2005 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in [Tabelle II.1-1](#) 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 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 19.08.2004 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.1-7 bis II.1-9](#) 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 Exposi-

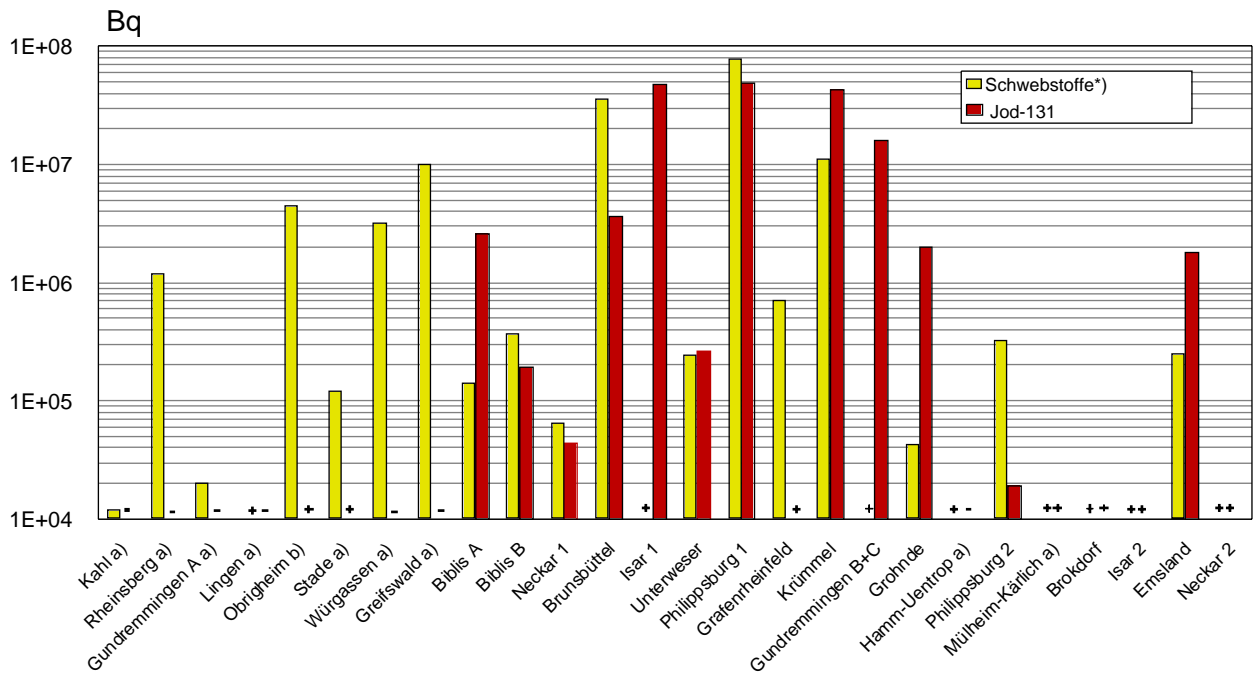
Tabelle II.1-1

Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

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

Abbildung II.1-1

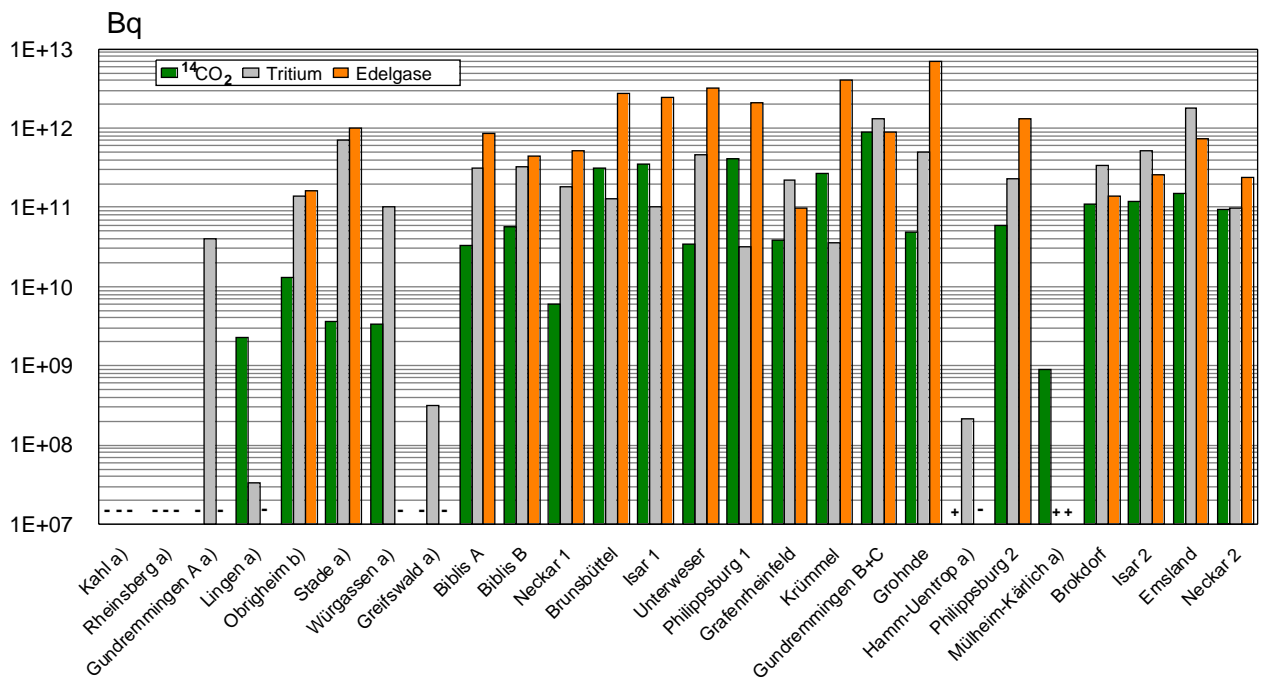
**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2005
Schwebstoffe und Jod-131**



a) Betrieb beendet b) Betrieb beendet am 11.05.2005 + Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler, früher "Aerosole" - Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2005
¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase**



a) Betrieb beendet b) Betrieb beendet am 11.05.2005 + Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2005
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

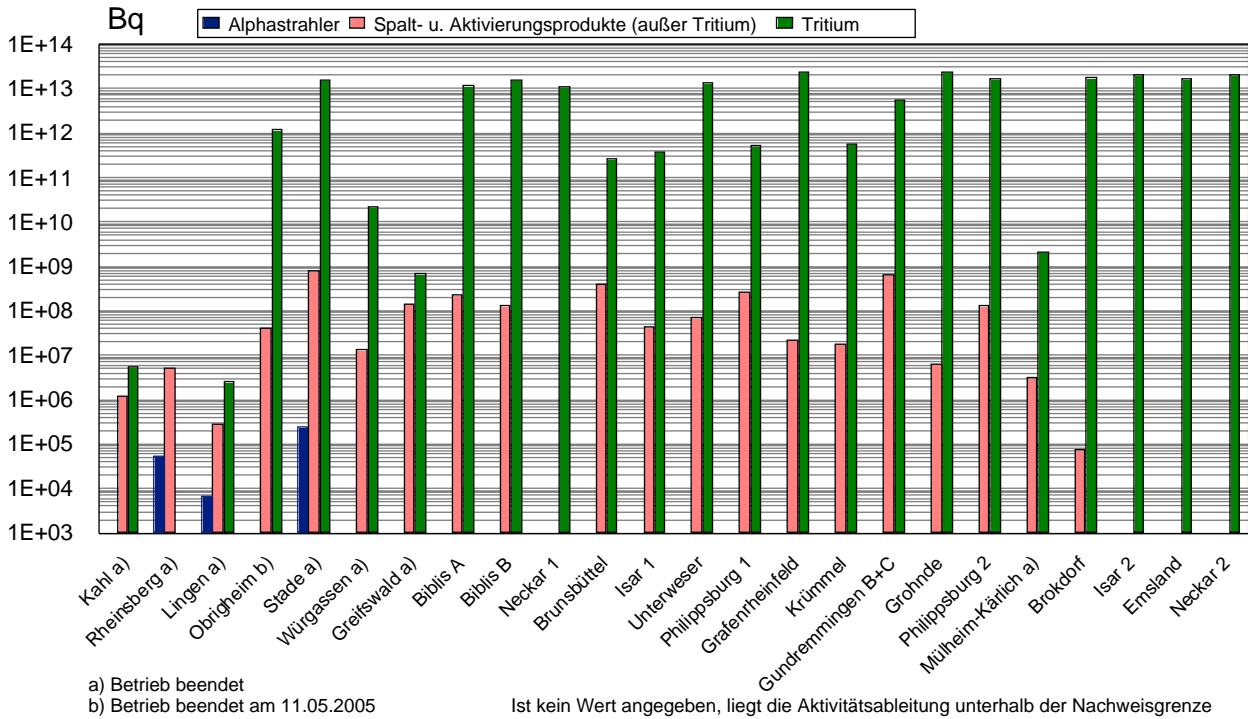


Abbildung II.1-4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2005
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, ¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase**

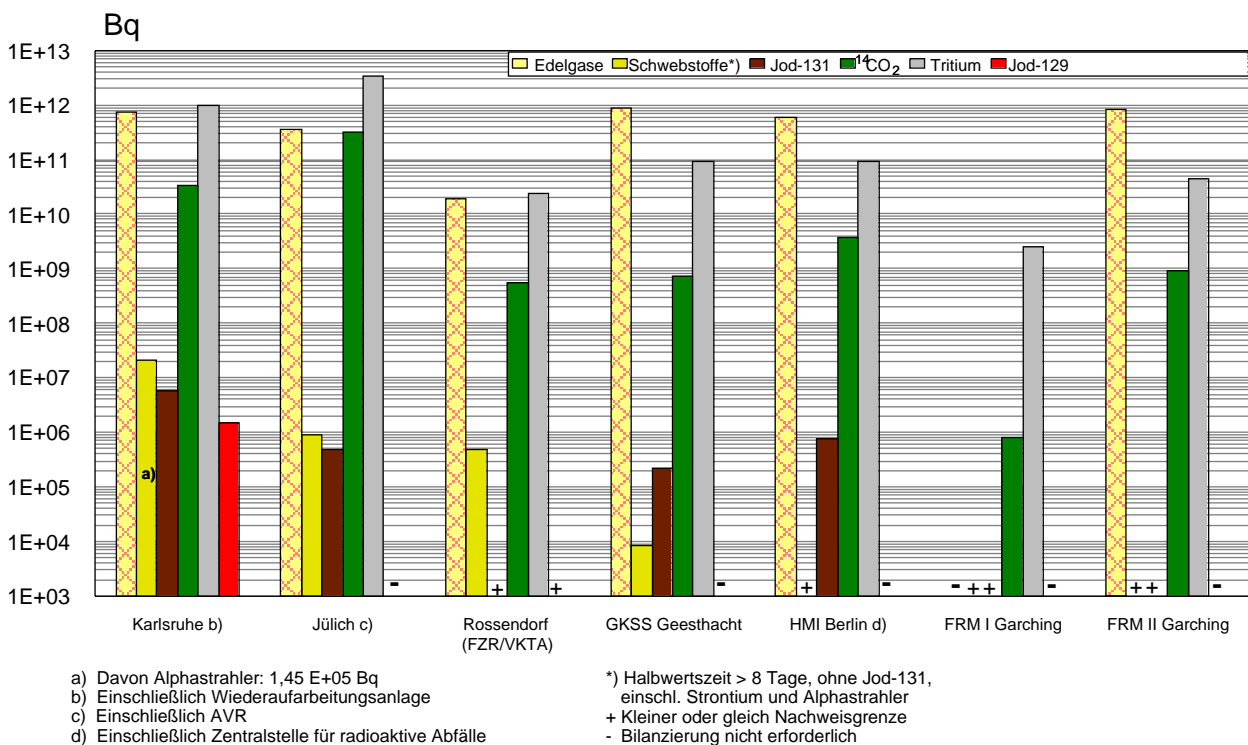


Abbildung II.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2005
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

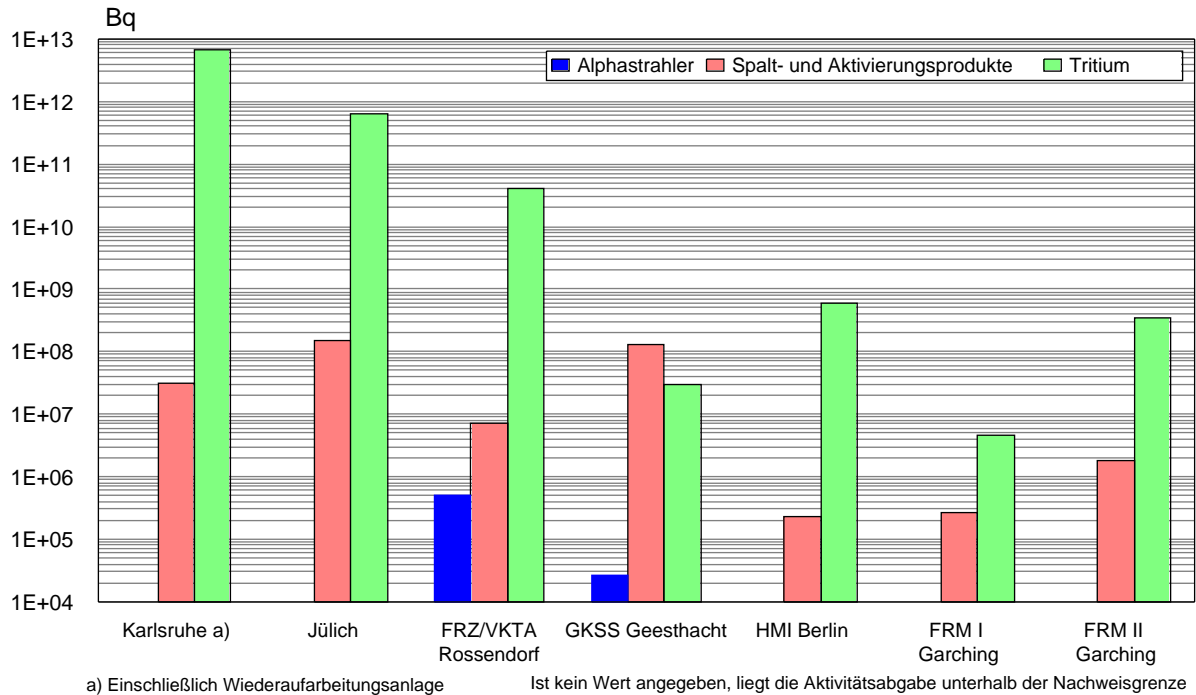


Abbildung II.1-6

Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2005

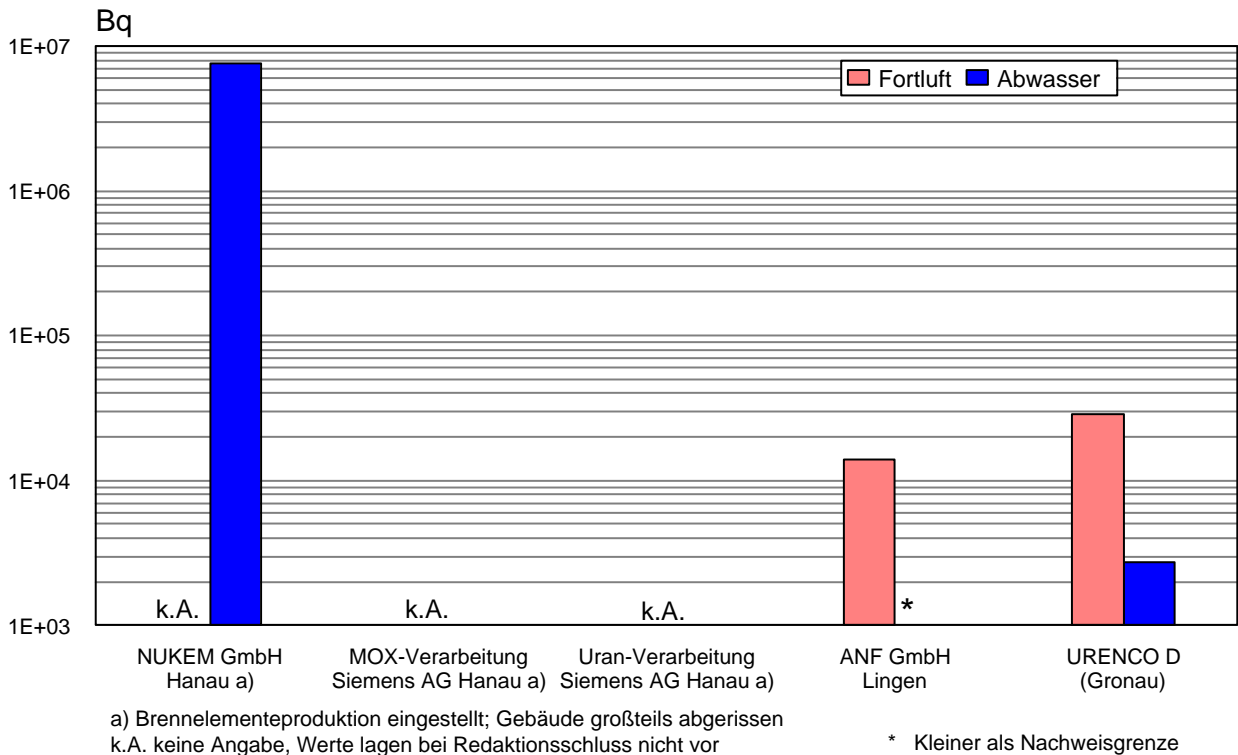
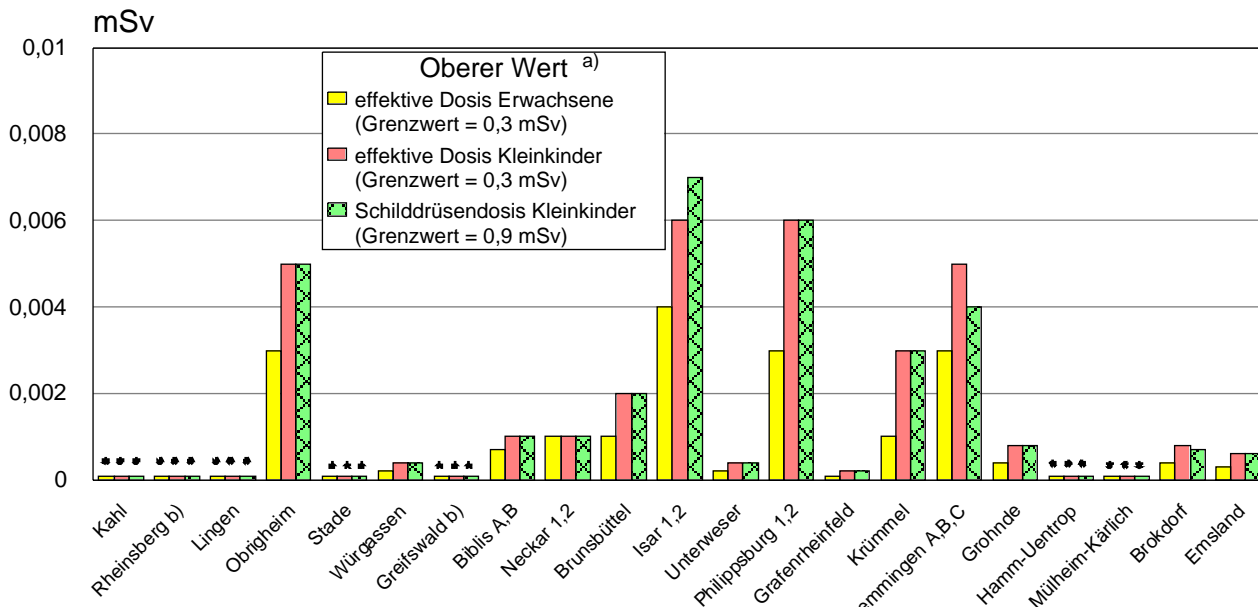


Abbildung II.1-7

Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



* kleiner als 0,0001 mSv
 a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
 b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen.

tionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2005 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft enthält [Abbildung II.1-7](#).

Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe > 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe von 1 bis 2 Jahren) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. [Abbildung II.1-7](#) zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv (unter 2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Kernkraftwerk Isar, sowie für Kleinkinder 0,006 mSv (2 % des Dosisgrenzwertes) bei den Kernkraftwerken Isar und Philippsburg. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (rund 1 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Isar.

In [Abbildung II.1-8](#) sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Er-

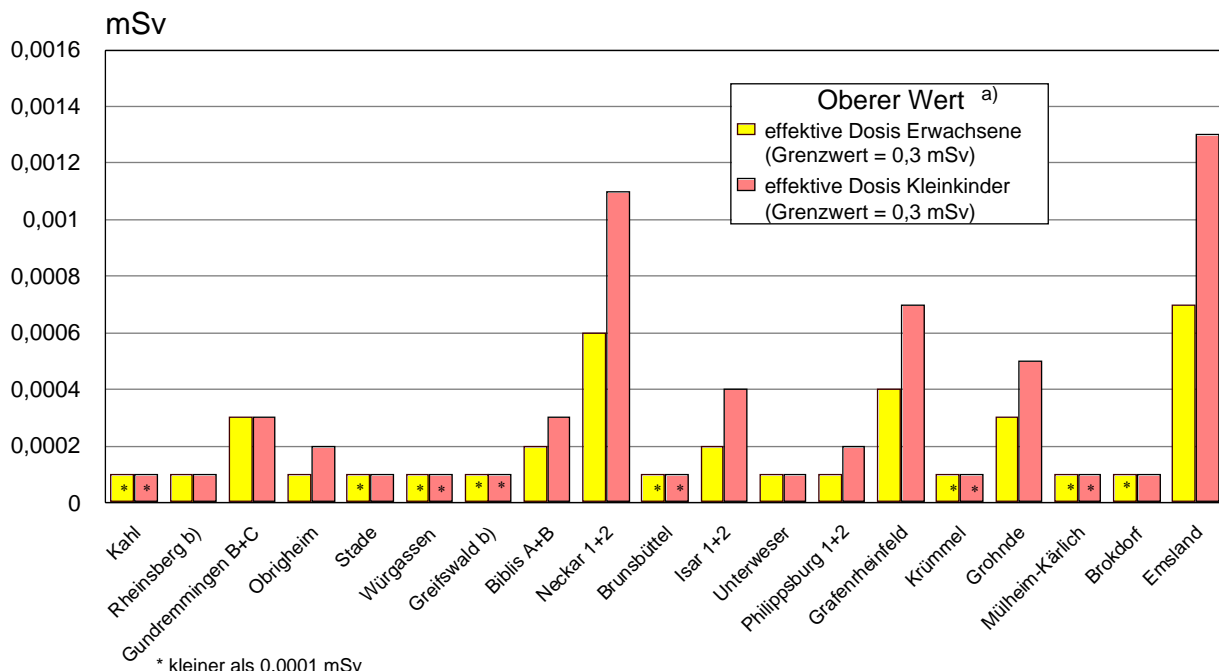
wachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der höchste berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0007 mSv (entsprechend rund 0,3 % des Dosisgrenzwertes) und für Kleinkinder 0,0013 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung vom 19.08.2004 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 0,0016 mSv und 0,001 mSv für Kleinkinder bzw. Erwachsene im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,0002 mSv bzw. 0,0004 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.1-9](#) sind Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver

Abbildung II.1-8

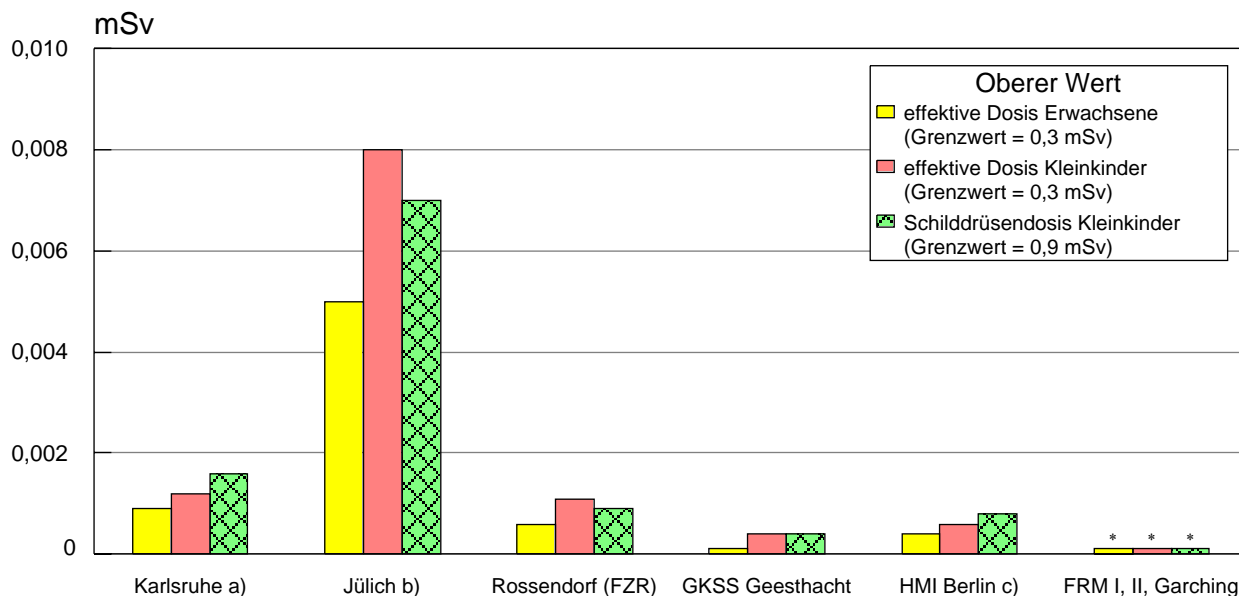
Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



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

Abbildung II.1-9

Strahlenexposition im Jahr 2005 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

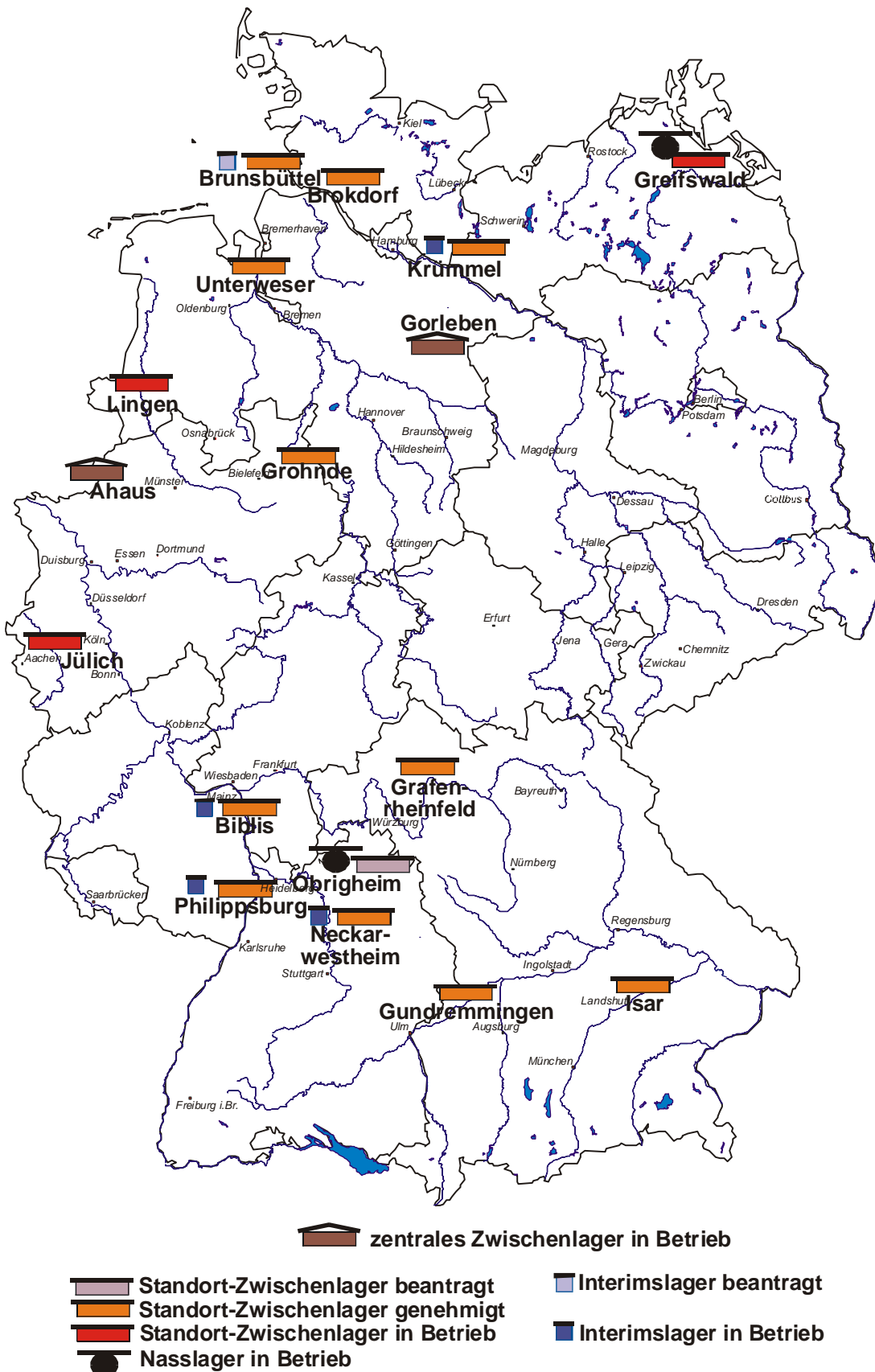


* kleiner als 0,0001 mSv
 Die Werte für die Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rosendorf, Geesthacht und HMI-Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2005 entnommen

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

Abbildung II.1-10

Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2005 (Stand 31.12.2005)



Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, des Hahn-Meitner-Instituts Berlin und der Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) in Garching angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2005 als höchsten Wert 0,005 mSv (rund 2 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,008 mSv (rund 3 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (rund 1 % des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2005 nach Angaben aus den jeweiligen Jahresberichten für Erwachsene obere Werte von < 0,0001 mSv (Karlsruhe), 0,011 mSv (Rossendorf) und < 0,002 mSv (Jülich).

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft jeweils unter 0,0001 mSv.

Für die Hanauer Betriebe, die großteils zurückgebaut sind, lagen bei Redaktionsschluss noch keine Emissionsdaten vor. Im Vorjahr 2004 betragen die Dosiswerte der effektiven Dosis für Erwachsene 0,001 mSv (rund 0,3 % des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,003 mSv (1 % des Grenzwertes). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder lag 2004 bei 0,06 mSv (rund 3 % des Grenzwertes).

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe lagen wie im Vorjahr auch im Jahr 2005 bei jeweils weniger als 0,0001 mSv.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in [Tabelle II.1-2](#) aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2005 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 0,00101 mSv; dies sind 0,04 %, 0,1 bzw. 0,3 % des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Do-

sis 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 0,0031 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1 %, 0,3 % bzw. 1,0 % des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2005 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge.

Bei den in Betrieb befindlichen Kernbrennstoff-Zwischenlagern Ahaus, Jülich, Lingen (Emsland) und Gorleben sowie Nord (bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf; dasselbe gilt für die in Betrieb befindlichen Interimslager Neckarwestheim, Philippsburg, Biblis und Krümmel sowie für die im Genehmigungsverfahren bzw. genehmigten, aber noch nicht in Betrieb befindlichen dezentralen Zwischenlager. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist lediglich die Gamma- und Neutronendosis bzw. Dosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. [Abbildung II.1-10](#) zeigt eine Übersicht über beantragte, genehmigte und bereits in Betrieb genommene Zwischen- bzw. Interimslager an den Standorten von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2005.

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.1-1](#)) führte 2005 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer Referenzperson bis zu 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich ebenfalls obere Werte bis zu 0,01 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbau-

Tabelle II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2005

	Fortluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	1,7 E+10	1,6 E+05
Kohlenstoff-14	6,4 E+08	-
langlebige Schwebstoffe	1,1 E+06	-
Radonfolgeprodukte	5,1 E+09	-
Nuklidgemisch außer Tritium	-	2,9 E+03

- Bilanzierung nicht erforderlich

gebieten wurde im Jahr 2005 Jod-131 nicht nachgewiesen.

1.3 Zusammenfassende Bewertung

Aus den für das Jahr 2005 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](#) 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 2005 haben die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 5 % 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 2005 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 Schacht- und Abwässern und der Fortluft¹ 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 2005 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](#)).

Während die Ableitungen von Radium-226 mit den Schacht- und Abwässern etwa auf Vorjahresniveau blieben, wurde die Menge des abgeleiteten Urans im Vergleich zum Vorjahr um rund ein Fünftel verringert.

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 natürlichen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Ge-

¹ Hier sind im wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

wässer wird jedoch nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt, so dass dadurch keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen. Dagegen wurden in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (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.

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 Zehnfache des natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveaus betragen können. Radon-222-Konzentrationen im Freien, die aus Sicht des Strahlenschutzes zu beachten sind, treten jedoch nur in Wohngebieten in unmittelbarer Nähe solcher Hinterlassenschaften auf.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden vom BfS im Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ systematisch erfasst, orientierend 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 sog. 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 2005

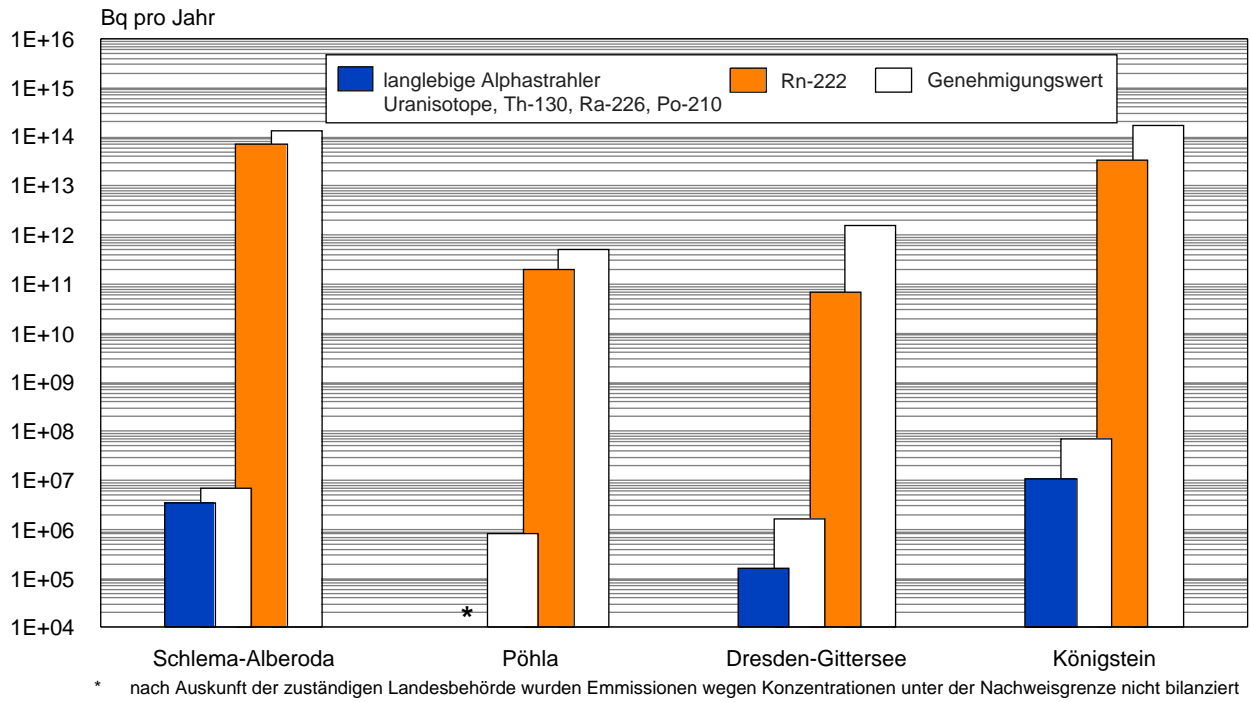
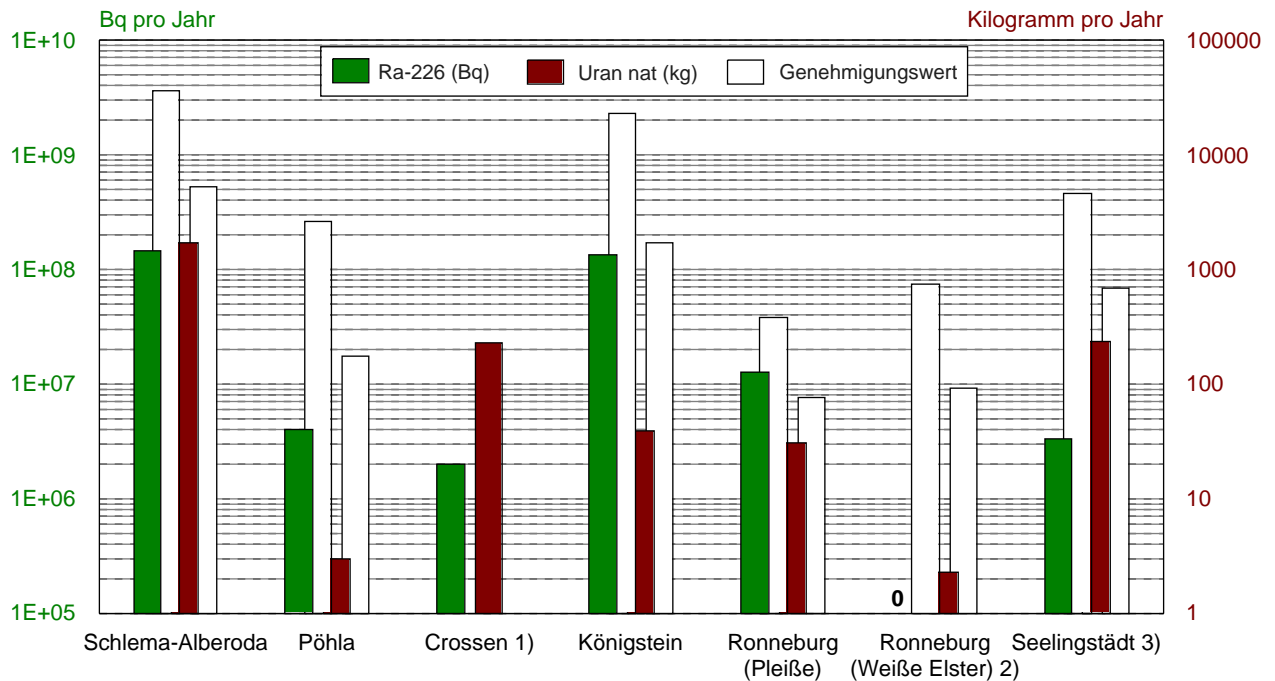


Abbildung II.2-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2005



1) keine Genehmigungswerte

2) Die Genehmigungswerte wurden errechnet aus der genehmigten Wassermenge pro Tag multipliziert mit der Maximalkonzentration und den 22 Betriebstagen

3) Die Genehmigungswerte wurden errechnet aus dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (0,3 mg/l) bzw. 0,2 mBq/l) und der genehmigten Wassermenge (2,3 Mio m³)

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 verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z. B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstand-, 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 Anwendung der entsprechenden radioaktiven Stoffe resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

3.2 Hochradioaktiv umschlossene Strahlenquellen

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Das Gesetz 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 deutschen Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Zentralregisters für hochradioaktive, umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Einsatzort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird im Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität zum Zeitpunkt des In-Verkehr-Bringens eine gesetzlich vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1 -Wertes: z. B. Ir-192 > 10 GBq, Co-60 > 4 GBq) zentral erfasst. Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

In Deutschland gibt es bis zu zehntausend hochradioaktiv umschlossene Strahlenquellen. Sie haben ein breites Anwendungsfeld; in der Medizin werden sie überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt. Die Industrie verwendet hochradioaktive Quellen häufig für die zerstörungsfreie Materialprüfung, wo z.B. mittels mobiler Strahlenquellen der Nuklide Cs-137 oder Ir-192

Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen vorgenommen werden. Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung: z.B. verwendet man Co-60-Quellen für die Simulation von Strahlungsfeldern oder Cf-252 als Neutronenquelle.

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 eine Bauartzulassung nicht vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten, wie z.B. in Fernsehgeräten. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in der RöV § 5, Abs.2, Satz 1 geregelt.

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

3.4 Freigaberegulungen

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

Die Freigabe nach § 29 StrlSchV erstreckt sich auf Stoffe aus der Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt, sowie auf entsprechende Anwendungen in der Medizin. Es kann gezeigt werden, dass die höchsten Beiträge zur Kollektivdosis aus dem Abriss kerntechnischer Anlagen resultieren werden. Selbst unter konservativen Annahmen zu Mengen und Aktivitäten freigegebener Stoffe ergeben sich aber für künftige Freigaben Personendosen deutlich unterhalb 1 Personen-Sv in einem Jahr.

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 1 mSv/a erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter. Sowohl bezüglich der Anzahl der überwachten Personen als auch auf Grund der seit vier Jahrzehnten praktizierten Überwachung kann dies als der traditionelle Bereich der beruflichen Strahlenschutzüberwachung angesehen werden (Kapitel 2.1).
- Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z.B. über

Abbildung III.2-1

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

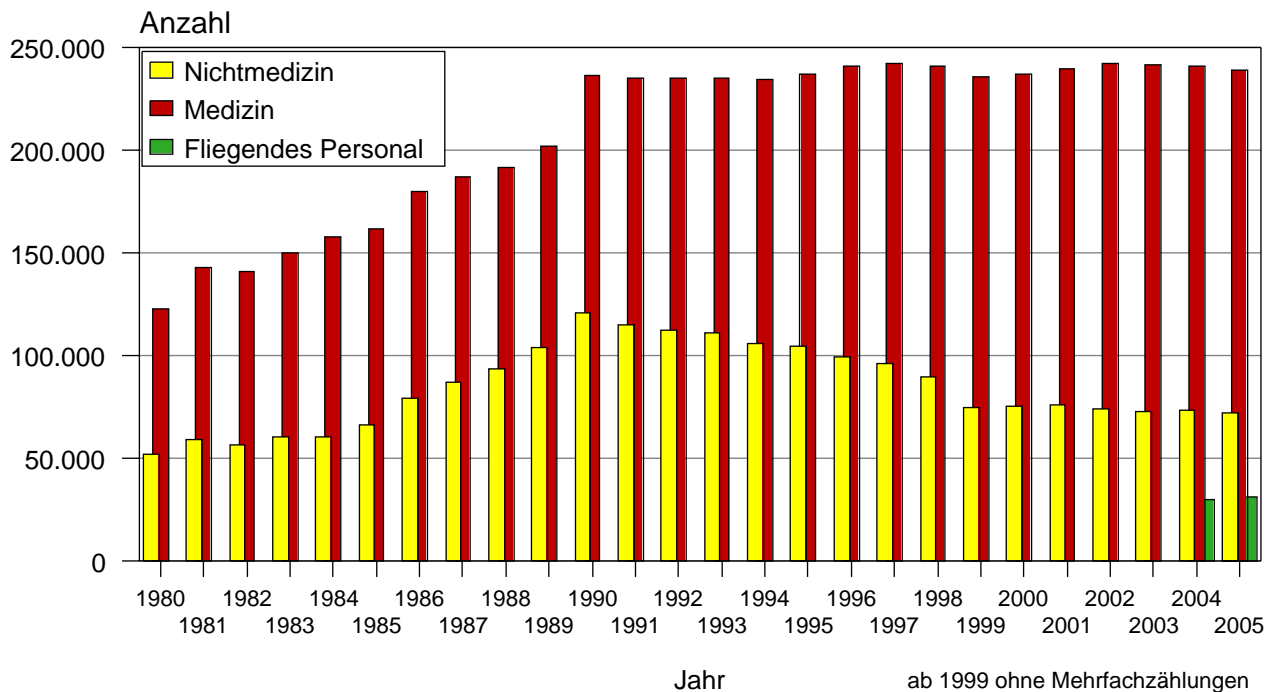


Abbildung III.2-2

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

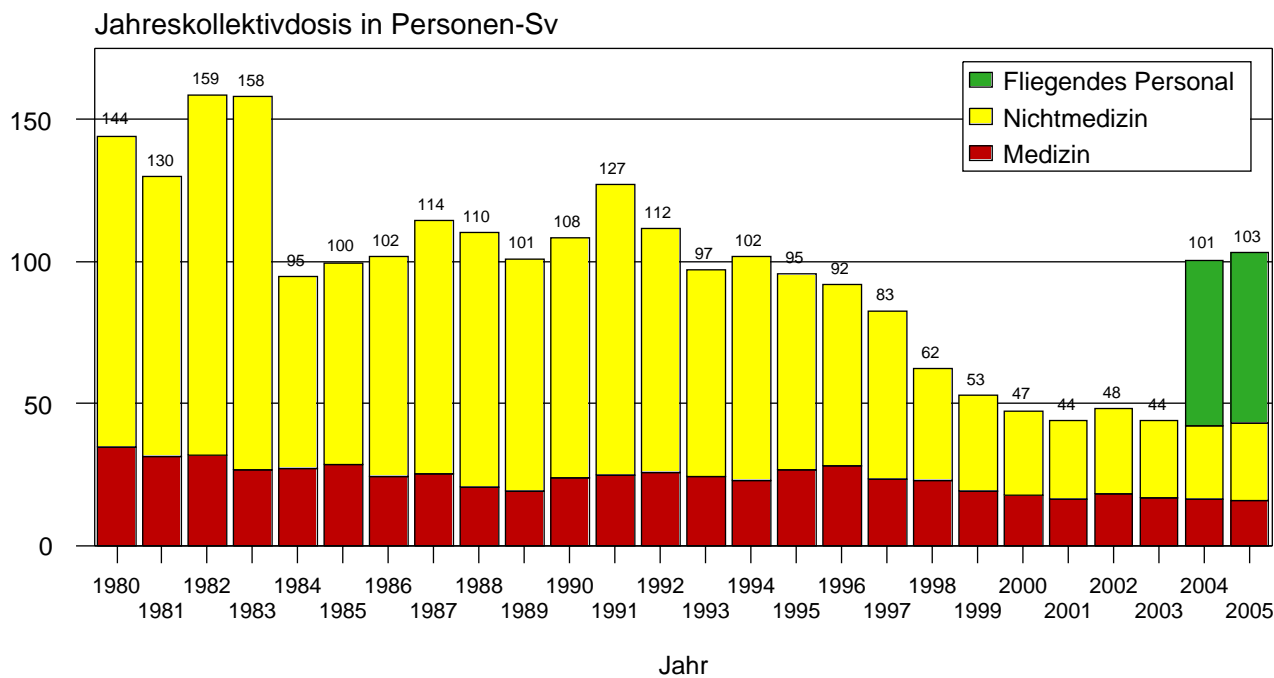


Abbildung III.2-3

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2005

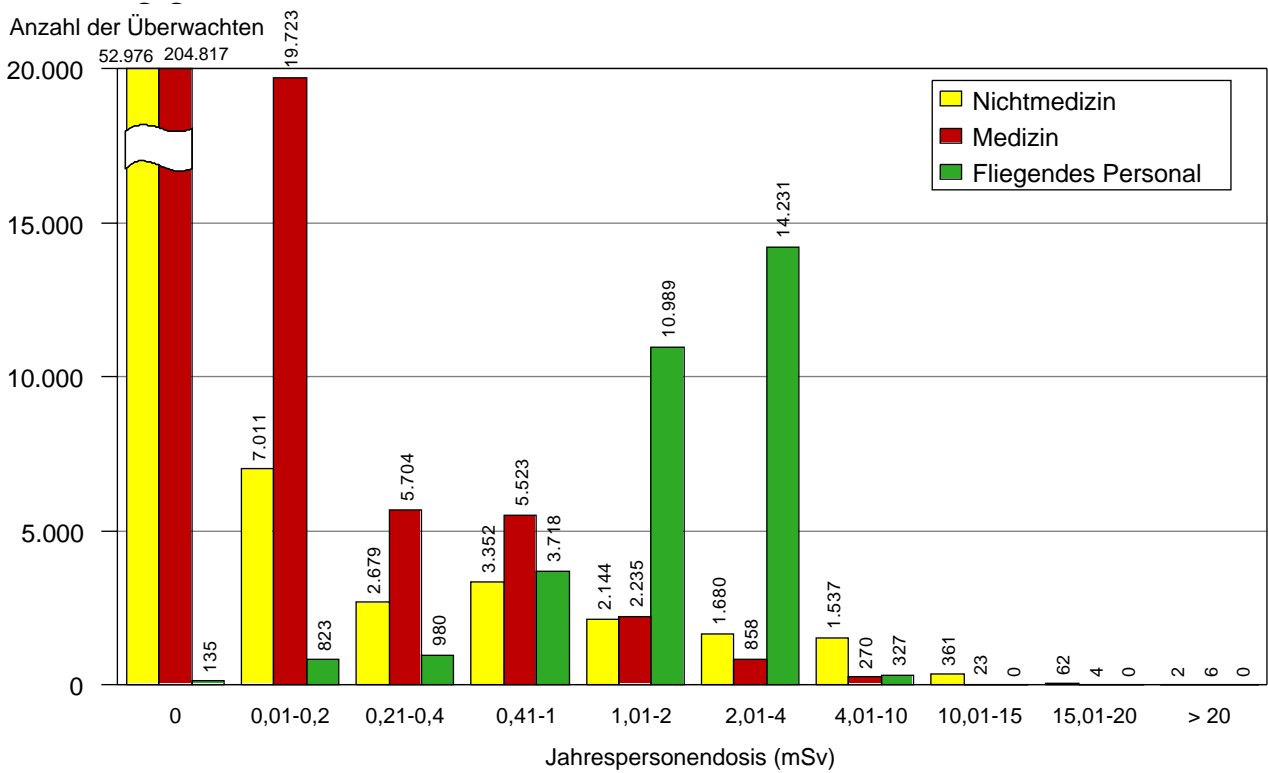
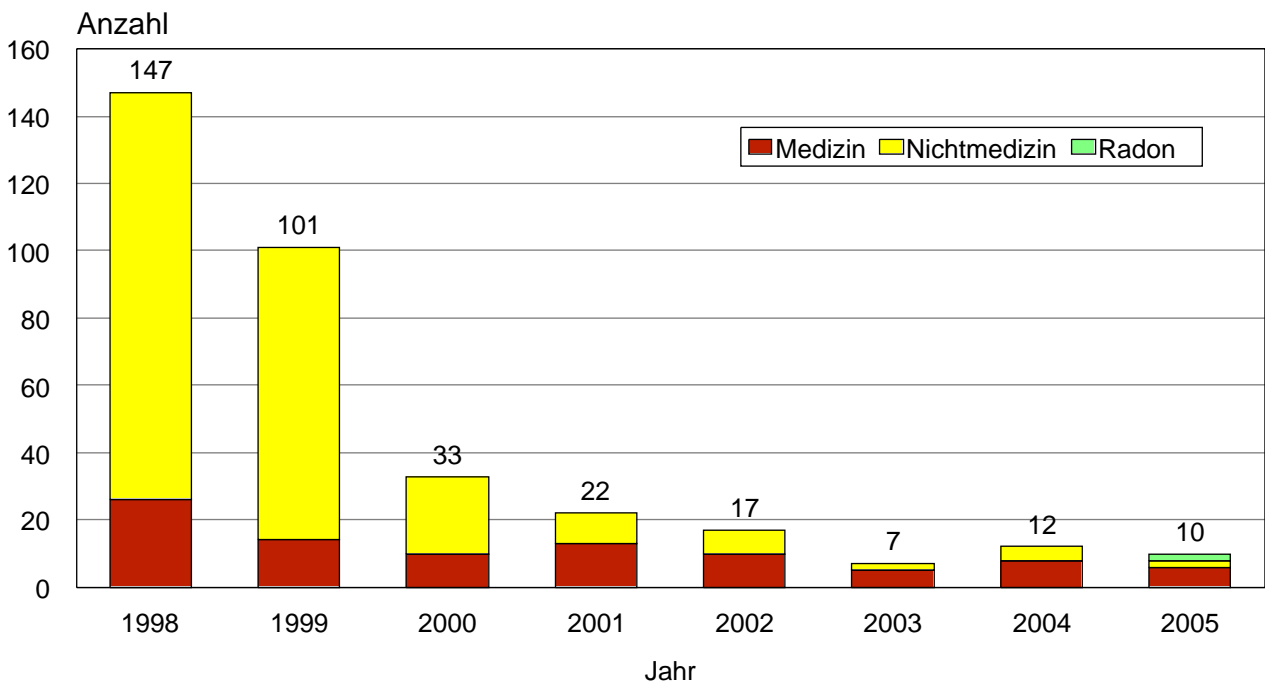


Abbildung III.2-4

Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv



die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt (Kapitel 2.2).

- Mit der neuen Strahlenschutzverordnung wurden 2001 die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch Luftfahrtpersonal, 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. Entsprechende Regelungen finden sich in § 103 StrlSchV (Kapitel 1.1).
- 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. Einzelheiten sind in § 95 StrlSchV geregelt (Kapitel 1.2).
- 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 1.3).

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. Natürliche Strahlenquellen

1.1 Flugpersonal

Luftfahrtgesellschaften ermitteln seit 1. August 2003 mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis für das fliegende Personal und melden diese Werte über das aufsichtführende Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS. In Deutschland wurden im Jahr 2005 ca. 31.000 Personen überwacht, die Kollektivdosis betrug 60 Personen-Sv. Die mittlere Jahresdosis beträgt 1,96 mSv. Im Vergleich zum Vorjahr ergibt sich kein Unterschied (2004: mittlere Jahresdosis 1,95 mSv). Die Verteilung der Jahresdosen auf verschiedene Dosisintervalle zeigt [Abbildung III.2-3](#). 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 (siehe auch Kapitel 2.1). Der höchste Wert der Jahresdosis 2005 betrug 6,5 mSv, es kam also zu keiner Überschreitung des Jahresgrenzwertes von 20 mSv.

1.2 Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder

Nach § 95 der StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen (§ 95 Abs. 1). Wird dabei eine erhöhte Strahlenexposition festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig (§ 95 Abs. 2) 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.

Die folgende Aufstellung wird durch Daten von Personen ergänzt, die in Betrieben mit erhöhter natürlicher Radioaktivität und in Heilbädern tätig sind und mit Dosimetern überwacht werden oder der Inkorporationsüberwachung unterliegen.

Im Jahr 2005 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition in Wasserwerken, Schauhöhlen und Heilbädern für 116 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt (2004: 105 Personen). 33 Überwachte hatten keine messbare berufsbedingte Strahlenexposition. Die mittlere Jahresdosis aller 116 Überwachten betrug 4,34 mSv. Für die 83 exponierten Personen betrug der Mittelwert 6,07 mSv (2004: 32 exponierte Personen, Mittelwert = 4,78 mSv). Die Kollektivdosis betrug 0,5 Personen-Sv.

Im Jahr 2005 gab es zwei Überschreitungen des Grenzwertes von 20 mSv, jeweils in Betrieben der Wasserversorgung; die höchste effektive Jahresdosis betrug 35,5 mSv. Bei 27 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt (2004: 15 Beschäftigte).

2. Zivilisatorische Strahlenquellen

2.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von sechs behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl dieser überwachten Personen betrug im Jahr 2005 insgesamt ca. 311.000, davon waren ca. 239.000 im Bereich der Medizin beschäftigt. [Abbildung III.2-1](#) 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 Messtelle wechselten, bis einschließlich 1998 bisweilen doppelt erfasst wurden, kam es zu Mehrfachzählungen. Seit dem Überwachungsjahr 1999 treten infolge der zentralen, personenbezogenen Auswertung im

Abbildung III.2-5

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

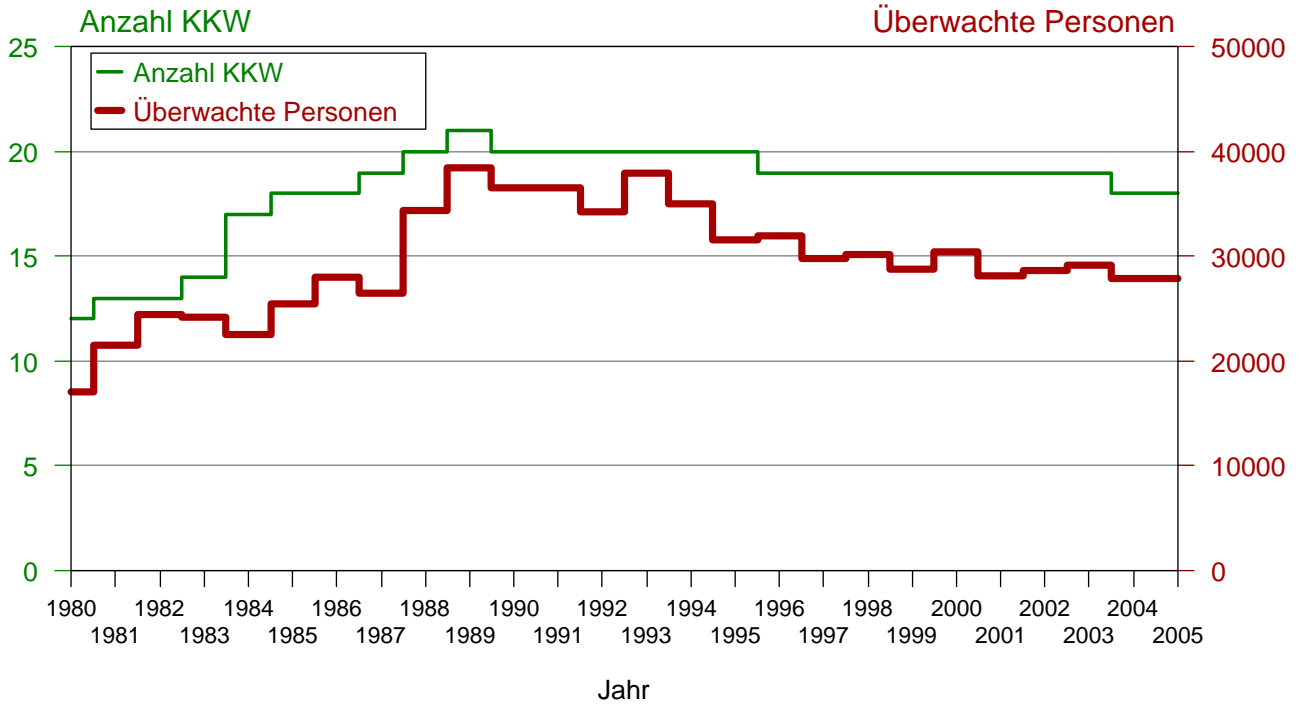
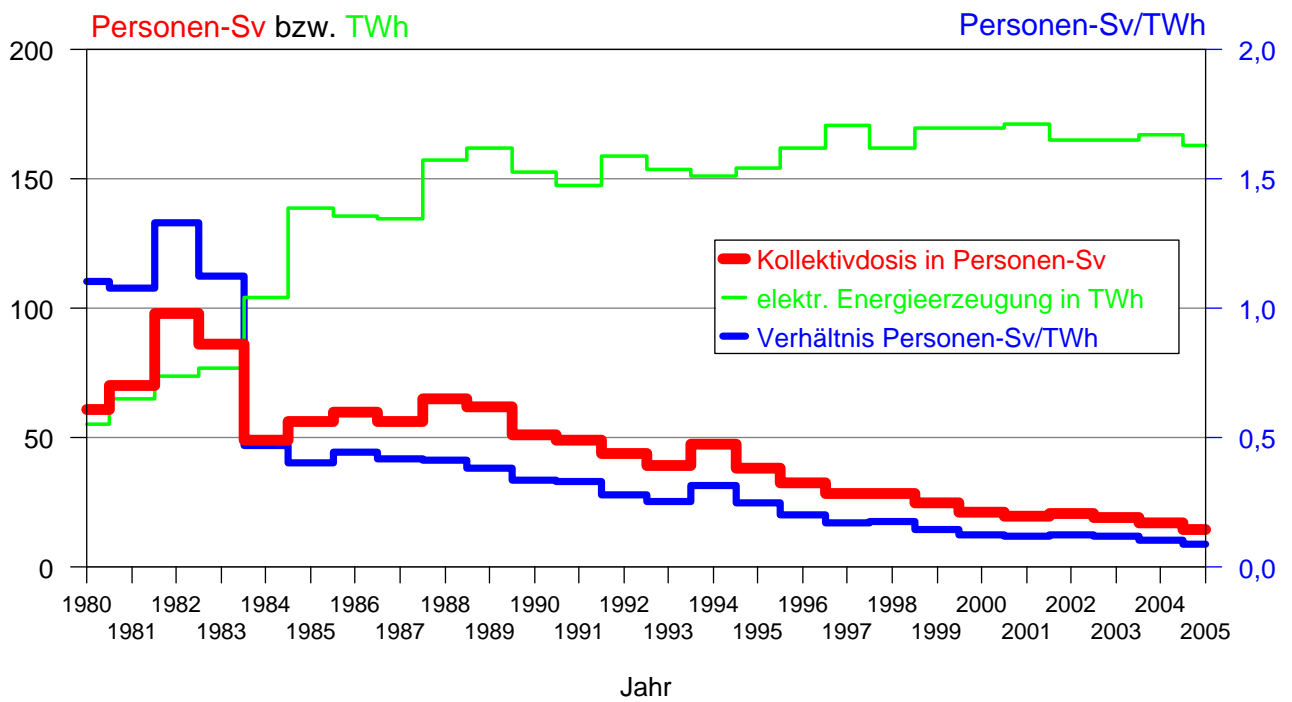


Abbildung III.2-6

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken



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 2005 betrug 43,3 Personen-Sv.

Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die [Abbildung III.2-2](#). Für die Gesamtheit aller Überwachten ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,14 mSv. Es ist jedoch zu beachten, dass bei ca. 83 % 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 diesen Fällen wird von den Messstellen als Personendosis der Wert Null festgesetzt. Im Bereich Medizin erhielten ca. 86 % und in den nichtmedizinischen Bereichen ca. 74 % keine messbare Personendosis (siehe [Abbildung III.2-3](#)). 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. 53.000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,81 mSv. Dieser Wert entspricht exakt dem Vorjahreswert.

2001 wurde im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 96/29 EURATOM der Jahresgrenzwert 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, gegenüber 1998 deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe [Abbildung III.2-4](#)). Ab 2004 sind in dieser Abbildung auch Grenzwertüberschreitungen durch Expositionen aus natürlichen Quellen enthalten (siehe Kapitel III.1, vor allem III.1.2).

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den [Abbildungen III.2-5](#) und [III.2-6](#) enthalten.

2.2 Inkorporation

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 2002 begannen die ersten behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Im Jahr

2005 meldeten 17 von 29 behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen Dosiswerte von 1.586 inkorporationsüberwachten Personen. Deren Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,053 Personen-Sv. Grenzwertüberschreitungen infolge von Inkorporation wurden nicht festgestellt. In [Tabelle III.2-1](#) sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle III.2-1
Verteilung der Jahrespersonendosen durch
Inkorporation im Jahr 2005

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
$H = 0$	1308
$0 < H \leq 0,1$	217
$0,1 < H \leq 0,2$	13
$0,2 < H \leq 1,0$	39
$1,0 < H \leq 6,0$	8
$6,0 < H \leq 20,0$	1
$H > 20,0$	0
Gesamt	1586

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 2005 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
03.01.05	Strahlenexposition der Hände eines Mitarbeiters bei Justierungsarbeiten an einer Probe in einem Röntgendiffraktometer	Ausfall von Sicherheitseinrichtungen	Keine	Zusätzliche Sachverständigenprüfung
05.01.05	Fund von vier Strahlern (Ir-192, 8,5 GBq) in einer Universität	Unzulässige Entsorgung	Keine, da Strahler vollkommen abgeklungen	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.01.05	Fehlbestrahlung eines Patienten mit einem Elektronenbeschleuniger in einem Klinikum	Verwechslung des Patienten	Irrtümlich applizierte Dosis: 3 Gy, erfahrungsgemäß keine Akut- oder Spättoxizität zu erwarten	Verbesserung der Patientenidentifizierung
17.01.05	Fund eines Messgerätes mit einem Strahler (Ra-226, 44 MBq) im Elektronikschrott bei einer Metallaufbereitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.01.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 3,7 µSv/h an Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
30.01.05	Verlust eines Strahlers (Ni-63, 100 MBq) bei Umbauarbeiten in einer Privatfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Recherchen im Entsorgungsunternehmen erfolglos
31.01.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem (Uran-natürlich) Zellstoff im Hausmüll in einer Forschungseinrichtung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Belehrung der Mitarbeiter und Reinigungskräfte, Vervollständigung der Beschilderung
10.02.05	Unerwartete Kontamination in einem Kontrollbereich	Austritt von Spüllösung beim Freispülen des Ablaufs einer heißen Zelle	Keine	Rückführung der Leckageflüssigkeit, Dekontamination unter Atemschutz, Inkorporationsmessungen
20.02.05	Unerlaubter Vertrieb eines Radium-Trinkbechers und Badekurapparates	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung beim Anbieter und Entsorgung
23.02.05	Störung beim Transport eines Strahlertages (Sr-90, 3 GBq) in einem Gerät für die kardiovaskuläre Brachytherapie	Unzureichende Auslegung des Gerätes für „überlange“ Stenosen	Geringe zusätzliche Strahlenexposition für Patient und Personal (< 50 µSv)	Austausch des Gerätes
23.02.05	Fehlbestrahlung eines Patienten durch eine Afterloadinganlage (Ir-192, 334,6 GBq)	Fehler bei der manuellen Eingabe von Bestrahlungsparametern (Schrittlänge)	Keine (regelmäßige Nachsorge wurde durchgeführt)	Beseitigung des Mangels durch Herstellerfirma, um manuelle Eingabe zukünftig zu vermeiden

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
24.02.05	Zerstörung eines Strahlers (Co-60, 593 MBq) einer Füllstandsmessanlage in einem Stahlwerk	Übergießen der Messanlage mit flüssigem Stahl auf Grund eines Bedienfehlers	Inhomogene Verteilung der Aktivität in einem ca. 2 t schweren Metallblock, 7,8 mSv/h an Strahlerposition, keine Kontamination	Lagerung des kontaminierten Metallblocks in einem nicht genutzten Werkbereich, Abschirmung durch Gusskübel, Planung der Entsorgung durch Fachfirma
28.02.05	Verlust eines Schulstrahlenquellensatzes (Kr-85, 185 kBq; Cs-137, 185 kBq; Co-60, 185 kBq; Na-22, 37 kBq) in einer Schule und unzulässige Entsorgung über den Hausmüll	Diebstahl	Ggf. Expositionen auf einer Hausmülldeponie	Suche ergebnislos verlaufen
17.03.05	Kontamination einer Flächengewichtsmesseinrichtung durch einen undichten Strahler (Pm-147)	Undichtheit bei umschlossenen radioaktiven Stoffen	Keine	Austausch des Messkopfes mit Strahler
17.03.05	Unerlaubter Vertrieb von vier Beta-Lights (H-3) zum Angeln	Illegaler Erwerb radioaktiver Stoffe	Keine	Sicherstellung, ordnungsgemäße Entsorgung
23.03.05	Fund von 47 Kontrollstrahlern (44 Stck. Cs-137; 3 Stck. Pu-239) in einem Feuerwehrlager	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.03.05	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallrohres (Ra-226, 1 MBq) bei der Eingangskontrolle in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.03.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Co-60, 57 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.04.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Ra-226, 1,5 MBq) im Abfall	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
28.04.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 11 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.05	Einleitung von radioaktiv kontaminierten Abwässern (I-125, 132 kBq) in das öffentliche Abwassernetz	Unachtsamkeit	Keine	Verschiedene Maßnahmen um weitere Vorkommnisse auszuschließen (Kennzeichnung des Abwassersystems)
06/2005	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 30 kBq) bei Sanierungsarbeiten in einem Chemiepark	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verbesserung der Informationskette
07.06.05	Fund von kontaminiertem Zellstoff (Ra-226, 1,1 MBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Wahrscheinlich keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, 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
10.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Cs-137) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.06.05	Störung beim Zurückfahren der Strahlkette (Sr-90, 2,8 GBq) in einem Gerät für die kardiovaskuläre Brachytherapie	Behinderung durch einen deformierten Schlauch auf Grund einer zu fest geschlossenen Katheterschleuse	Gering	Ordnungsgemäße Rückführung der Strahler nach Zwischenlagerung in der Notfallbox, Konstruktionsänderung beim Hersteller angeregt
22.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,2 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
24.06.05	Verlust eines Elektroneneinfangdetektors mit Strahler (Ni-63, 555 MBq)	Menschliches Versagen	Keine	Suche ergebnislos verlaufen
24.06.05	Erhöhte Exposition eines LKW-Fahrers in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Missachtung von Warnhinweisen durch den Fahrer	Keine	Vorkommnis trotz eines Merkblattes in der Landessprache des Fahrers
27.06.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Abfällen (I-131) auf einer Hausmülldeponie	Unzulässige Entsorgung	Keine	Änderung der Arbeitsvorschriften
27.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 0,2 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.06.05	Brand in einem Laborraum, in dem zwei Gaschromatographen mit Detektoren (Ni-63) standen	Brand	Keine Kontaminationen festgestellt	Keine
30.06.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Mo-99m) auf einem Waldparkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine, da radioaktives Material abgeklungen	Keine
30.06.05	Fund eines Prüfgerätes mit einem Strahler (Cs-137, 366 kBq) auf öffentlicher Straße	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.07.05	Fund eines Strahlers (Cs-137, 100 MBq) in einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.05	Fund von drei metallischen Behältern mit radioaktivem Inhalt (bis 170 µSv/h an der Behälteroberfläche) auf einem öffentlichen Parkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.07.05	Fund eines Blitzableiters mit 15 Strahlern (Ra-226, 52 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	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
13.07.05	Fund eines Messgerätes mit einem Prüfstrahler (Ra-226, 11 MBq) in einer Elektronikschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung durch Aufsichtsbehörde
14.07.05	Verlust einer gasgefüllten Tritiumlichtquelle (H-3, 120 GBq) in einem Hubschrauber	Unbekannt	Keine	Ersatz der Tritiumlichtquellen durch nicht-radioaktive Leuchtstreifen bis 2007
16.07.05	Fund eines Strahlers (Ra-226, 750 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclinganlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.07.05	Fund eines Radium-Trinkbechers bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
26.07.05	Fund eines Strahlers (Ra-226, 10 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.08.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131) im Abfall	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.08.05	Fund radioaktiver Stoffe (Cs-137; Kr-85; Pb-210) in einer Schule	Unterlassene Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.08.05	Fund eines radioaktiv kontaminierten Kabels (Ra-226, 90 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22.08.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Röhren (13 µSv/h an der Oberfläche) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.05	Fund eines Tresors mit einem Schulstrahlenquellensatz (Cs-137; Na-22; Kr-85; Co-60) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.05	Funktionsstörung der Sicherheits-schaltung einer medizinischen Röntgenbestrahlungsanlage bei einer Sachverständigenprüfung in einem Klinikum	Ausfall einer Messkammer, die die Sicherheitseinrichtung steuert	Keine	Überprüfung und Reparatur durch Herstellerfirma; Sicherstellung, dass ein systematischer Fehler, der auch bei anderen Geräten auftreten kann, ausgeschlossen werden kann
09/2005	Verlust eines Strahlers (Am-241, 3,7 MBq) in einem Labor	Unzulässige Entsorgung	Keine	Zugang zum Labor durch Aufsichtsbehörde technisch und organisatorisch eingeschränkt
19.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 3,1 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, 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
20.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 0,7 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Freigabe zur weiteren Verwendung
26.09.05	Exposition eines Kindes in einer Röntgenkontrollanlage auf einem Flughafen	Mangelnde Aufsicht	Geschätzte Personendosis: 20 µSv	Ermittlungen der Staatsanwaltschaft
27.09.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,9 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
28.09.05	Fund einer radioaktiv kontaminierten Scheibe (Ra-226, 100 kBq) bei der Eingangskontrolle in einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.05	Fund eines Radium-Emanators (Ra-226, 1 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.05	Einfuhr einer Schweizer Armeeuhr mit radioaktiv markierten Leuchtzifferblättern (Ra-226, 30 µSv/h)	Unkenntnis	Keine	Mitteilung an zuständiges Hauptzollamt
07.10.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 15 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.10.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
25.10.05	Herausfallen eines Strahlers (Cs-137, 417 MBq) aus einer selbst gebauten radiometrischen Messeinrichtung	Lösen einer angelöteten Endkappe	Dosis für einen Mitarbeiter: 14 µSv	Endkappe erneut durch Schweißen angebracht
27.10.05	Exposition eines Mitarbeiters bei Durchstrahlungsprüfung in einer Gießerei	Unaufmerksamkeit des Mitarbeiters	Exposition < 0,2 mSv	Ärztliche Untersuchung des Mitarbeiters, technische Maßnahmen um weitere Vorkommnisse auszuschließen
01.11.05	Austritt von ca. 6 m ³ schwach kontaminierten Wassers in eine Auffangwanne	Bruch eines Rohrwinkels, fehlerhafte Reaktion des Überwachungs-personals auf das gemeldete Warnsignal	Keine	Austausch des defekten Rohrwinkels, disziplinarische Maßnahmen und Unterweisung der Mitarbeiter in der Alarmzentrale

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
03.11.05	Exposition einer Mitarbeiterin bei Extraktionsarbeiten mit einer radioaktiv (C-14) markierten, phenolischen Lösung	Verspritzen der radioaktiven Flüssigkeit durch Überdruck im Vorratsgefäß	Gesamtaktivität im Gesicht: ca. 100 Bq	Dekontamination, ärztliche Untersuchung
04.11.05	Fund eines Strahlers (Cs-137, 43,4 TBq) in einem Transportbehälter bei einer Logistikfirma	Unzulässige Zwischenlagerung bei der Logistikfirma auf Grund einer Annahmeverweigerung des Adressaten	Gering; Verpackung entsprach Transportvorschriften	Behördliche Verfügung an die Logistikfirma zur Überführung des Strahlers an einen Betrieb mit entsprechender Umgangsgenehmigung
09.11.05	Verlust von radioaktivem gasförmigem Material (Kr-85, 1,85 GBq)	Verflüchtigung auf Grund von Undichtheit des Strahlers	Keine, da geschlossenes Abgassystem	Keine, da Quelle ersetzt wurde
15.11.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 6 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
16.11.05	Fund von 150 Stck. Ionisationsrauchmeldern (133 Stck. Am-241/Pu-238; 17 Stck. Am-241, zusammen ca. 600 MBq) im Elektronikschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
18.11.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 20 µSv/h an der Container-Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende gesicherte Lagerung, ordnungsgemäße Entsorgung
12/2005	Verlust von vier Ionisationsrauchmeldern (Ra-226, je 2,96 kBq) bei Abbrucharbeiten in einem Baumarkt	Unzulässige Entsorgung	Keine	Suche ergebnislos verlaufen
12/2005	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241, 37 kBq) auf einer Baustelle	Unzulässige Entsorgung	Keine	Verbleib nicht zu ermitteln
05.12.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,3 µSv/h an der Container-Oberfläche) in einem Presscontainer bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.12.05	Fund einer Radium-Kompresse (Ra-226, 3,7 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	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
15.12.05	Austritt von ca. 150 l schwach kontaminierten Wassers in eine Auffangwanne bei einer Forschungseinrichtung	Bruch eines Behälters auf Grund einer zu geringen Nennweite der Druckentlastungsleitung	Keine	Entsorgung des Wassers über Pumpensumpf, Dekontamination, Vergrößerung der Nennweite der Druckentlastungsleitung
19.12.05	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 1,2 µSv/h an der Oberfläche) bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
19.12.05	Fund von radioaktiv kontaminierten Elektronikröhren (Ra-226, 10 µSv/h an der Oberfläche) bei einer Schrottwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

IV. Medizinische Strahlenexposition

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen diagnostischen und therapeutischen Standard 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 neuen StrlSchV im Jahr 2001 und der neuen 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 jetzt 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 in einem eigenen Paragraphen geregelt. Leider wird die rechtfertigende Indikation zur Zeit 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, der in nächster Zeit veröffentlicht werden soll.

Darüber hinaus erfolgt nun 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 Strahlen oder radioaktive Stoffe anwenden bzw. entsprechende Untersuchungen am Menschen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind in der Nuklearmedizin wie auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ÄS Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungerechtfertigt über den DRW liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und beseitigen zu können.

1. Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 1990er Jahre 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.

Wie bisher basieren die Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen hauptsächlich auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Inzwischen besteht ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS.

Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2003. Für die Analyse der Daten besteht ein standardisiertes Verfahren, 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 wurden 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 Dosisermittlung 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 Modell Anpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996-2003

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.

Für die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland ist während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2003 ein leicht abnehmender Trend zu verzeichnen, wobei der Wert für das Jahr 2003 bei etwa 1,7 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr liegt (siehe [Abbildung IV.1-1](#)). Die zahnmedizinische Röntgendiagnos-

Abbildung IV.1-1

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

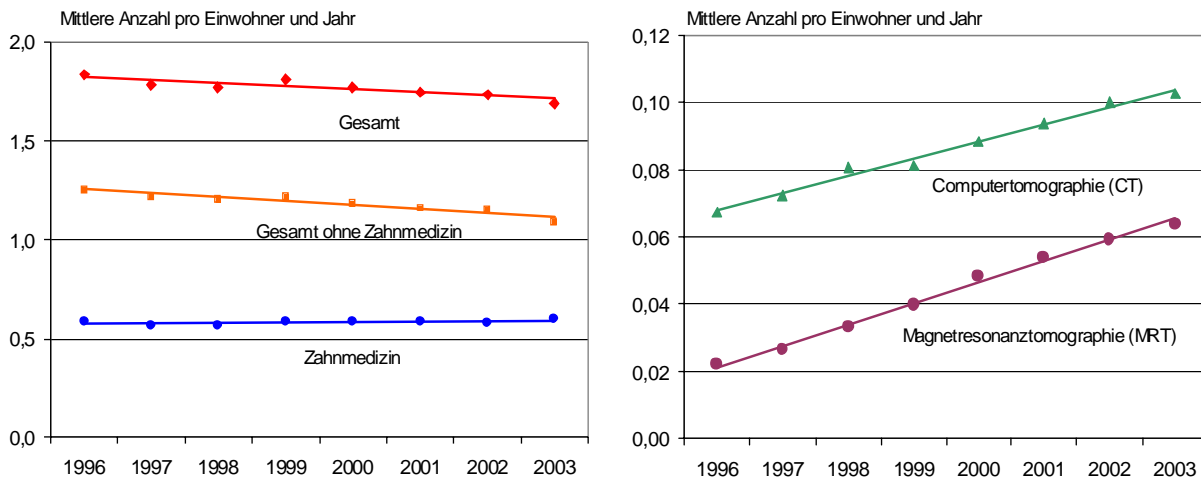
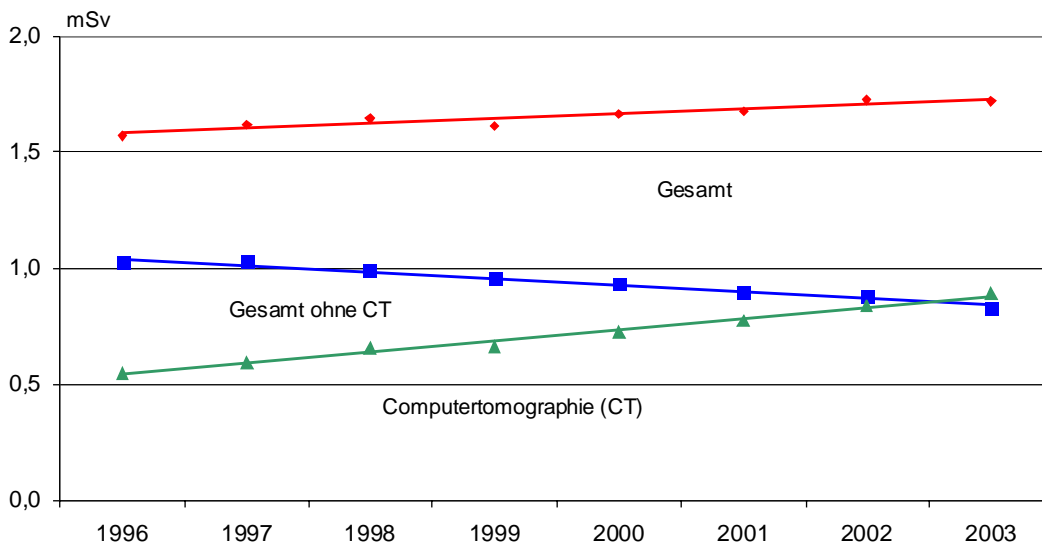


Abbildung IV.1-2

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



tik 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 am auffälligsten ist die stetige Zunahme der Computertomographie (CT)-Untersuchungen - insgesamt um etwa 50 % 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 io-

nisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie MRT (siehe [Abbildung IV.1-1](#)).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Thorax und des Bauchraumes einschließlich des 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 Li-

teraturangaben. 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. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass bei einer CT-Untersuchung - eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt - das daraus resultierende Strahlenrisiko für den Patienten in den Hintergrund tritt.

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

Tabelle IV.1

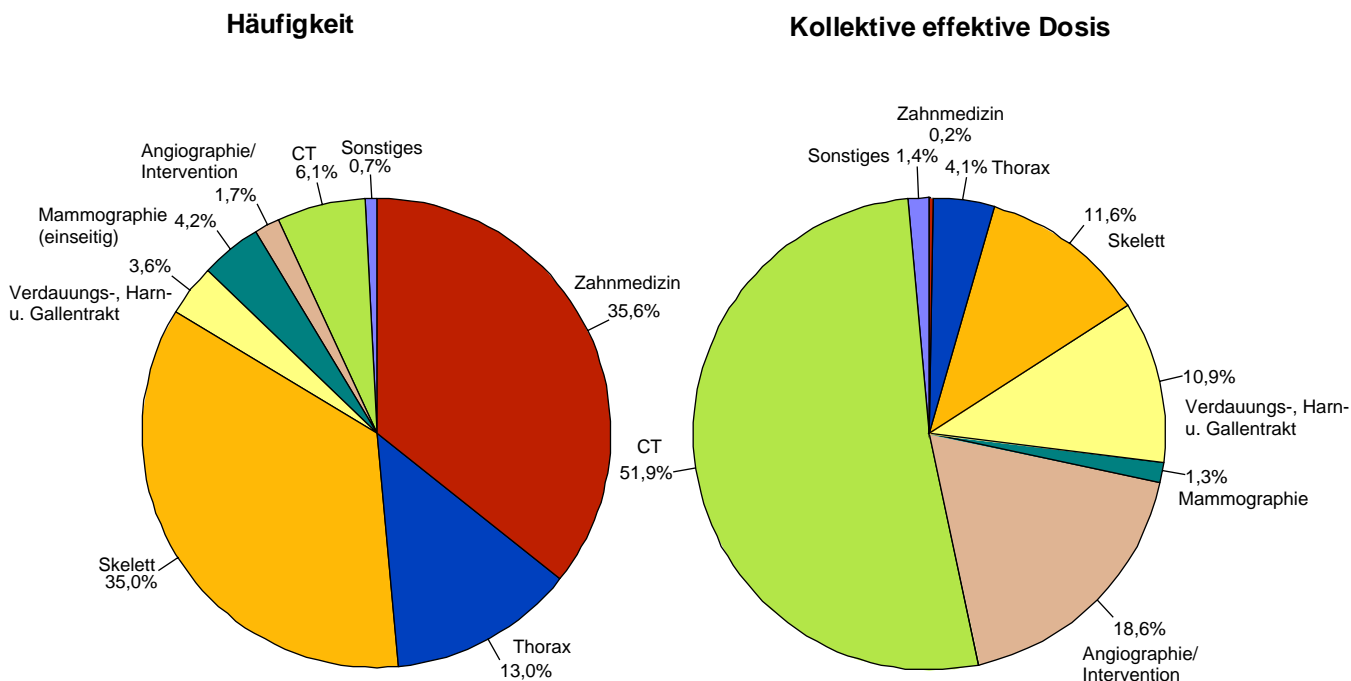
**Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten
70 ± 5 kg Körpergewicht**

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedermaßen)	< 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
Arteriographie 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 2003



Die - rein rechnerische - effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland stieg von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,7 mSv im Jahr 2003 an (siehe Abbildung IV.1-2). Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen über die Jahre 1996 bis 2003 abnehmenden Verlauf (siehe Abbildung IV.1-2).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) tragen nur wenig zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2003 jedoch mehr als zwei Drittel (siehe Abbildung IV.1-3).

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2002 erkrankten 55.150 Frauen neu an Brustkrebs (Schätzung der Dachdokumentation Krebs des Robert Koch-Instituts: Krebs in Deutschland, 5. Auflage, 2006), wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 62 Jahren liegt. Insgesamt 17.592 Frauen verstarben im Jahr 2004 an Brustkrebs. Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) in einer definierten Bevölkerungsgruppe können im Falle des Vorliegens von Brustkrebs den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen maßgeb-

lich erhöhen. Daher wird derzeit ein qualitätsgesichertes und bevölkerungsbezogenes Mammographie-Screening-Programm für alle (beschwerdefreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt.

Der Deutsche Bundestag hat sich am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings entsprechend europäischer 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.

Das BMU hat sich für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen 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 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 digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch solche digitalen Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission unter Beteiligung des 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 Isotop 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 2003 und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland ermittelt.

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland im Mittel ca. 3,6 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 43 Untersuchungen pro 1.000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (s. [Abbildung IV.2-1](#)).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 9.700 Personen-Sv ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,12 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungsarten sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Myokard-, Skelett-, und Schilddrüsenszintigraphie (s. [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 Schilddrüsen-

szintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 0,7 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,5 mSv). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,7 mSv pro Person im Jahr 2003) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen 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

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

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie deren interdisziplinären Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen oder schnelle Elektronen erzeugt werden. In Deutschland werden jährlich etwa 220.000 Patienten mit ionisierender Strahlung behandelt. Ziel ist es, das Tumorgewebe unter größtmöglicher Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. Dies wird zunehmend durch dreidimensionale, tumorkonforme Bestrahlung unter Einsatz dynamischer Multileaf-Kollimatoren und Kompensatoren erreicht. Diese Techniken ermöglichen auch eine intensitätsmodulierte Radiotherapie (IMRT) und eine stereotaktische Radiochirurgie.

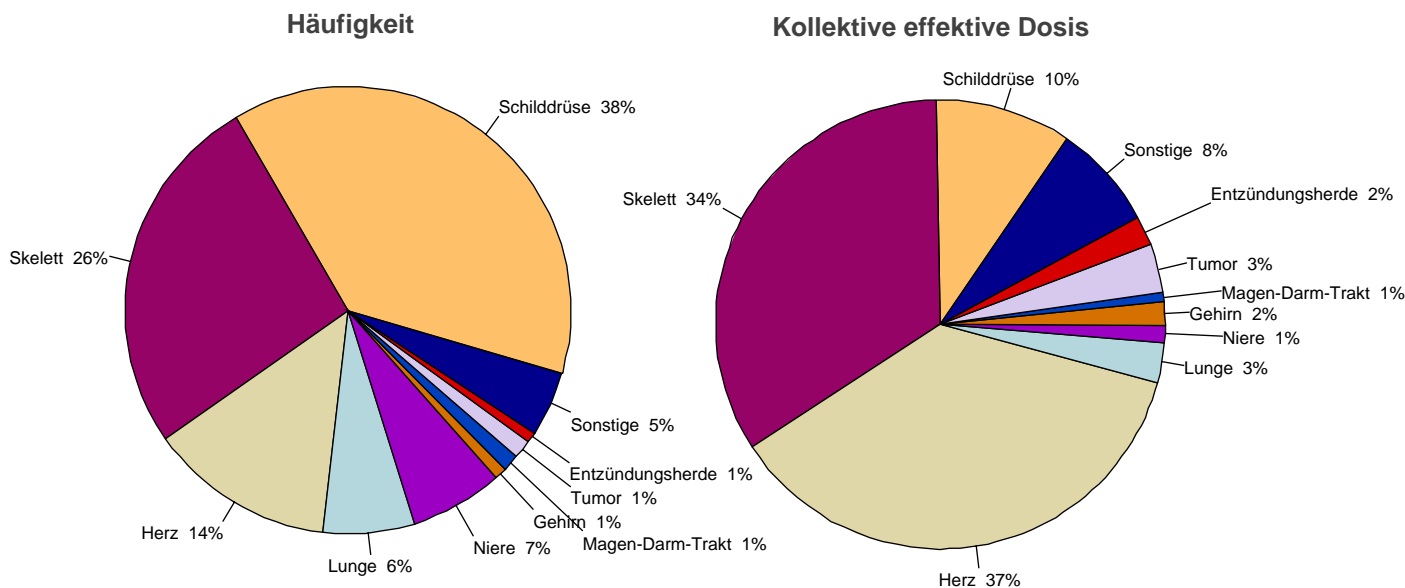
Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass mit Röntgenstrahlen eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht werden kann. Die Therapie mit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

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 60.000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung spezieller Gelenkerkrankungen, sowie die palliative Behandlung

Abbildung IV.2-1

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland (2003)



schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Tumorzellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören.

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

5. Bewertung

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 Jahre 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 Röntgenleistungen.

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 BfS vertreten wird. Ziel des EU-Vorhabens ist es, die Me-

thoden zur Datenerfassung und -auswertung in den teilnehmenden Länder zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. Entsprechende Empfehlungen werden von der Arbeitsgruppe voraussichtlich bis Ende 2007 erarbeitet.

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: Für Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) wegen eines Pankreaskarzinoms untersucht wurden, wurden alle relevanten Daten zu Röntgenuntersuchungen gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Pilotstudie beträgt - hochgerechnet auf Deutschland - der Anteil der allein aus den Röntgenuntersuchungen bei Pankreaskrebspatienten resultierenden kollektiven effektiven Dosis an der kollektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen 0,4 %. Die im Rahmen dieser Pilotstudie etablierte Methodik soll nun auch für andere Krebsarten angewendet werden.

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

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 2005 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Radiocäsiums verursacht, andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 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 zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. 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. 0,3 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen

Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq pro Kilogramm Frischmasse zu verzeichnen.

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten auch weiterhin häufig den Höchstwert von 600 Bq pro kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden. Im Vorjahresbericht wurden Werte für die Kontamination von Reh- und Wildschweinfleisch aus dem Bayerischen Wald angegeben, einer der am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

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

In Bayern liegt der Mittelwert von 120 Messungen an Wildschweinen bei 1.400 Bq/kg, die Werte reichen bis 13.000 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 45 Messungen bei 14 Bq/kg mit einem Höchstwert von 210 Bq/kg.

Auch in Niedersachsen und Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Für Niedersachsen ergibt sich ein Mittelwert von 110 Bq/kg und ein Maximalwert von 1.600 Bq/kg. In Baden-Württemberg liegt der Mittelwert bei 330 Bq/kg und der Maximalwert bei 5.600 Bq/kg.

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.

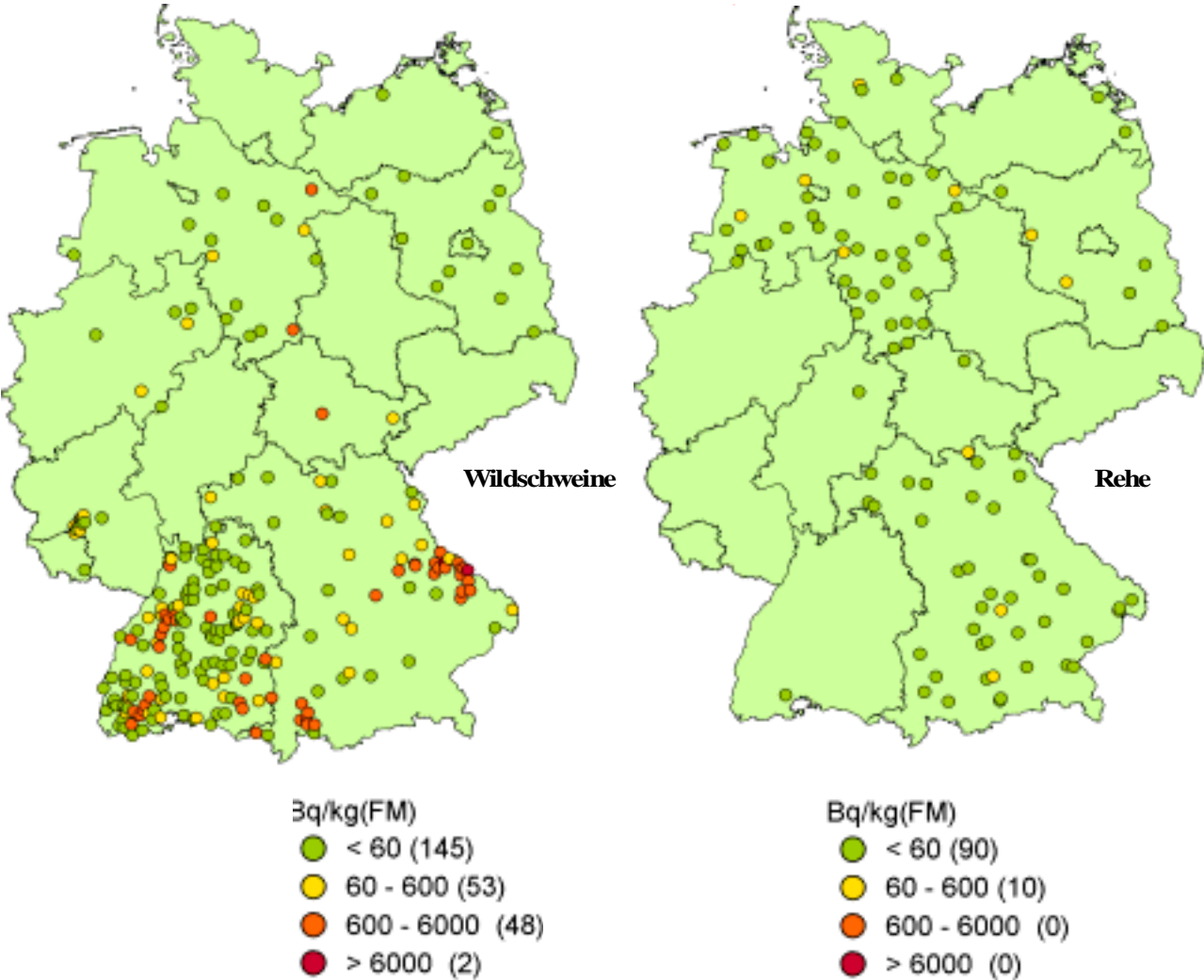
2. Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Jahr 2005 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 41 Jahren stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Abbildung V.1-1

**Cs-137-Gehalt von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2005
(Daten aus IMIS, Anzahl der Messungen in Klammern)**



VI. Nichtionisierende Strahlung

1. Elektromagnetische Felder

Die biologischen Wirkungen der nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit werden seit etwa 50 Jahren intensiv untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung, belegt in mehr als 20.000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bilden die Grundlagen der bestehenden Grenzwerte. Neben den wissenschaftlich gut dokumentierten gesundheitlichen Schädigungen oberhalb der Grenzwerte existieren auch einzelne Hinweise zu möglichen biologischen Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte. Für diese konnte trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte kein wissenschaftlicher Beleg erbracht werden. Auch die zu Grunde liegenden Mechanismen sowie die gesundheitliche Relevanz sind nicht geklärt. Das Bundesamt für Strahlenschutz verfolgt und bewertet nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen internationalen und nationalen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Journalen. Die Gesamtheit der Forschungsergebnisse liefert die Grundlage für eine ganzheitliche Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Die bislang sowohl durch nationale als auch durch internationale Strahlenschutzgremien durchgeführten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder haben gezeigt, dass eine gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung unterhalb der Grenzwerte wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden kann. Gleichzeitig wurden aber auch Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde deutlich. Um diese Wissenslücken zu schließen, initiiert und koordiniert das BfS im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben.

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 begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder z. B. für kindliche Leukämie und Brustkrebs bei magnetischen Flussdichten weit unterhalb des Grenzwerts von 100 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 dennoch die geltenden Grenzwerte beizubehalten. Von der IARC werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft.

In der wissenschaftlichen Literatur wird über einen Einfluss niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin und bestimmter Krebsmedikamente auf Brustkrebs-

zellen berichtet. Die wachstumshemmende Wirkung wurde dabei abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des UFOPLANS von 1999 – 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, sind demnach weitere Untersuchungen vor allem zur Aufklärung des molekularen Mechanismus erforderlich. Daher wird seit 2004 im Rahmen des UFOPLANS ein Folgevorhaben 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. Erste Zwischenergebnisse bei der Zelllinie MCF-7 zeigen, dass nach Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer Flussdichte von 1,2 μT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe sogenannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, werden die interessantesten und für die Krebsentstehung (Kanzerogenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene mit weiteren Methoden näher untersucht.

Eine Studie mit dem Titel „Machbarkeitsstudie – Verifizierung der Beschwerden 'Elektrosensibler' vor und nach einer Sanierung“ beschäftigte sich mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. Sie ist abgeschlossen, der Abschlussbericht ist auf der Homepage des Bundesumweltministeriums (<http://www.bmu.de/strahlenschutz/doc/5942.php>) veröffentlicht.

Es zeigte sich, dass die 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 Gruppe von Personen, die möglicherweise die Existenz einer Gruppe von „elektrosensiblen“ Personen mit spezifischem Beschwerdenprofil angezeigt hätten. Mit Hilfe der transkraniellen Magnetstimulation wurden die objektive motorische Schwelle und die Fähigkeit von elektrosensiblen Personen und Kontrollpersonen gemessen, subjektiv zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Dabei zeigte sich, dass sich die objektiven motorischen Schwellen der Elektrosensiblen zu denen der Kontrollpersonen nicht unterscheiden. Andererseits konnte eine klar verminderte Fähigkeit der subjektiv elektrosensiblen Personen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem tatsächlichen Magnetimpuls zu unterscheiden.

Die Ergebnisse dieser Studie flossen in die Aufgabenstellung eines Vorhabens zum Thema „Elektrosensibilität“

ein, das im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms durchgeführt wird.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder vor allem des Mobilfunks waren auch im Jahr 2005 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 der Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition u.a. auch die Intensivierung der Forschung.

Das BFS koordiniert 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.

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm

Um die Risikobewertung bezüglich möglicher „Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurde das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) initiiert, das im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans des Bundesumweltministeriums durch das BFS umgesetzt und fachlich betreut wird. Hierfür stehen für den Zeitraum von 2002 bis 2007 insgesamt 17 Mio. Euro zur Verfügung, die vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern anteilig übernommen werden.

Tabelle VI.1-1

Im Rahmen des DMF erarbeitete das BFS Projektvorschläge, zu denen die Strahlenschutzkommission (SSK) Anfang Juli 2003 eine Stellungnahme abgab. Erstmals wurden die Projektvorschläge des BFS zusammen mit der Stellungnahme der SSK auch der Öffentlichkeit zur Kommentierung vorgelegt. Hierzu wurde vom BFS ein Internetportal eingerichtet (www.emf-forschungsprogramm.de), das alle wesentlichen Informationen über das Programm und die einzelnen Projekte enthält. Das Portal wird regelmäßig aktualisiert, um auch weiterhin die transparente Darstellung des Programms und seiner Ergebnisse zu ermöglichen. Eine Version in englischer Sprache wurde ebenfalls eingerichtet.

Im September 2003 wurden während eines Fachgesprächs in Berlin unter Beteiligung von Vertretern aus Staat, Wissenschaft, Wirtschaft, Umwelt- und Verbraucherverbänden die neuen Projektvorschläge zusammen mit den dazu eingegangenen Kommentaren aus der Öffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Dies führte letztendlich zur Festlegung des Gesamtprogramms.

Im April 2005 fand ein weiteres Fachgespräch statt, das der Vorstellung der ersten Ergebnisse aus dem Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm und deren Einordnung in die internationale Diskussion diente. Es nahmen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation sowie Vertreter der mit der Thematik befassten Behörden, Institutionen und Interessengruppen teil.

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm beinhaltet insgesamt 51 Forschungsprojekte, wovon 23 Projekte dem Bereich Biologie, 13 Projekte dem Bereich Dosimetrie, 8 Projekte dem Bereich Epidemiologie und 7 Projekte dem Bereich Risikokommunikation zugeordnet werden. Bisher wurden ca. 96 Prozent der Finanzmittel für Projekte festgelegt. Es wird sichergestellt, dass im Rahmen des DMF die zugesagten Mittel von insgesamt 17 Mio. Euro vollständig ausgeschöpft werden. Eine Übersicht über die Vorhaben befindet sich in [Tabelle VI.1-1](#).

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

Vorhaben des BMU
<i>Biologische Wirkungen (Biologie)</i>
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen.
Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
<i>in vivo</i> – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen
<i>in vivo</i> – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

<i>in vitro</i> – Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (<i>in vivo</i>)
Untersuchung möglicher genotoxischer Effekte von GSM-Signalen auf isoliertes menschliches Blut
Einfluss von GSM Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differenzielle Genexpression
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem
Möglicher Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung des Mobilfunks auf das Auslösen und den Verlauf von Phantomgeräuschen (Tinnitus)
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System
Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter (Hauptstudie)
Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung des Phänomens „Elektrosensibilität“ mittels einer epidemiologischen Studie an „elektrosensiblen“ Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
Langzeitstudie an Labornagern mit UMTS-Signalen
Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf die metabolische Umsatzrate im Tiermodell (Labornager)
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf menschliche Fibroblasten (Genotoxizität)
<i>Erfassung der Exposition (Dosimetrie)</i>
Untersuchung der SAR-Verteilung in elektromagnetisch exponierten Versuchstieren
Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen
Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden
Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysiological relevanter Parameter
Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk- und Fernsehsendern
Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
Bestimmung der Exposition durch Ultra-Wideband-Technologien
<i>Epidemiologie</i>
Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie, die dazu dienen soll, anhand hoch-exponierter (Berufs)gruppen ein möglicherweise erhöhtes Krankheitsrisikos durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern zu erfassen
Machbarkeit einer prospektiven Kohortenstudie unter Handynutzern
Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)
Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
<i>Risikokommunikation</i>
Wissensbasierte Literaturlistenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen
Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information
Innovative Verfahren zur Konfliktschlichtung bei der Standortbestimmung von Mobilfunksendeanlagen
Ergänzende Informationen über Elektrosensible
Untersuchung der Kenntnis und Wirkung von Informationsmaßnahmen im Bereich Mobilfunk und Ermittlung weiterer Ansatzpunkte zur Verbesserung der Information verschiedener Bevölkerungsgruppen
Unterstützung der Kooperation der Mobilfunkakteure durch die lokale Agenda 21

BMBF²

Das BMBF hat die Untersuchung zukünftiger Mobilfunktechnologien im Hinblick auf diese Effizienz-Fragestellungen gezielt gefördert. In dem Forschungsvorhaben

² 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

„mini watt I“ hat sich ein repräsentativer, die ganze Bundesrepublik Deutschland umfassender Kreis von Experten mit dem Thema Effizienzverbesserung zukünftiger Mobilfunksysteme beschäftigt. Beteiligt waren elf Universitätsinstitute, drei Industrieunternehmen, vier mittelständische Unternehmen und ein Forschungsinstitut. In diesem Vorhaben wurden Vorschläge erarbeitet, wie und mit welchen neuen Technologien die Strahlungsbelastung reduziert werden könnte:

- kleinzellige Mobilfunknetze (Picozellen)
- selbstorganisierende Funknetze
- neue Methoden der Raum-Zeit-Signalverarbeitung mit Mehr-Antennen-Systemen
- neue Methoden der Bild- und Datenkompression
- Nutzung neuer Frequenzbereiche.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in einer Druckschrift des Projektträgers Informationstechnik des BMBF bei dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Köln und im Internet unter www.pt-dlr.de veröffentlicht.

Aufbauend auf dem miniwatt-I-Vorhaben wurde 2005 das miniwatt-II-Vorhaben gestartet. Hier werden die zu erwartenden Immissionen und Expositionen derzeitiger und zukünftiger Kommunikationstechnologien untersucht. Gleichzeitig wird durch Förderung des BMU eine Abschätzung der möglichen biologischen Wirkungen der zu erwartenden Expositionen erfolgen. Im Rahmen des Vorhabens „miniWatt II“ werden Erfolg versprechende Maßnahmen zur Minimierung der Immissionen der verschiedensten relevanten Funkdienste untersucht. Aus den Forschungsergebnissen sollen gezielte Vorschläge zur Immissionsreduktion angegeben werden. Des Weiteren können Techniken, welche einer weiteren Förderung bedürfen, spezifiziert werden. Auf Grund der Beteiligung aller Mobilfunknetzbetreiber stehen die die Mobilfunktechnik betreffenden Ergebnisse sofort den Netzbetreibern zur Verfügung. Bei der Frage der SAR-Minimierung von Endgeräten stehen die Ergebnisse nach Abschluss des Vorhabens den Endgeräteherstellern zur Verfügung.

Das BMBF fördert daneben eine Reihe von Forschungsvorhaben im Rahmen seiner Leitinnovation „Mobiles Internet“, mit denen Vorschläge zur Umsetzung der Empfehlungen des Vorhabens „miniwatt I“ ausgearbeitet werden. An diesen Forschungsvorhaben wirken die vier weltweit führenden Mobilfunkausrüster mit. Damit ist gewährleistet, dass für zukünftige Mobilfunksysteme diese Vorschläge zur Emissionsreduzierung der Systeme im Markt eingeführt werden können.

Im Rahmen der Untersuchung „miniwatt I“ wurde abgeschätzt, dass bei Einsatz dieser Systeme in Zukunft folgende Entwicklung bei der elektromagnetischen Belastung zu erwarten ist:

- Da im privaten Bereich die Nutzung der drahtlosen Kommunikation und Steuerung in den kommenden Jahren weiterhin sehr stark zunehmen wird, ist auch bei Berücksichtigung verbesserter Effizienz im günstigsten Fall damit zu rechnen, dass die elektromagnetischen Emissionen konstant bleiben. In der Büroumgebung werden zunehmend Breitbandtechniken in der drahtlosen Kommunikation eingesetzt werden. Daraus ergibt sich die positive Erwartung, dass die spektrale Leistung sichtbar am Arbeitsplatz sinkt und damit die Gesamtemission trotz steigender Datenrate konstant gehalten werden kann.
- Auch im öffentlichen Bereich werden die Kommunikationsnetze in Zukunft dichter werden. Infolge der reduzierten Zellgrößen und durch die Nutzung neuer

Techniken wird die Exposition durch Mobilfunkbasisstationen aber eher abnehmen. Ein erhebliches Potenzial zur Senkung der Exposition ist im Aufbau des digitalen Rundfunks zu erkennen, da systembedingt für die digitale Übertragung bei gleichen Randbedingungen weniger Sendeleistung benötigt wird. Das gilt gleichermaßen für alle Rundfunkbereiche einschließlich des Fernsehens.

Die an „miniwatt I“ beteiligten Experten geben zur weiteren Entwicklung der mittleren Emission die Prognose ab, dass trotz eines konstanten Wachstums der drahtlosen Kommunikation von einer nahezu konstanten mittleren Emission bis zum Jahr 2015 ausgegangen werden kann. Voraussetzung ist allerdings, dass die Unternehmen eine konsequente Einführung emissionsmindernder Technologien praktizieren. Das BMBF fördert im Rahmen seiner Leitinnovation „Mobiles Internet“ insgesamt sechs Vorhaben mit einem Fördervolumen von 8,8 Mio. Euro. Diese Vorhaben sind in ein umfassendes Förderkonzept zum Mobilfunk mit einem jährlichen Volumen über 15 Mio. Euro eingebettet.

BMWⁱ 2

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 Forschungsvorhaben des BMWⁱ wurden in erster Linie mit dem Ziel durchgeführt, das Genehmigungsverfahren der BNetzA insbesondere bei der Standortuche für GSM- und UMTS-Mobilfunkbasisstationen zu unterstützen. Daher wurden auf Basis mediativer Lösungsansätze versuchsweise betroffene Nutzer mit einem Mobilfunknetzbetreiber zusammengebracht, um einvernehmliche Lösungen in der Standortfrage zu erreichen. Weitere Schwerpunkte waren u.a. Untersuchungen zur Beeinträchtigung von Personen mit Körperhilfen (Herzschrittmachern und Defibrillatoren) und Implantaten durch elektromagnetische Felder des GSM-Mobilfunks, DECT, UMTS, Power Line Communication und Induktionsfunkanlagen sowie Untersuchungen zur Minimierung entsprechender elektromagnetischer Felder. Mit dem Forschungsvorhaben im Bereich Risikokommunikation wurde untersucht, in wie weit der erforderliche Dialog zwischen Mobilfunknetzbetreibern, der öffentlichen Hand und den Betroffenen verstärkt werden kann. Unter Einbeziehung dieser Erkenntnisse werden der Öffentlichkeit weiterhin vom BMWⁱ aktuelle Informationen über die Zusammenhänge und Wirkungen elektromagnetischer Felder sowie über einschlägige Forschungsergebnisse in dem o. g. Internetportal zugänglich gemacht.

1.2 Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“

Das BfS hat die Durchführung einer repräsentativen Umfrage zur Wahrnehmung des Mobilfunks und zum Informationsverhalten in der Bevölkerung in Auftrag gegeben. Die Umfrage zur „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ wurde erstmals im Jahr 2001

durchgeführt. Die Befragung wird jährlich wiederholt, um mögliche Veränderungen in der Wahrnehmung des Mobilfunks bzw. in der berichteten Besorgnis oder Beeinträchtigung durch die elektromagnetischen Felder des Mobilfunks zu erfassen.

Bei der Befragung im Jahr 2005 wurde als Sondermodul ein Fragenkomplex mit aufgenommen, der die Begleitumstände der Sorgen bzw. Beeinträchtigungen wegen elektromagnetischer Felder genauer beleuchten sollte. Zudem wurde eine Frage zur Zuschreibung von Kompetenz verschiedener Institutionen im Zusammenhang mit dem Thema Mobilfunk und Gesundheit eingeführt.

Insgesamt zeichnen sich die Befragungsergebnisse durch eine hohe Konstanz gegenüber den Ergebnissen der beiden Befragungen 2004 und 2003 aus. Der starke Zuwachs in der Handynutzung, der in den beiden letzten Jahren zu verzeichnen war, stagniert. Veränderungen lassen sich nur in den mittleren und hohen Altersgruppen beobachten. Die subjektive Wahrnehmung der Nähe des Wohnortes zu Mobilfunksendeanlagen bleibt trotz objektiv steigender Dichte des Mobilfunknetzes konstant, ebenso wie die Sicherheit der Befragten, Mobilfunksendeanlagen auf den ersten Blick erkennen zu können. Die Anteile der Personen, die sich im Hinblick auf hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks als besorgt (30 %) oder gesundheitlich beeinträchtigt (10 %) beschreiben (im Jahr 2004 30 % bzw. 9 %) sind unverändert. Die meistgenannten gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder beziehen sich auf Kopfschmerzen und Schlafprobleme. Als befürchtete gesundheitliche Beeinträchtigungen werden in erster Linie Kopfschmerzen / Migräne sowie die Angst, an Krebs zu erkranken, genannt. Die Mobilfunksendeanlage trägt stärker als das Handy zu Besorgnis und Beeinträchtigung wegen elektromagnetischer Felder bei. Eine im Jahr 2004 angedeutete Verschiebung in Richtung Handy als der am stärksten zu Besorgnis bzw. Beeinträchtigung führenden Quelle elektromagnetischer Felder bestätigt sich im Jahr 2005 nicht. Der Unterschied wird mit zunehmender Stärke der Besorgnis bzw. Beeinträchtigung deutlicher. Erstmals wurden in der Befragung 2005 ein Fragenkomplex mit aufgenommen, der die Art und Qualität der Bedenken wegen elektromagnetischer Felder genauer beleuchtet. Der Bericht stellt die Ergebnisse zu Fragen bzgl. des Zeitpunktes des ersten Auftretens der gesundheitlichen Bedenken, die Häufigkeit der Bedenken, der Befürchtung konkreter oder unspezifischer Beschwerden und andere Ergebnisse dieses Fragenkomplexes in Abhängigkeit von der Stärke der Besorgnis bzw. der stärksten Sorgenquelle dar. Auch der Vergleich der Wahrnehmung gesundheitlicher Risiken durch mobilfunkrelevante Strahlungsquellen mit anderen möglichen gesundheitlichen Risikofaktoren zeigt gegenüber den Vorjahren eine deutliche Konstanz in der Reihenfolge: um die verschiedenen, mit dem Mobilfunk bzw. elektromagnetischen Feldern verbundenen Aspekte macht sich die Bevölkerung deutlich weniger Sorgen als z. B. um Luftverschmutzung, den Verzehr von Fleisch unbekannter Herkunft, gentechnisch veränderter Lebensmittel, oder UV-Strahlung. Die Bekanntheit des SAR-Wertes hat gegenüber dem Jahr 2004 nicht zu-

genommen, allerdings ist gegenüber 2003 ein deutlicher Zuwachs der Bedeutung des SAR-Wertes bei getätigten Entscheidungen zur Wahl eines bestimmten Handys zu verzeichnen.

Weitere Ergebnisse der Befragung können in den Ergebnisberichten nachgelesen werden, die im Internet unter www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.html veröffentlicht sind.

1.3 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ 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 Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft – die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder aus Geräten, z. B. bei Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne.“ 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.

Die Handyhersteller lehnen das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte nach wie vor geschlossen ab. Ihre ablehnende Haltung begründen 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“. Das Prinzip, die SAR-Werte aus Vorsorgegründen abzusenken, wird von den Herstellern nicht anerkannt. Es fehlt an der Bereitschaft, mit dem „Blauen Engel“ einen zusätzlichen aktiven Beitrag zum vorsorgenden Gesundheits- und Verbraucherschutz zu leisten. Dabei würden nahezu ein Drittel der auf dem Markt befindlichen Mobiltelefone das Kriterium „strahlungsarm“ des „Blauen Engels“ bereits erfüllen. Die Hersteller sind aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich einer verstärkten Verbraucherinformation nicht zu verschließen.

1.4 Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen

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

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird im Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die 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 gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die Bundesnetzagentur stellt auf ihren Internetseiten (www.bundesnetzagentur.de; Stichwort: EMF-Monitoring, Online-Recherche von Messreihen und ortsfesten Funkanlagen) 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, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilte, möglich. Die EMF-Datenbank ist mehr als eine kartographische Darstellung von Standorten von Funkanlagen und EMF-Messreihen. Sie bildet darüber hinaus eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Zu diesem Zweck wurde von der BNetzA eigens eine Messvorschrift erstellt und mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Mit dieser gemeinsamen Messvorschrift wurde in Deutschland erstmals ein einheitlicher Qualitätsmaßstab für EMF-Messungen eingeführt. Feldstärkemessungen, die diesem Qualitätsmaßstab entsprechen, lassen sich nun miteinander direkt vergleichen und entsprechen sowohl den europäischen als auch den nationalen Anforderungen zur Bewertung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern. Um diesen Qualitätsanspruch zu gewährleisten, werden neben den Messreihen der 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“.

2. UV-Strahlung

2.1 Forschung

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen der Haut. Im Jahr 2005 wurden deshalb Forschungsvorhaben im Bereich UV durch das BfS betreut, die die unterschiedlichen Entstehungsmechanismen von Hautkrebs auf Grund erhöhter UV-Strahlung näher beleuchten ([Tabelle VI.2-1](#)).

Tabelle VI.2-1
Forschungsvorhaben zum Thema UV

Thema
Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs Teilprojekt 2: „Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen“
Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses – Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko
Körperflächenbezogene UV-Dosimetrie solarer UV-Strahlung an Tagen mit durchbrochener Bewölkung

Im Rahmen des Projektes „Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs; Teilprojekt 2 „Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen“ (2002 – 2004) wurden Erkenntnisse über die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses erweitert. Unter anderem wurden Faktoren für die unterschiedliche Empfindlichkeit verschiedener Personen gegenüber UV-induziertem Hautkrebs wie z. B. die Pigmentierung der Haut, unterschiedliche Reparaturkapazitäten der Zellen und immunologische Parameter näher charakterisiert. Es konnten in dem Vorhaben wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden für eine Verbesserung des UV-Schutzes und für eine bessere Aufklärung der Bevölkerung. Nach neueren Erkenntnissen bietet die Anwendung von Sonnenschutzmitteln allein keinen ausreichenden Schutz gegen Hautkrebs. Die Entwicklung eines geeigneten Screening-Tests für das individuelle Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, liefert einen wesentlichen Beitrag für verbesserte Vorsorgemaßnahmen. Die Ergebnisse der Vorhaben sind in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht (siehe Anhang D).

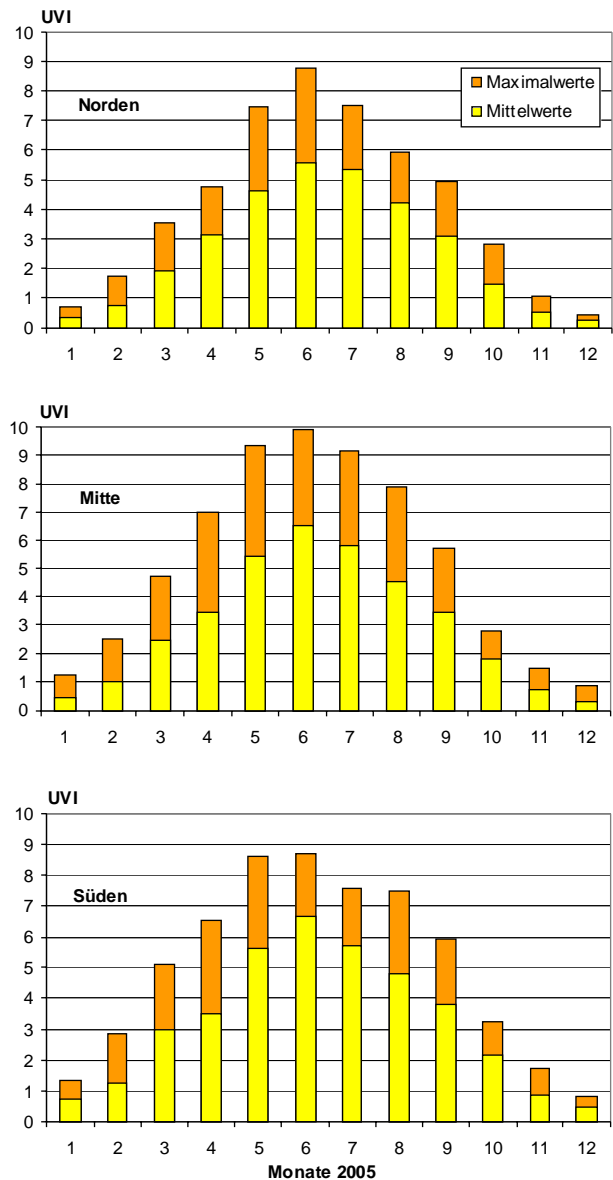
Das Projekt „Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses – Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko“ (2002 – 2005) hat zum Ziel, weitere Einsichten in die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses zu erlangen. Es konnte gezeigt werden, dass in der Basalzellschicht der Epidermis menschlicher Haut nach UV-Exposition *in-vivo* Zellen auftreten, die einen der wichtigsten UV-induzierten DNA-Schäden,

das Cyclobutan-Pyrimidindimer (CPD), im Kern akkumulieren. Die Zellen („CPD-retaining basal cells“ (CRBCs) verbleiben mindestens 6 Wochen, d. h. über einen Regenerationszyklus der Haut hinweg, in der Epidermis und es haben sich Hinweise darauf ergeben, dass es sich bei einem Teil der CRBCs um epidermale Stammzellen handelt. Die Induktion der CRBCs scheint in erster Linie von der UV-Exposition abzuhängen und erfolgt in gleicher Weise in gesunden Personen wie in Personen mit Hautkrebs in der Anamnese. Wichtig für die Entstehung von Hautkrebs ist deshalb offensichtlich das weitere „Schicksal“ der CRBCs, d. h., Prozesse, die nach der Induktion von CRBCs in der Epidermis ablaufen. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die bisherige Empfehlung, Sonnenbrände zu vermeiden, offensichtlich nicht ausreicht, um das Hautkrebsrisiko zu senken. Auch die Verwendung von Sonnenschutzmitteln bietet nach neueren Erkenntnissen keinen ausreichenden Schutz gegen Hautkrebs. Nach den Ergebnissen des Vorhabens führen bereits tägliche UV-Expositionen mit Dosen, die noch nicht zu einem Sonnenbrand führen, über einen längeren Zeitraum zu einer dauerhaften Schädigung der Epidermis. Chronischen UV-Expositionen mit niedrigen Dosen ist ein Großteil der Bevölkerung zumindest während der Sommermonate ausgesetzt. Die im Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse müssen bei der Aufklärung der Bevölkerung über die schädigende Wirkung von UV-Strahlung und bei den entsprechenden Empfehlungen berücksichtigt werden. Einen Einfluss auf die Empfehlungen bezüglich der Nutzung von Solarien sollten darüber hinaus die Untersuchungen haben, die zeigen, dass eine UVA Bestrahlung (wie sie in Solarien angeboten wird) die Kapazität der Zellen, durch solares UV induzierte Schäden zu reparieren, möglicherweise herabsetzt. Die oft propagierte Vorbräunung im Solarium hat demnach keine Schutzwirkung, sondern im Gegenteil eher eine propagierende Wirkung auf die Hautkrebsentstehung.

Ein Forschungsvorhaben zur körperflächenbezogenen UV-Dosimetrie solarer UV-Strahlung an Tagen mit aufgelockerter Bewölkung (März 2005 – November 2005) hatte zum Ziel, insbesondere für Situationen mit durchbrochener Bewölkung Daten zu erheben und Erkenntnisse zu gewinnen, die es ermöglichen, aus den Messergebnissen des bundesweiten solaren UV-Messnetzes des BfS/UBA zu einer verbesserten Abschätzung der tatsächlichen UV-Belastung der Bevölkerung zu gelangen. Es konnte gezeigt werden, dass aus den Messungen bei einer konstanten Wellenlänge von $\lambda_E = 312\text{nm}$ die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_r mit hoher Genauigkeit (Fehler im Bereich weniger Prozent) errechnet werden konnte, so dass diese Methode sehr gut geeignet ist, E_r zeitlich hoch aufgelöst zu erfassen. Der Vergleich der auf diese Weise ermittelten Werte mit den zeitgleich im Rahmen des BfS/UBA-Messnetzes mit dem zweiten Spektralradiometer gemessenen E_r -Werte zeigt, dass es bei aufgelockerter Bewölkung zu einer kurzfristigen, absoluten Erhöhung der erythemgewichteten UV-Strahlung um bis zu 20 % (Gesamtstrahlung um über 50 %) gegenüber unbewölkten Bedingungen kommen kann. Dies geschieht bei speziellen Wetterbedingungen, nämlich vorwiegend bei

Abbildung VI.2-1

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2005 im Norden, in der Mitte und im Süden



Schönwetterwolken mit etwa 5 bis 7 Achtel Bedeckungsgrad. Der Betrag bzw. die Dauer dieser kurzfristigen Erhöhung zu Beginn bzw. am Ende durchziehenden Cumuluswolken ist allerdings geringer als die Reduktion der Bestrahlungsstärke infolge der Abschattung durch die Wolken selber. Daher ist die am Erdboden empfangene Bestrahlungsdosis gegenüber derjenigen bei unbewölkten Bedingungen insgesamt doch reduziert, was entsprechende Modellrechnungen für die entsprechenden Messstage zeigen konnten. Die Reduktion variiert vor allem in Abhängigkeit von der Art der Wolken und dem Bedeckungsgrad. Im geringsten Fall beträgt sie lediglich etwa 10 %. Als Folge dessen verlängert sich entsprechend die Expositionszeit bis zum Erreichen einer MED. Eine Abhängig-

keit der Reduktion von der Neigung der Empfängerfläche zeigte sich nicht, nur die bekannte Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der Empfängerneigung.

2.2 Internationaler Workshop zu UV und Vitamin D

Im Bundesamt für Strahlenschutz fand am 17. und 18. Oktober 2005 der Internationale Workshop „International Workshop on UV exposure guidance: A balanced approach between health risks and health benefits“ statt. Er wurde ausgerichtet durch die Organisationen ICNIRP, WHO und EUROSkin. Ziel des Workshops war es, den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu UV- und Vitamin D-Wirkungen zusammenzufassen und eine Empfehlung zur Sonnenexposition zu erarbeiten, die den gesundheitlichen Risiken und Nutzen von UV und Vitamin D gerecht wird. Die bisherigen Empfehlungen zu Sonnenexposition von Strahlenschutz- und Vitamin-D-Experten sind widersprüchlich. Die gesundheitsschädigenden Wirkungen von UV sind seit Jahren nachgewiesen. Gleichzeitig induziert UV-B-Strahlung in der Haut die Produktion von Pro-Vitamin D₃, das zu Vitamin D umgewandelt wird. Vitamin D reguliert den Kalziumspiegel im Blut und spielt dadurch eine zentrale Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes. Neuere epidemiologische Studien liefern Hinweise, dass ein Mangel an Vitamin D mit einigen Krebsarten wie Darmkrebs, aber auch Brust- und Prostatakrebs korreliert zu sein scheint. Es wurden die Fragen nach dem optimalen Vitamin-D-Spiegel und einen möglichen Ausgleich von Vitamin-D-Mangel z. B. durch eine Vitamin-D-Anreicherung in Nahrungsmitteln diskutiert. Der Besuch von Solarien als eine Methode zur Deckung des Vitamin D Bedarfs wurden von der überwiegenden Mehrheit der Workshop-Teilnehmer als ungeeignete Vitamin-D-Quelle bewertet. Große Übereinstimmung bestand darin, dass körperliche Aktivitäten im Freien als gesundheitsfördernd anzusehen sind und entsprechende Sonnenschutzmaßnahmen bei UV-Indices höher als 3 propagiert werden sollen.

Die Vorträge und Ergebnisse des Workshops sowie die Diskussionen hierzu wurden nach Durchlaufen eines Gutachtergestützten Prozesses im September 2006 in der Fachzeitschrift „Progress in Biophysics & Molecular Biology“, Vol. 92 (1) publiziert und stehen im Internet unter www.sciencedirect.com zur Verfügung.

2.3 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 München 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 Sommermonaten werden als UVI-Werte veröffentlicht. In [Abbildung VI.2-1](#) wurden für das Jahr 2005 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen Dortmund, Langen, Kulmbach) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt sind. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in der Mitte Deutschlands UVI-Werte von 7 auftraten, d. h., dass Schutzmaßnahmen ab dieser Zeit empfehlenswert sind.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt einen leichten Anstieg der UV-Strahlung erkennen. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

Anhang A:

Strahlendosis und Strahlenwirkung

Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes³.

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 Becquerelwert 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.

³ 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 Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z.B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z.B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die **Organodosis**. 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.

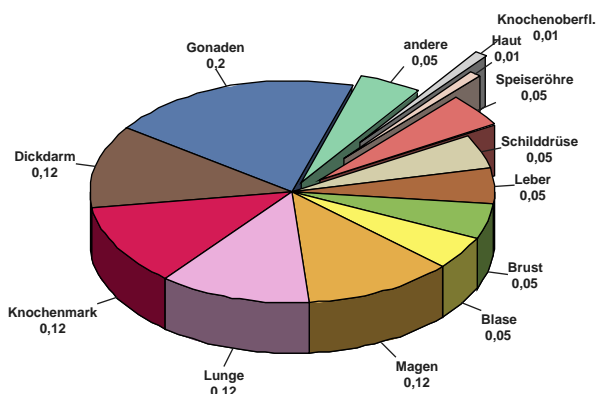
$$E = w_T \times H_T$$

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 **Filmdosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

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

Äußere und innere Bestrahlung⁴

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 Alphastrahlung 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 Gewe-

ben 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 Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch ge-

⁴ Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

troffenen 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).

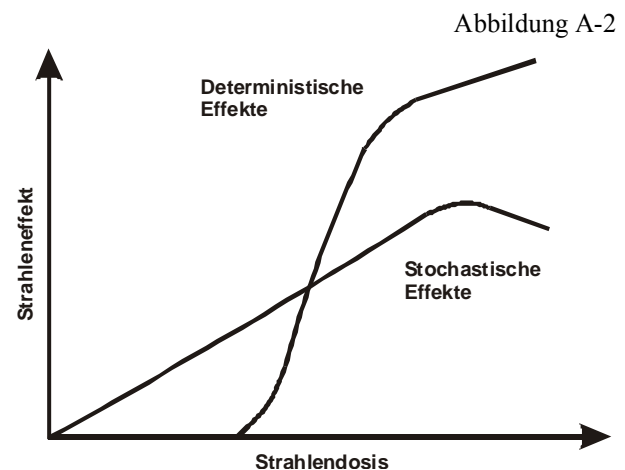
Stochastische und deterministische Strahlenwirkung⁴

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.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkun-



Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

gen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaaren 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 vererbbaare Defekte⁴

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 überwiegendem Maße nach Strahlendosen im Bereich von 1 Gy und höher gewonnen worden, im Allgemeinen hat eine Bestrahlung mit hoher Dosisleistung stattgefunden. Um die-

se 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 Be-

strahlung 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, schwer 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, zeigten 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 unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungeneithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung

hervorgehoben. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m³ Raumluft. Dies bedeutet, dass eine Senkung der Radonkonzentration um 1000 Bq pro m³ Raumluft zu einer Halbierung des Lungenkrebsrisikos führt.

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:

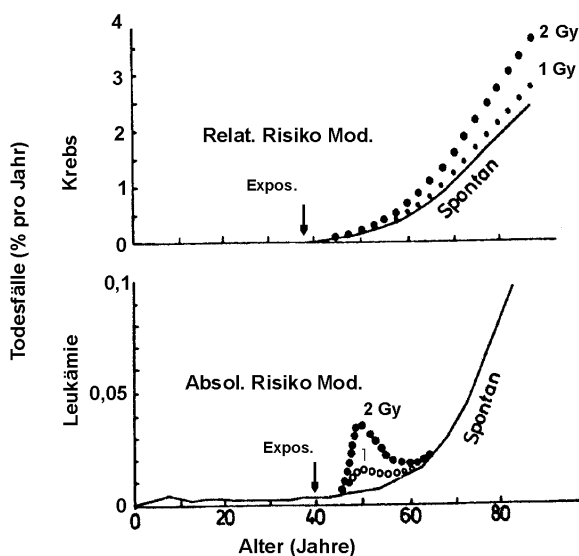
- Extrapolation der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z. B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische Expositionen, wie sie z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
- Projektion des Risikos 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 ein-

tritt. 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 ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

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

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.

nommen 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 UNSCEAR⁵ ein Lebenszeitrisiko 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 Lebenszeitrisiko 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.

⁵ 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 Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z.B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom

betrieben werden (z.B. Straßenbahnen), die zukünftigen Magnetschwebbahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten z.B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magneheilmittel“ wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

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

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie – MRT, englisch „nuclear magnetic resonance“ – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Es existieren keine Schwellen zu einer gesundheitlichen Schädigung durch statische Magnetfelder. Bis jetzt sind keine schädigenden Wirkungen bei Magnetfeldexpositionen bis 2 T bekannt. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher (vgl. Berichte der SSK, Heft 18, „Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik“). Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten.

2. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische

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 µT veraltet: G (Gauss)	B = µ · H = µ ₀ · µ _r · H für Luft und organische Materialien: B (µT) = 1,256 · H (A/m) 1 G = 10 ⁻⁴ T = 100 µT

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 ($16 \frac{2}{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (s. [Tabelle B 2-2](#)).

Tabelle B 2-2

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (μ T)
$16 \frac{2}{3}$ Hz	10	300
50 Hz	5	100

Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 μ T begrenzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem etablierten Strom-Dichte-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 μ T im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m² entsteht. Bei diesem Wert, welcher der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht, wurden keine biologischen Effekte wissenschaftlich nachgewiesen. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 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 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	$1,375 \sqrt{f}^*$	$0,0037 \sqrt{f}^*$
2 – 300 GHz	61	0,16

*f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z. B. bei der 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

Tabelle B 3-2

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	E	V/m (Volt pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ Dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit $376,7 \Omega$ (Ohm) = $376,7 \text{ V/A}$
Magnetische Feldstärke	H	A/m (Ampere pro Meter)	
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	

Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen 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 mög-

lichst 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 gehört die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf.

Wirkungen von solarer UV-Strahlung auf Mensch und Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des 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-Expositi-

on, 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 66).

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 Strahlenempfindlichkeit 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. Lichtschwien.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV-Strahlung

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

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. In Deutschland liegt nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention die Neuerkrankungsrate für Hautkrebs schätzungsweise bei knapp 120.000 pro Jahr

im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 330.000 pro Jahr. In den letzten Jahrzehnten hat diese Rate deutlich zugenommen. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird das geänderte Freizeitverhalten mit zunehmendem Aufenthalt im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II (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 braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

Solare UV-Strahlung und Ozon

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

Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum Einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum Anderen verschiebt sich die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, d.h., sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht zusätzlich den Erd-

boden. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, haben auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial.

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

UV-Monitoring

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

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

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

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d.h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV bis Infrarot) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit zur Verfügung (www.bfs.de). 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 vom RTS auf Grund der SSK-Empfehlung erarbeiteten Kriterien sind Grundlage des Verfahrens für die freiwillige Zertifizierung von Solarien durch das BfS. Ziel ist ein Mindestschutz vor zu hoher UV-Belastung und damit zu hohem gesundheitlichen Risiko, wenn ausschließlich nach diesen Kriterien zertifizierte Solarienbetriebe aufgesucht werden.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung und Prüfungsvorschriften, sowie einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und Arbeitsschutzmaßnahmen. Weiterhin werden die fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter und der Umfang der Kundeninformation und -beratung durch Schulungsmaßnahmen geregelt.

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	

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 (Betaspektrum) 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
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	Desoxiribonukleinsäure – 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
Gammasubmersion	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
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)
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 Quadratcentimeter. 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 erythemato gene 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 zur Zeit 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
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, seit dem 13. Juli 2005 umbenannt in „Bundesnetzagentur“
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
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Art. 2, § 3 Abs. 31 des Gesetzes vom 01.09.2005 (BGBl. I S. 2618)
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)
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 (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 Meteorologie)

Anhang D**Literatur zum Forschungsvorhaben „Untersuchungen molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebse“**

Matsui MS, Schwarz A, Gan D, Mammone T, Gross N, Staender S, Schwarz T
Polyphenols extracted from green tea reduce UV-induced apoptosis of keratinocytes. *J. Invest. Dermatol.* 121: 192 (2003 abstr)
www.nature.com

Zeise E, Weichenthal M, Schwarz T, Kulms D
Resistance of human melanoma cells against the death ligand TRAIL is reversed by ultraviolet-B radiation via down-regulation of FLIP. *J. Invest. Dermatol.* 123: 746-754 (2004)
www.nature.com

Pöppelmann B, Klimmek K, Strozyk E, Voss R, Schwarz T, Kulms D
NFκB-dependent downregulation of TRAF proteins contributes to IL-1-mediated enhancement of UVB-induced apoptosis. *J. Biol. Chem.* 280: 15635-15643 (2005)
www.jbc.org/

Schwarz A, Maeda A, Kernebeck K, van Steeg H, Beissert S, Schwarz T
Prevention of UV radiation-induced immunosuppression by IL-12 is dependent on DNA repair. *J. Exp. Med.* 201: 173-179 (2005)
www.jem.org

Böhm M, Wolff I, Scholzen TE, Robinson SJ, Healy E, Luger TA, Schwarz T, Schwarz A
Alpha-melanocyte-stimulating hormone protects from ultraviolet radiation-induced apoptosis and DNA damage. *J. Biol. Chem.* 280: 5795-5802 (2005)
www.jbc.org

Staender S, Schwarz T
Tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (TRAIL) is expressed in normal skin and cutaneous inflammatory diseases, but not in chronically UV-exposed skin and non-melanoma skin cancer. *Am. J. Dermatopathol.* 27: 116-121 (2005)
www.amjdermatopathology.com