

Unterrichtung durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2004

	Seite
Inhaltsverzeichnis	
Auftrag und Zusammenfassung	
1. Auftrag	4
2. Zusammenfassung	4
I. Natürliche Strahlenexposition	5
1. Externe und interne natürliche Strahlenquellen	5
2. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten	7
3. Radon in Gebäuden	7
3.1 Gesundheitliche Effekte durch Radon	7
3.2 Optimale Vorgehensweise zur Begrenzung der Radonexposition in Gebäuden	9
3.3 Die Radonsituation in Deutschland	9
4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH	11
II. Zivilisatorische Strahlenexposition	12
1. Kerntechnische Anlagen	12
1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe	12
1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen	13
1.3 Zusammenfassende Bewertung	21
2. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt	21
2.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	21
2.2 Störstrahler	22
2.3 Freigaberegulungen	22
III. Berufliche Strahlenexposition	22
1. Natürliche Strahlenquellen	22
1.1 Flugpersonal	22
1.2 Bergbau	25

2.	Zivilisatorische Strahlenquellen	25
2.1	Personendosisüberwachung	25
2.2	Inkorporation	25
3.	Besondere Vorkommnisse	27
IV.	Medizinische Strahlenexposition	34
1.	Röntgendiagnostik	34
2.	Nuklearmedizinische Diagnostik	37
3.	Therapie mit ionisierender Strahlung	38
4.	Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen	39
5.	Bewertung	39
V.	Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche	40
1.	Tschernobyl	40
2.	Kernwaffenversuche	40
VI.	Nichtionisierende Strahlung	42
1.	Elektromagnetische Felder	42
1.1	Forschung	42
1.2	Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“	47
1.3	Umweltzeichen „Blauer Engel“	47
1.4	Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen	47
2.	UV-Strahlung	48
2.1	Forschung	48
2.2	Solarien	48
2.3	Solares UV-Monitoring in Deutschland	49
Anhang A:		
	Strahlendosis und Strahlenwirkung	50
Anhang B:		
	Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen	57
Anhang C:		
	Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen	63

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2004

Kurzfassung

Medizinische Strahlenexposition:

- Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen auf 1,8 mSv (von 1996–2002)
- Zunahme der Anzahl der Computertomographien um 7% von 2001 auf 2002

Berufliche Strahlenexposition:

- Rückgang der Zahl der Personen mit Expositionen über 20 mSv seit 1998
- Rückgang der Dosis tatsächlich exponierter Personen von 0,90 auf 0,82 mSv

Strahlenexposition Flugpersonal:

- Expositionsdaten erstmals erfasst: Keine Überschreitungen des Grenzwerts von 20 mSv pro Jahr

Emissionsüberwachung Kernkraftwerke:

- Beitrag zur Strahlenexposition auch 2004 deutlich unter 1%

Tschernobyl-Folgen:

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

Immissionen der Mobilfunksendeanlagen:

- Keine Grenzwertüberschreitungen in für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm:

- 49 Forschungsprojekte aus Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation
- Gesamtkosten 17 Mio. €, anteilig finanziert von BMU und den Betreibern

Standortauswahl für Mobilfunksendeanlagen:

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

Auftrag und Zusammenfassung

1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlen“ (NIR).

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

2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt im Bereich der ionisierenden Strahlung

- die natürliche Strahlenexposition, die zivilisatorisch verändert sein kann,
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen,
- 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 und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts. Die Charakterisierung der beruflichen Strahlenex-

position (siehe **Abbildung 2**) berücksichtigt sowohl natürliche als auch zivilisatorische Strahlenquellen.

Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl, der am 26. April 1986 stattfand, verursachte auch im Jahr 2004 noch einen geringen Beitrag der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2004 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Natürliche Strahlenexposition

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

Radon- und Thoronzerfallsprodukte in Wohnungen liefern über Inhalation den Hauptbeitrag zum zivilisatorisch erhöhten Teil der natürlichen Strahlenexposition mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von etwa 0,9 mSv pro Jahr. Schutzziel ist, die Radonkonzentration in Wohnungen zu reduzieren, um das resultierende Lungenkrebsrisiko niedrig zu halten (Abschnitt I.3).

Zivilisatorische Strahlenexposition

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

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2004 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.2).

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). Berichtet wird ebenfalls über die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung, die seit 2002 an das Strahlenschutzregister des BfS übermittelt werden (Abschnitt III.2.2).

Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2004 ca. 313.400. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahresper-

sonendosiswerten (ca. 51.500 Personen) beträgt 0,82 mSv. [Abbildung 2](#) gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Die mittlere berufliche Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide betrug im Berichtsjahr 0,69 mSv. Der dabei erfasste Personenkreis umfasst erstmals die Tätigkeitsbereiche nach § 95 und § 118 StrlSchV (Abschnitt 3.1.2).

Die ermittelte Jahresdosis für fliegendes Personal liegt mit 1,9 mSv/a etwas unterhalb der bisherigen Schätzung von 2,5 mSv/a.

Medizinische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Der Beitrag der Röntgendiagnostik ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen (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 0,015 mSv im Jahre 2004 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Expositionen auf, die bis zu einer Größenordnung über dem genannten Mittelwert liegen.

Die Dosis durch die bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2004 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche mehr in der Atmosphäre durchgeführt.

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 1,9 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die berechnete Gesamtexposition beträgt wie im Vorjahr 4,0 mSv.

Nichtionisierende Strahlung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie regt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche

gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien an.

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

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 Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. In verschiedenen Messkampagnen der RegTP wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung sogenannter „Wellness“- Bereiche mit Solariennutzung kontinuierlich an. Dies hat zu einer Besorgnis erregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamtes zusammen mit weiteren fünf assoziierten Institutionen erfasst und bewertet kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte des UV-Index von etwa sechs im Norden Deutschlands bis über neun im Süden Deutschlands in den Monaten Juni bzw. Juli auf (Abschnitt VI.2.3). Ein ozonbedingter Trend zu einem Anstieg der UV-Strahlung lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht nachweisen.

I. Natürliche Strahlenexposition

1. Externe und interne natürliche Strahlenquellen

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

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

Die effektive Dosis aus der äußeren Strahlenexposition beträgt im Mittel 0,7 mSv pro Jahr und wird etwa zu gleichen Teilen durch die kosmische und die terrestrische Strahlung verursacht. [Abbildung I.1-1](#) zeigt die Vertei-

Abbildung 1

**Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2004
(Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)**

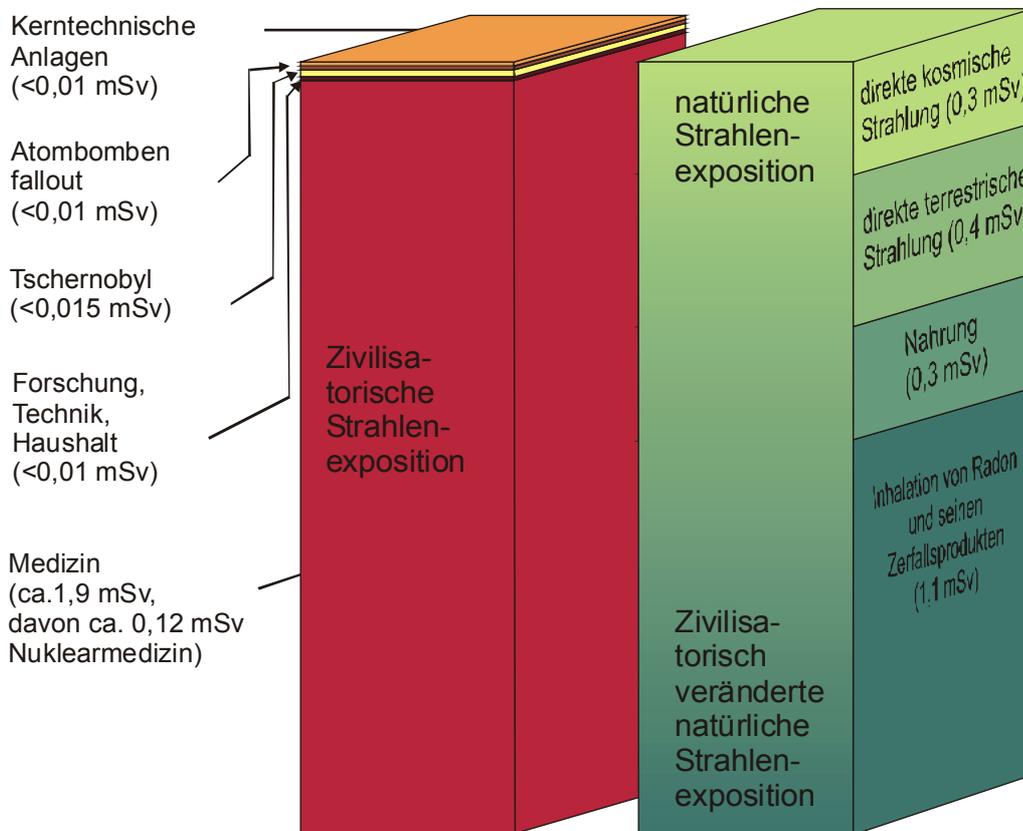
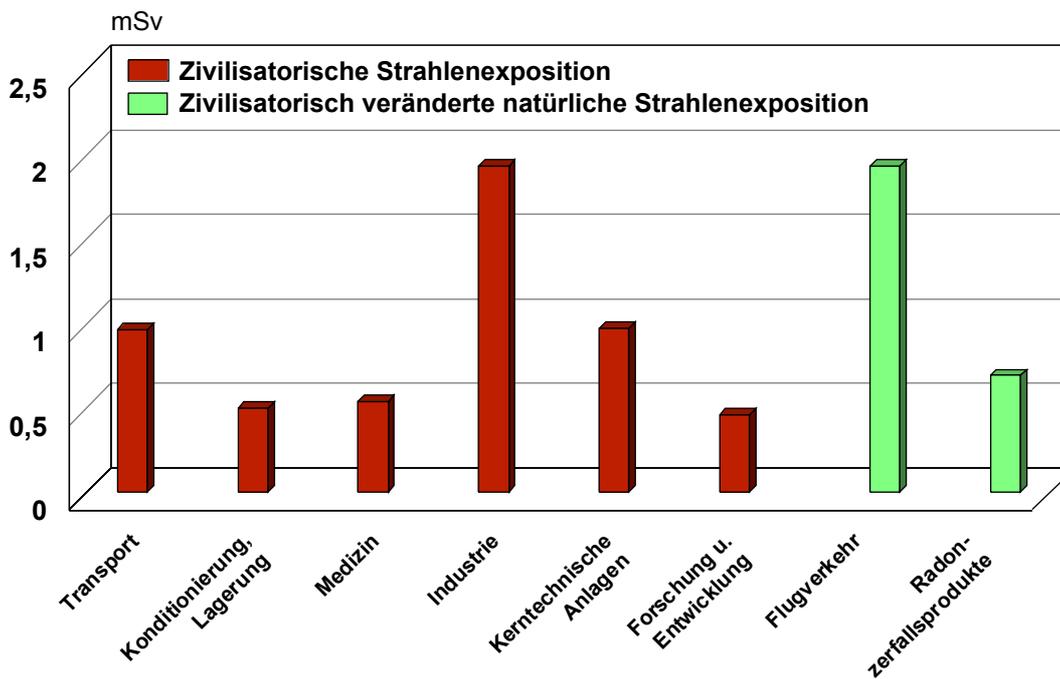


Abbildung 2

**Mittlere Jahres-Personendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland
im Jahr 2004 in bestimmten Tätigkeitsbereichen**



lung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2004.

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

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

Die jährliche innere Strahlenexposition durch die Inhalation radioaktiver Stoffe bei ständigem Aufenthalt im Freien beträgt ca. 0,2 mSv. Ein weitaus größerer Teil wird durch den Aufenthalt in Häusern verursacht. Er ist zivilisatorisch bedingt und wird im Abschnitt I.3 ausführlich behandelt.

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

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

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 Magmageseine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe Konzentrationen an natürlichen Radionukliden.

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

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

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich jedoch natürliche radioaktive Stoffe 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 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.

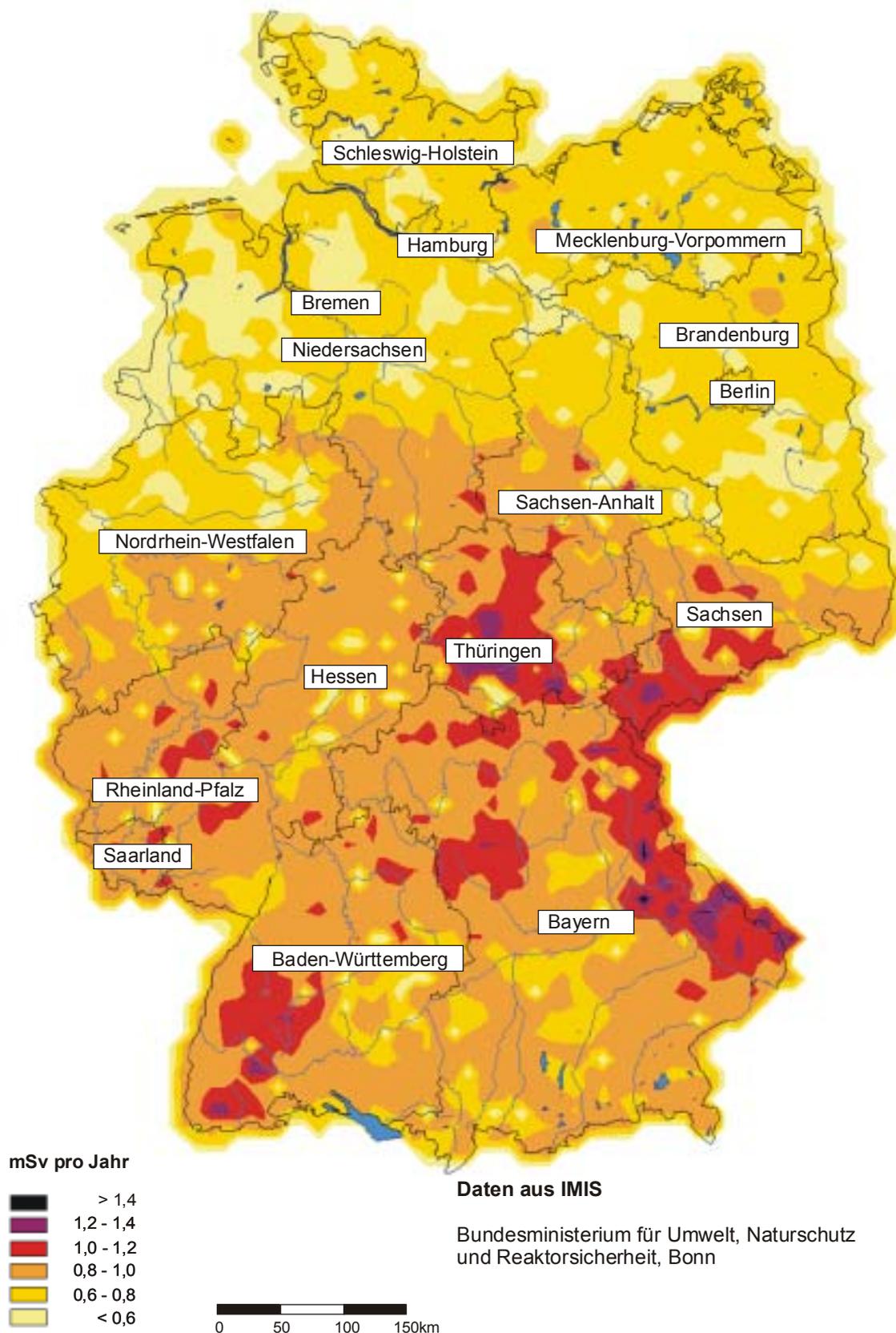
3. Radon in Gebäuden

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

Abbildung I1-1

Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland in Bodennähe im Freien, 2004



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 untersucht. Auf dieser Grundlage kommt die deutsche Strahlenschutzkommission in ihrer Empfehlung vom April 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 deutsche Strahlenschutzkommission fordert in der genannten Empfehlung dazu auf, im Sinne der Konsistenz von Risikoeinstufungen Regelungen zur Begrenzung der Radonexposition in Wohnungen vorzubereiten. Aus den epidemiologischen 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 auch Konzentrationen bis zu 70 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

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

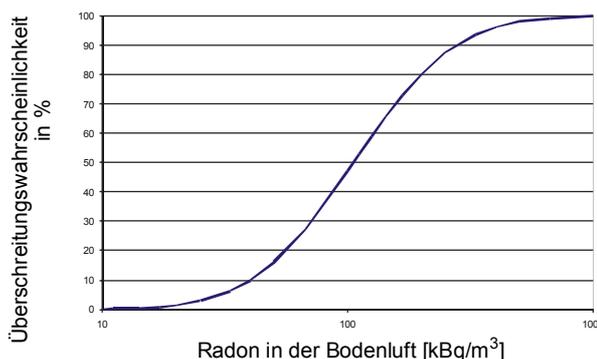


Abbildung I3-1

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

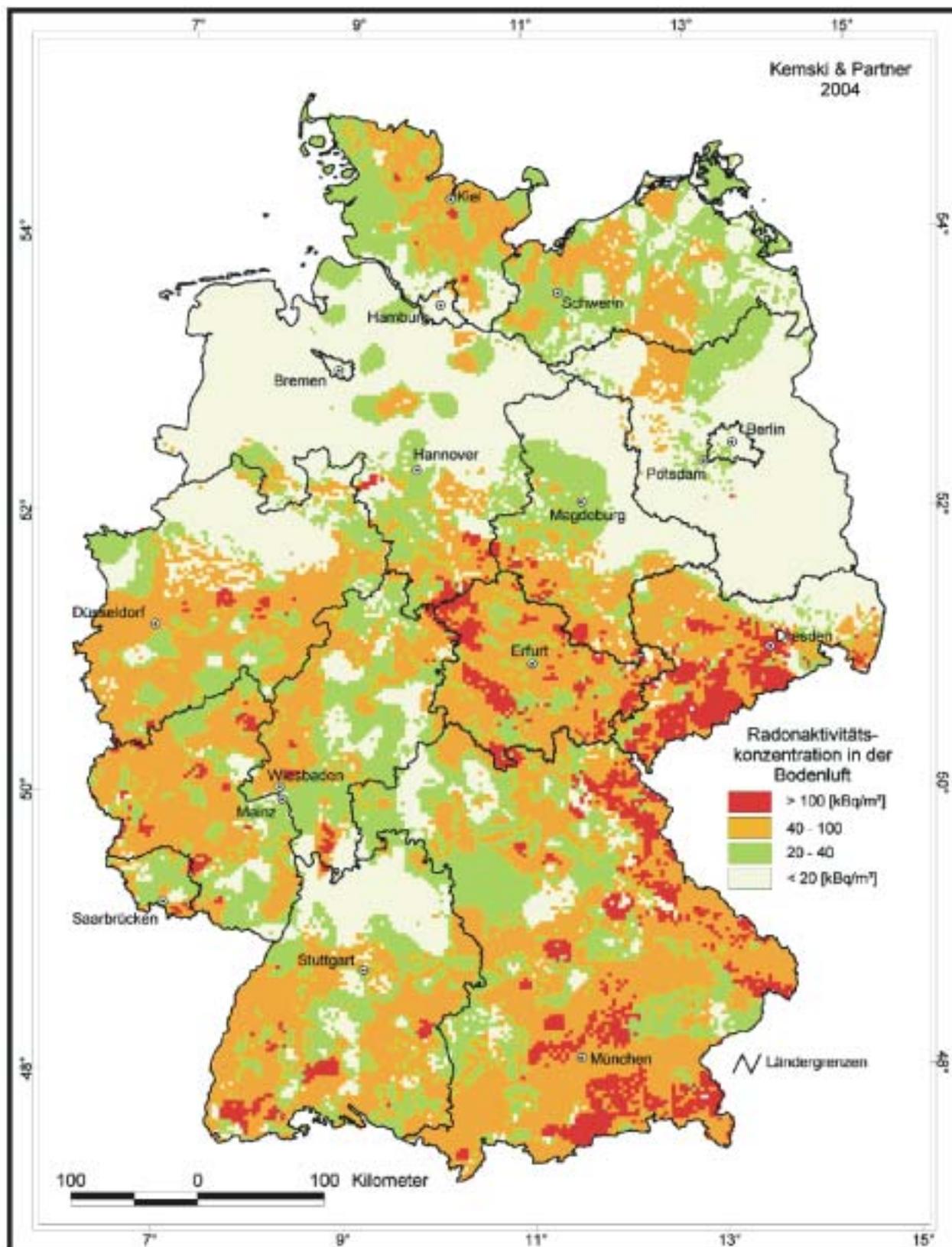
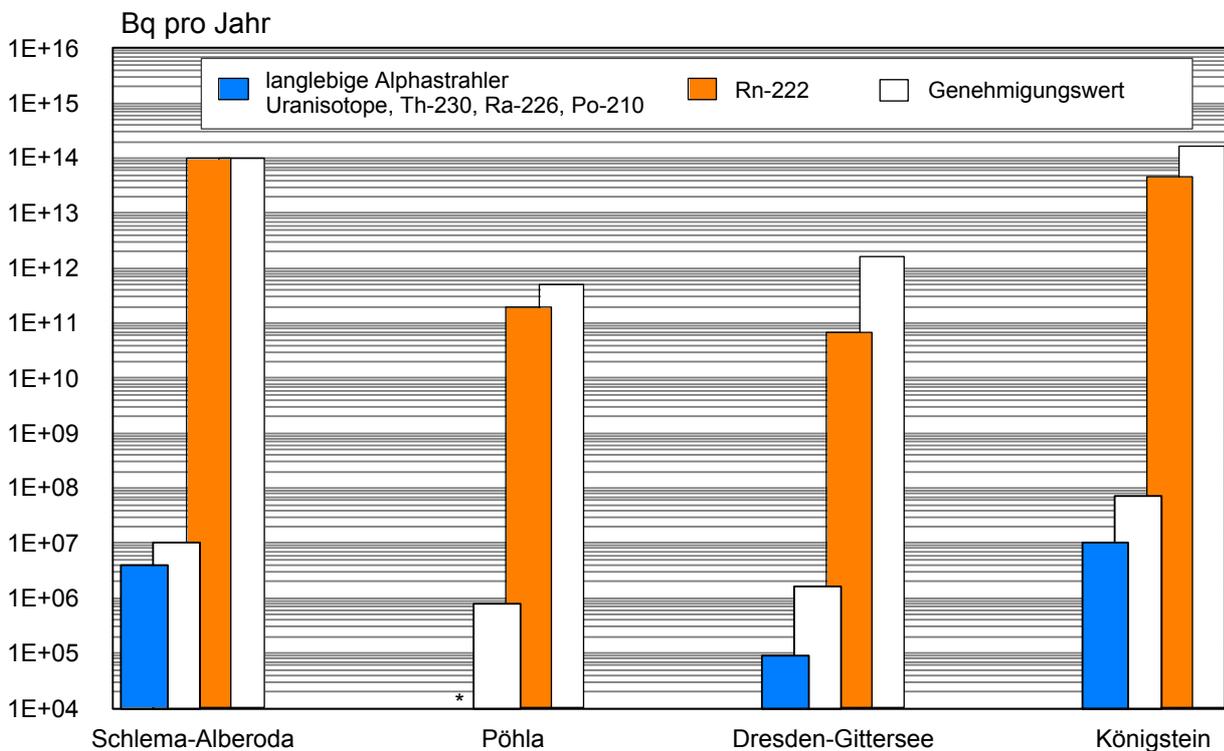


Abbildung I.4-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre im Jahr 2004



* Nach Auskunft der zuständigen Landesbehörde wurden Emissionen wegen Konzentrationen unter der Nachweisgrenze nicht bilanziert.

Konzentration von 100 Bq/m³ in einem vollständig unterkellerten 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 sollten 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 objektbezogen 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 Bau-

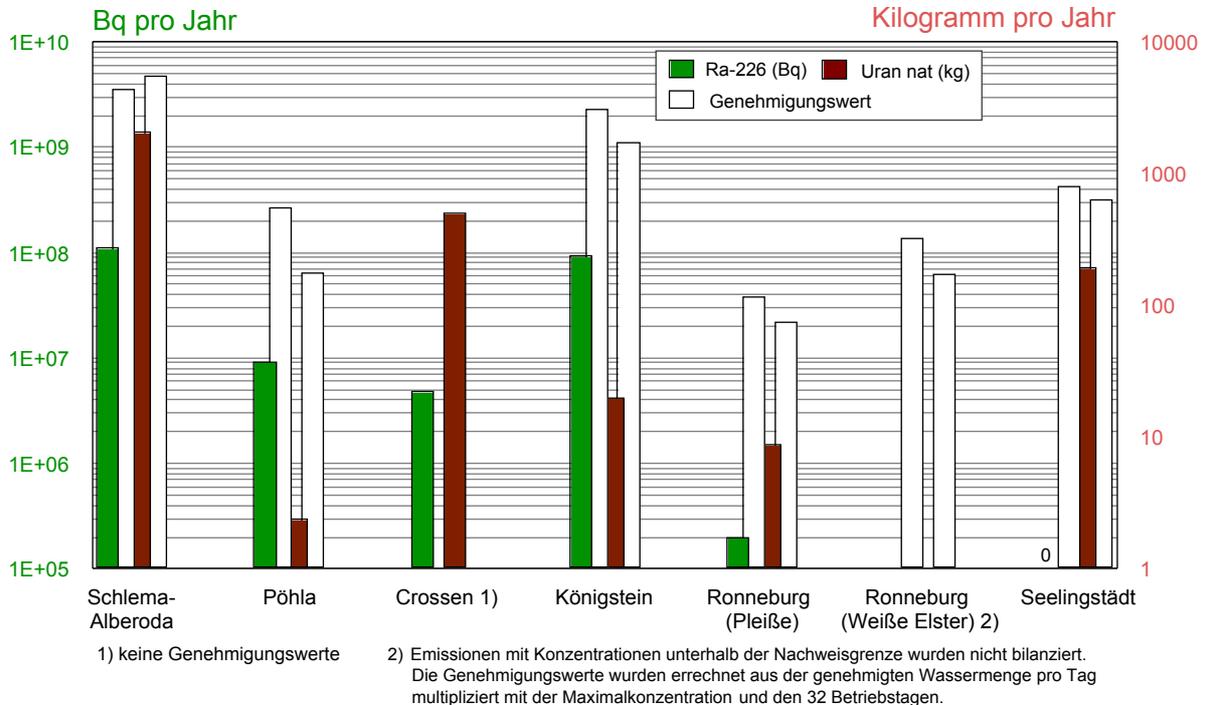
grund als Quelle für Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen kaum in Frage kommt. Vielerorts sind aber noch Untersuchungen erforderlich, um die Radonsituation kleinräumig hinreichend sicher bewerten zu können.

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.

4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH

Bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus durch die Wismut GmbH werden radioaktive Stoffe mit Schacht- und Abwässern und Abwettern/Abluft 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 2004 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Ge-

Abbildung I.4-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2004

Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten wurden (Abbildung I.4-1 und Abbildung I.4-2).

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

Auch bei den Ableitungen von Radon-222 über Abweterschächte und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden diese Ableitungen erneut verringert. Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abweterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z.B. Inversion in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 350 Bq/m³ Radon-222 in der Außenluft festgestellt. Wie durch Messungen und Modellrechnungen nachgewiesen wurde, liegen in Entfernungen von meist einigen hundert Metern,

höchstens aber einigen Kilometern von diesen Objekten die Werte der Radonkonzentration bereits wieder in der für das Gebiet typischen Spannweite von 25 bis 80 Bq/m³. Vergleichbare Werte wurden in bergbaufreien Gebieten in Sachsen und Thüringen festgestellt, die ähnliche geologische Verhältnisse wie die Bergbauregionen aufweisen.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden 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.

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, Probenentnahme, 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 2004 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 die jeweiligen Genehmigungswerte (siehe Abschnitt II.1.3).

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 2004 beträgt an den in [Abbildung II.1-2](#) aufgeführten Standorten etwa 5 · 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 Garching für das Jahr 2004 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In [Abbildung II.1-5](#) sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2004 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 2004 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.1-10 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Abs. 2 der StrlSchV für eine Referenzperson an den jeweils ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der StrlSchV (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2004 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 > 1 bis 2 Jah-

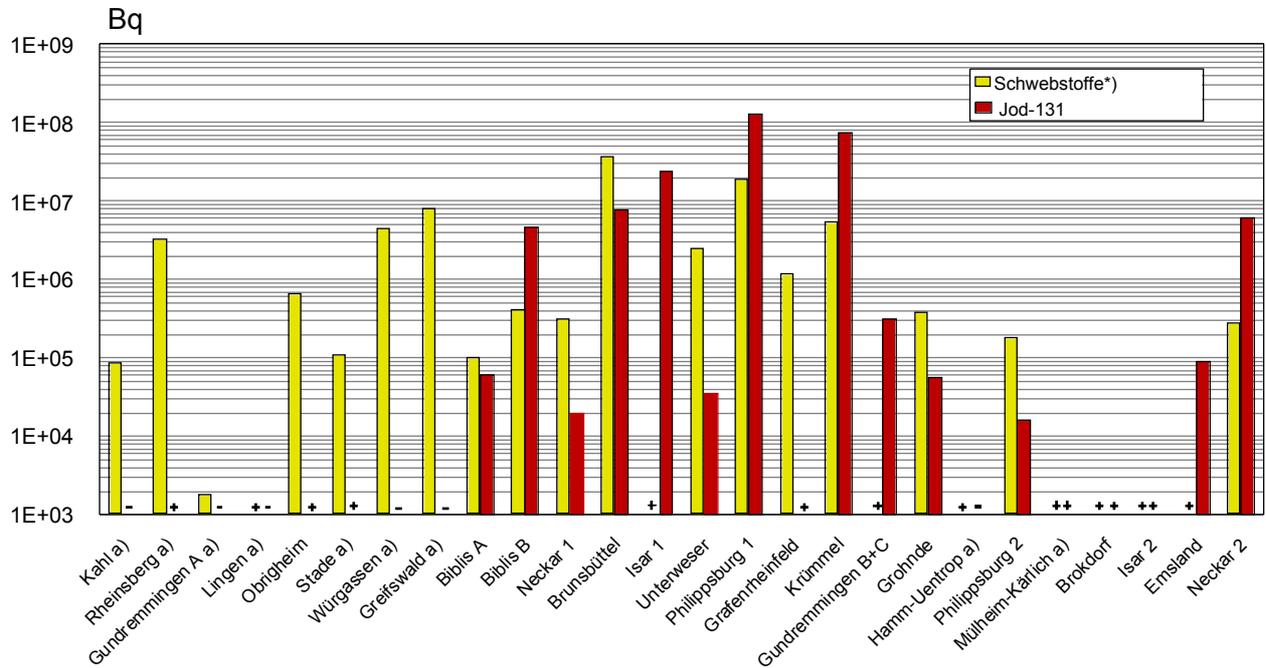
Tabelle II.1-1

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 2004
Schwebstoffe und Jod-131**



a) Betrieb beendet

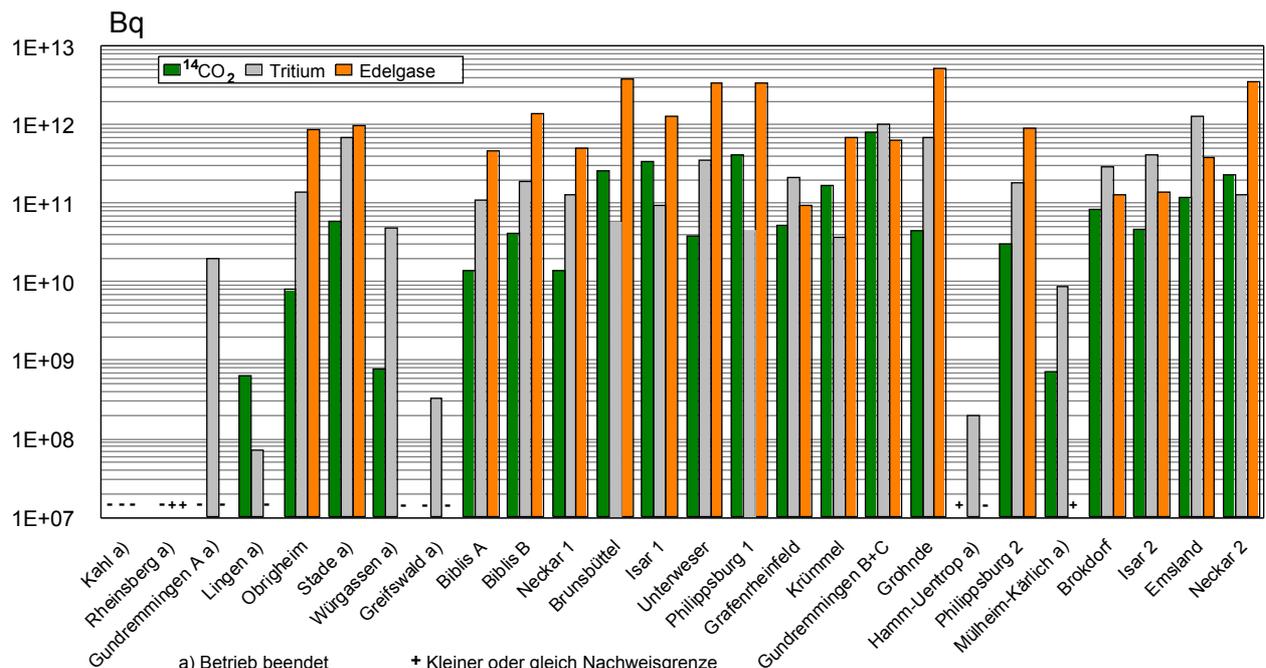
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler, früher "Aerosole"

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2004
¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase**



a) Betrieb beendet

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze

- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2004
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

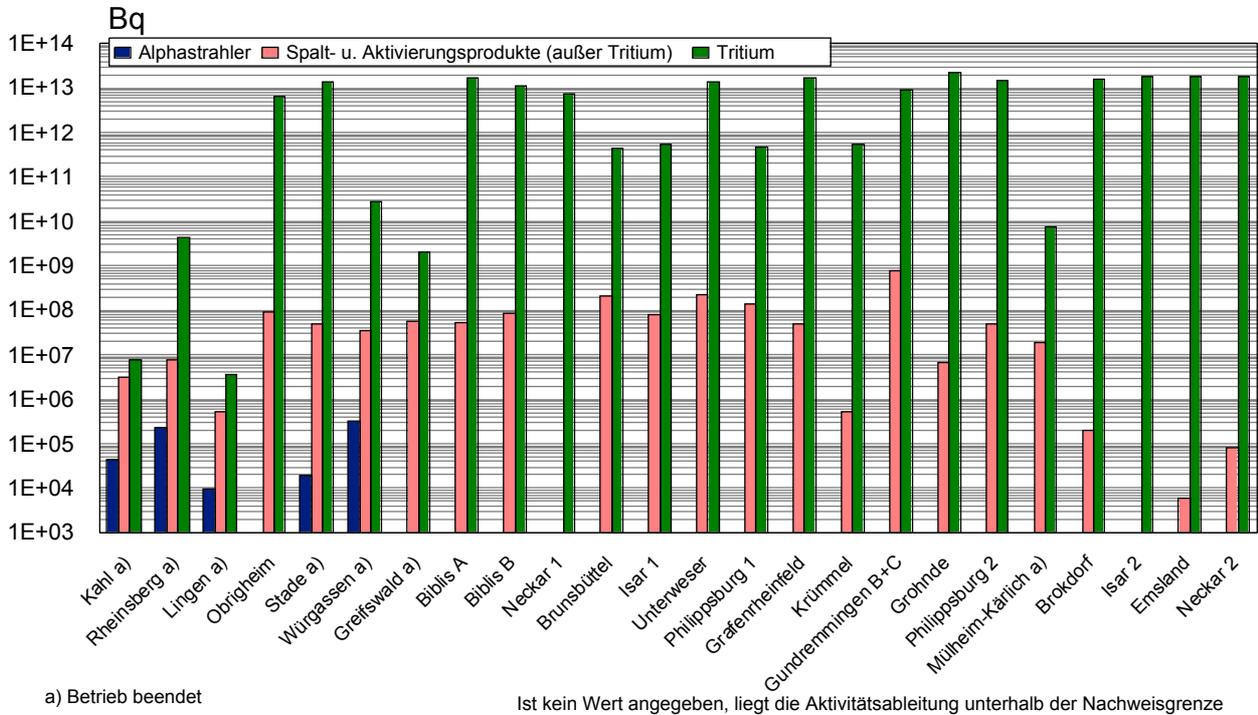


Abbildung II.1-4

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2004
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, ¹⁴CO₂, Tritium und Edelgase**

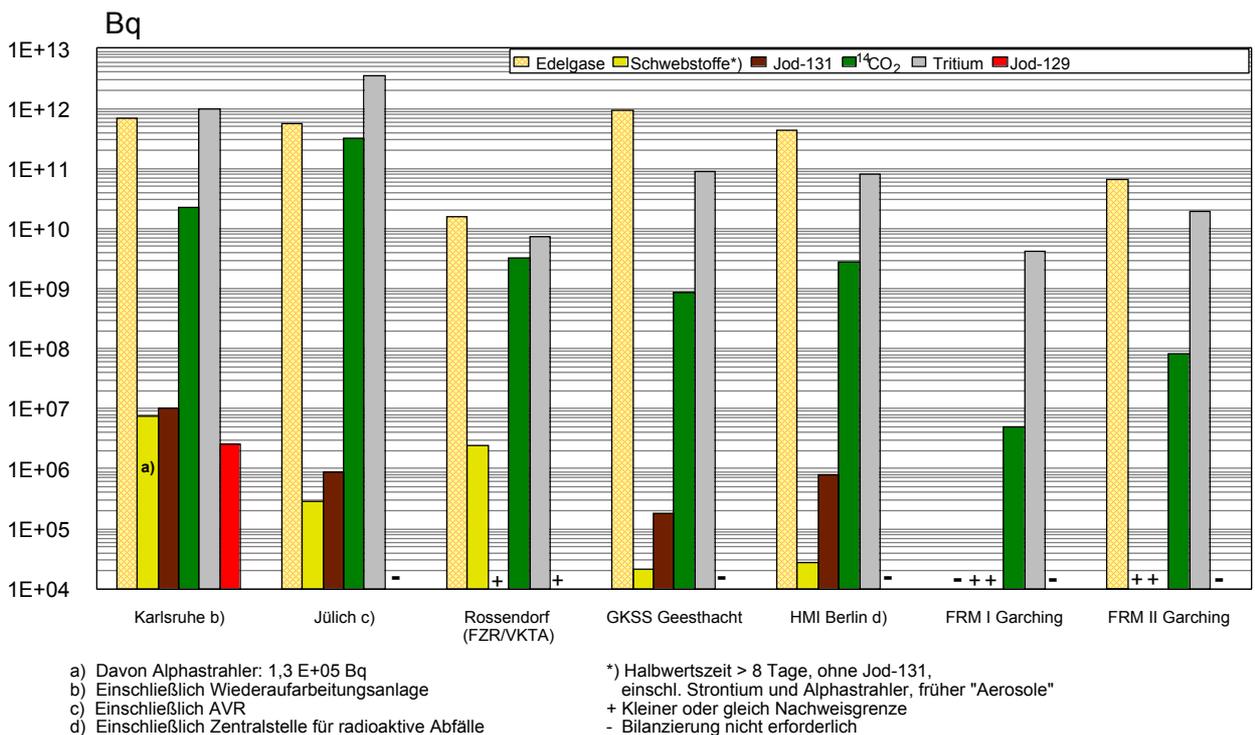


Abbildung II.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2004
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

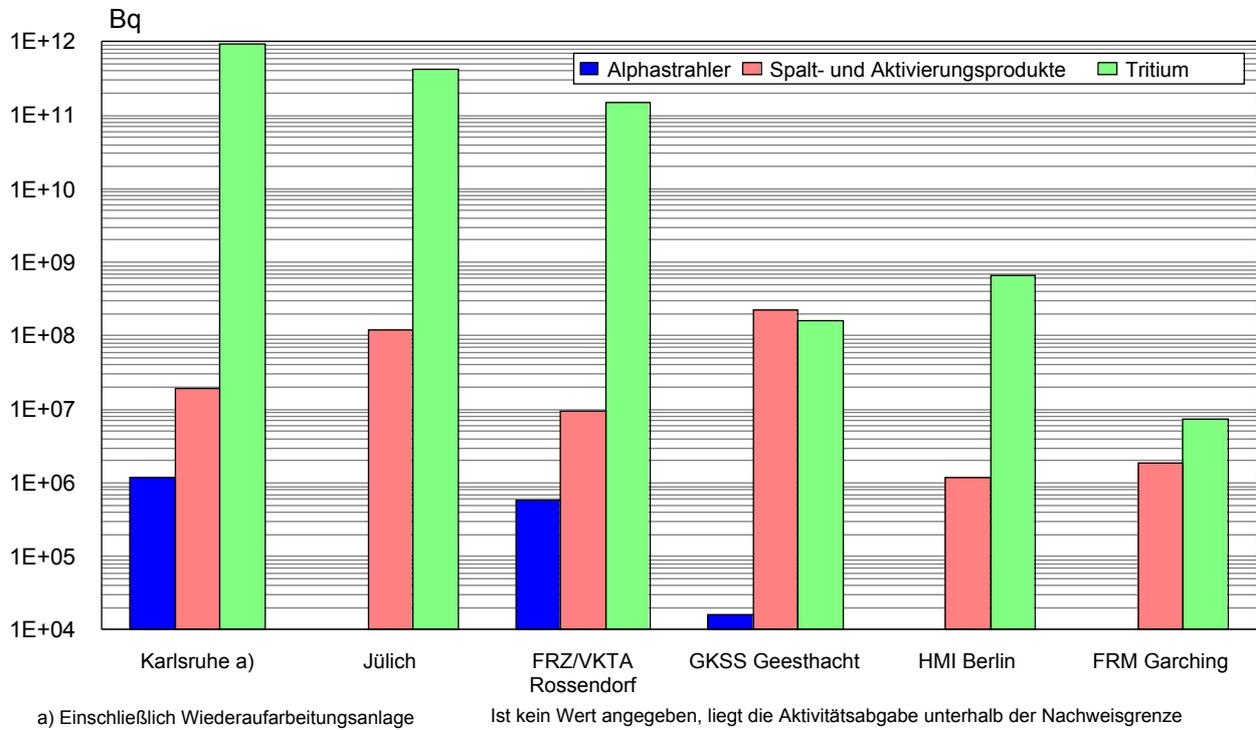


Abbildung II.1-6

**Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser
aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2004**

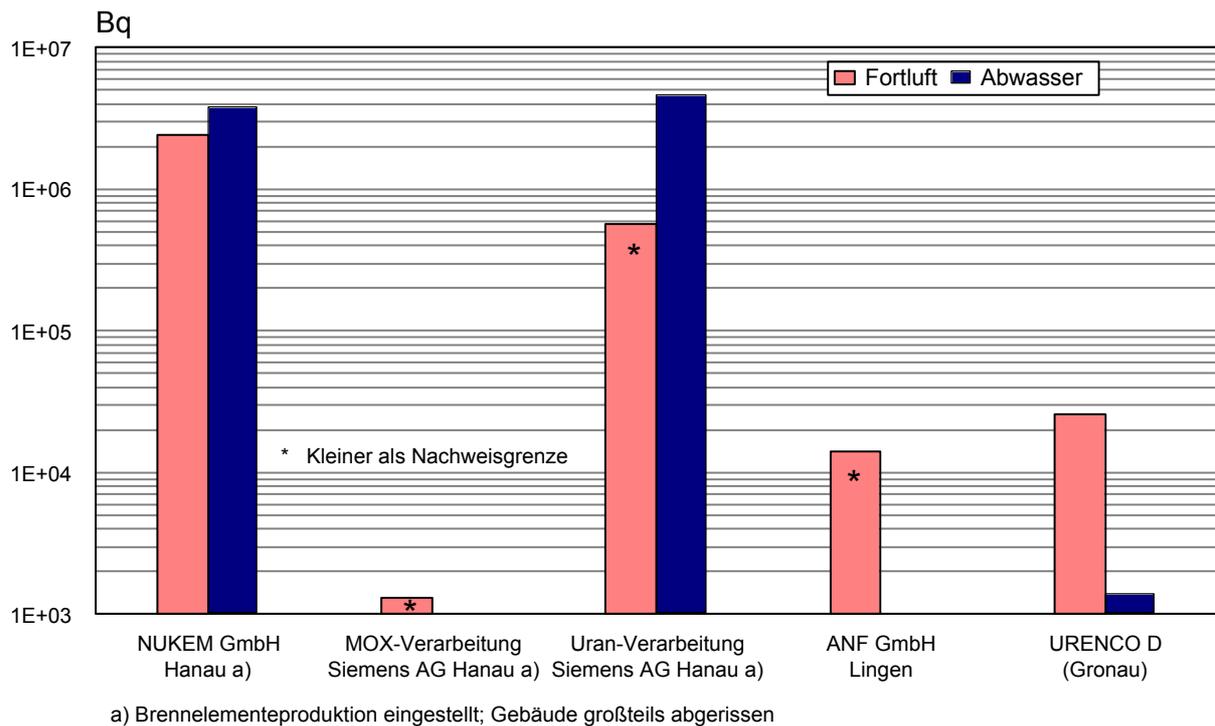
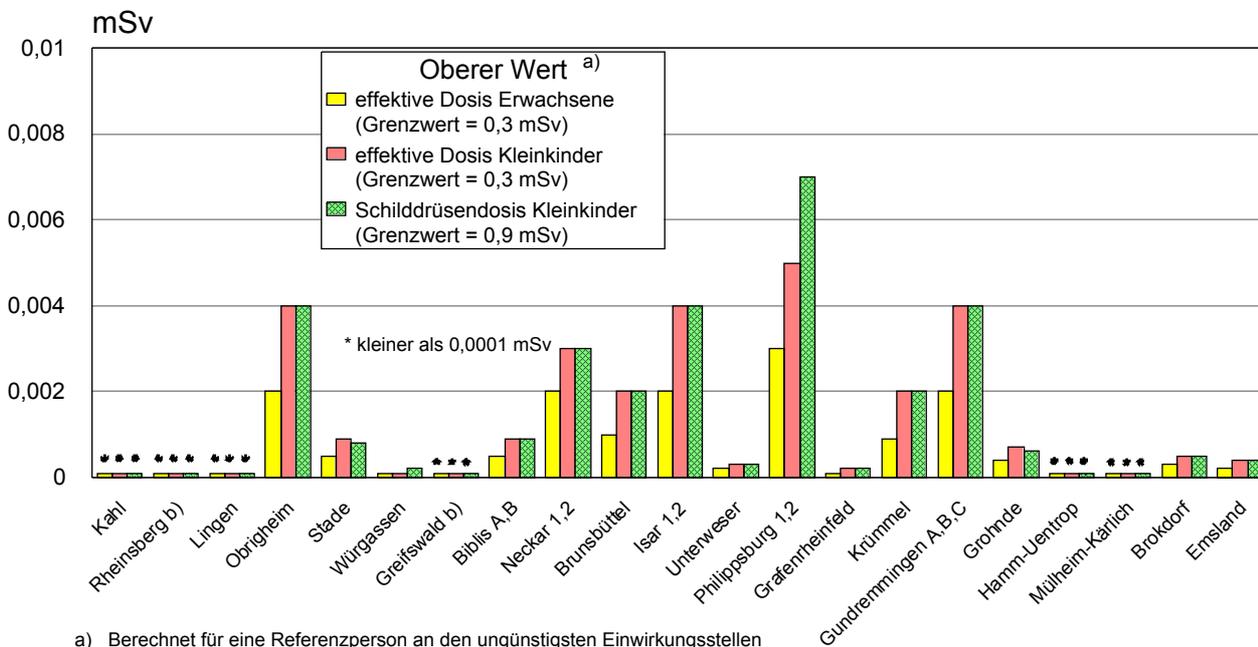


Abbildung II.1-7

Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



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

re) sowie die Schilddrüsens dosis für Kleinkinder. [Abbildung II.1-7](#) zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,003 mSv (1% des Dosisgrenzwerts nach StrlSchV) sowie für Kleinkinder 0,005 mSv (rund 2% des Dosisgrenzwerts) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte berechnete Wert der Schilddrüsens dosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (unter 1% des Dosisgrenzwerts) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In [Abbildung II.1-8](#) sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der höchste berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0007 mSv (entsprechend rund 0,3% des Dosisgrenzwerts) und für Kleinkinder 0,0013 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

Entsprechend des Entwurfes der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung vom 19.08.2004 wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten 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 0,0001 mSv bzw. 0,0002 mSv für Kleinkinder, an der Donau bei 0,0005 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

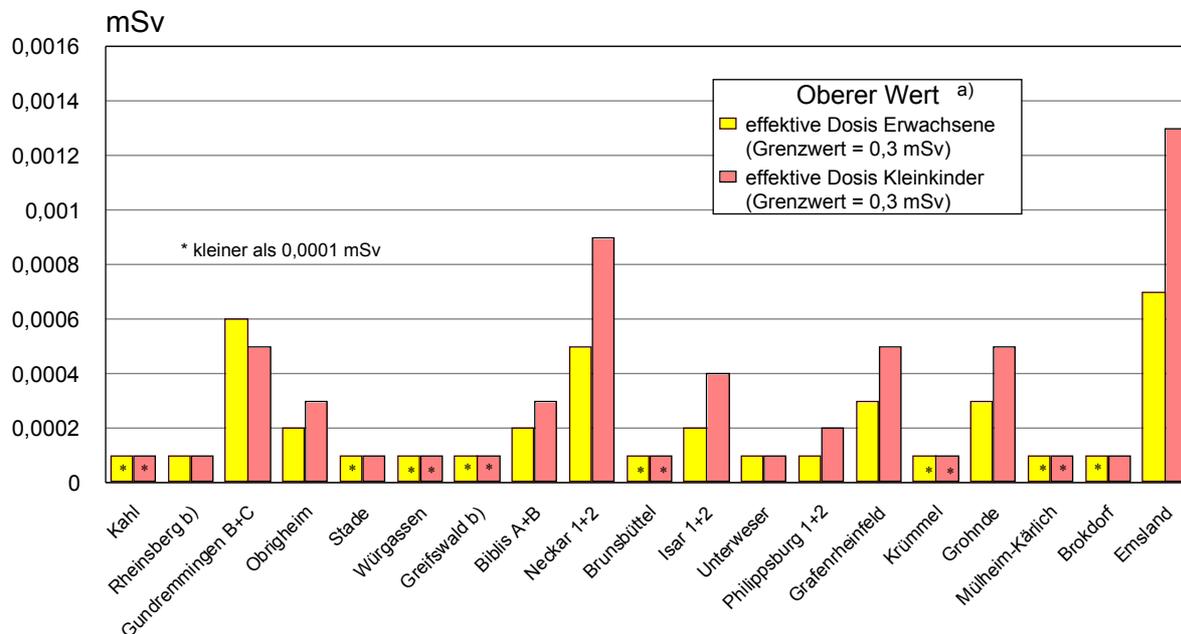
In [Abbildung II.1-9](#) sind Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Garching und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2004 als höchsten Wert 0,005 mSv (rund 2% des Grenzwerts) für Erwachsene und 0,008 mSv (rund 3% des Grenzwerts) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsens dosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (rund 1% des Grenzwerts) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2004 nach Angaben aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte von <0,0001 mSv; 0,022 mSv bzw. 0,001 mSv.

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in [Abbildung II.1-10](#) die für eine

Abbildung II.1-8

Strahlenexposition im Jahr 2004 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.

Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft angegeben.

Beim Betrieb NUKEM ergeben sich 2004 infolge höherer Emissionen, bedingt durch Abrissarbeiten, für eine Referenzperson größere Expositionswerte als im Vorjahr. Sie sind vergleichbar mit denen im Jahr 2002. Die effektive Dosis für Erwachsene beträgt 0,001 mSv (rund 0,3 % des Grenzwerts) bzw. für Kleinkinder 0,003 mSv (1 % des Grenzwerts). Die Knochenoberflächendosis für Kleinkinder errechnet sich zu 0,06 mSv (rund 3 % des Grenzwerts).

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 2004 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 2004 mit der Fortluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0002 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0004 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,0012 mSv; dies sind 0,05 %, 0,1 bzw. 0,4 % des Grenzwerts nach StrlSchV. Die Dosis für das rote Knochenmark (am stärksten belastetes Organ) errechnete sich zu 0,0003 mSv für Erwachsene,

0,0011 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0037 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1 %, 0,4 % bzw. 1,2 % des Grenzwerts). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2004 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.1-11](#) 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 2004.

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

Abbildung II.1-9

Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

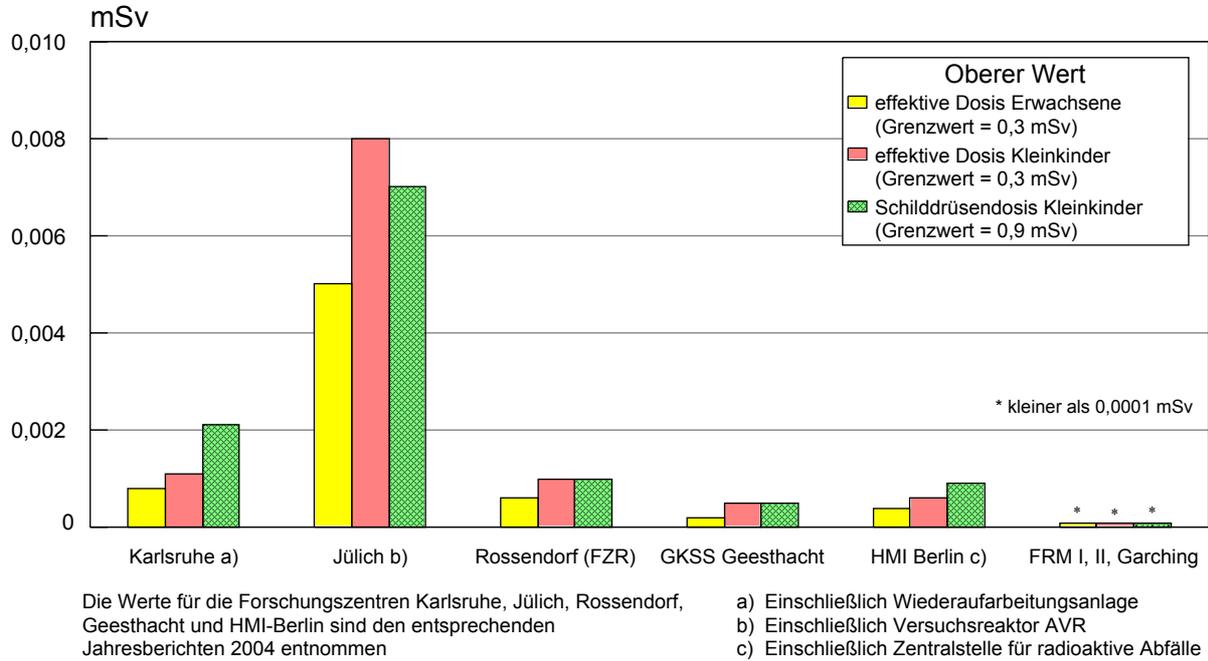


Abbildung II.1-10

Strahlenexposition im Jahr 2004 in der Umgebung von Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

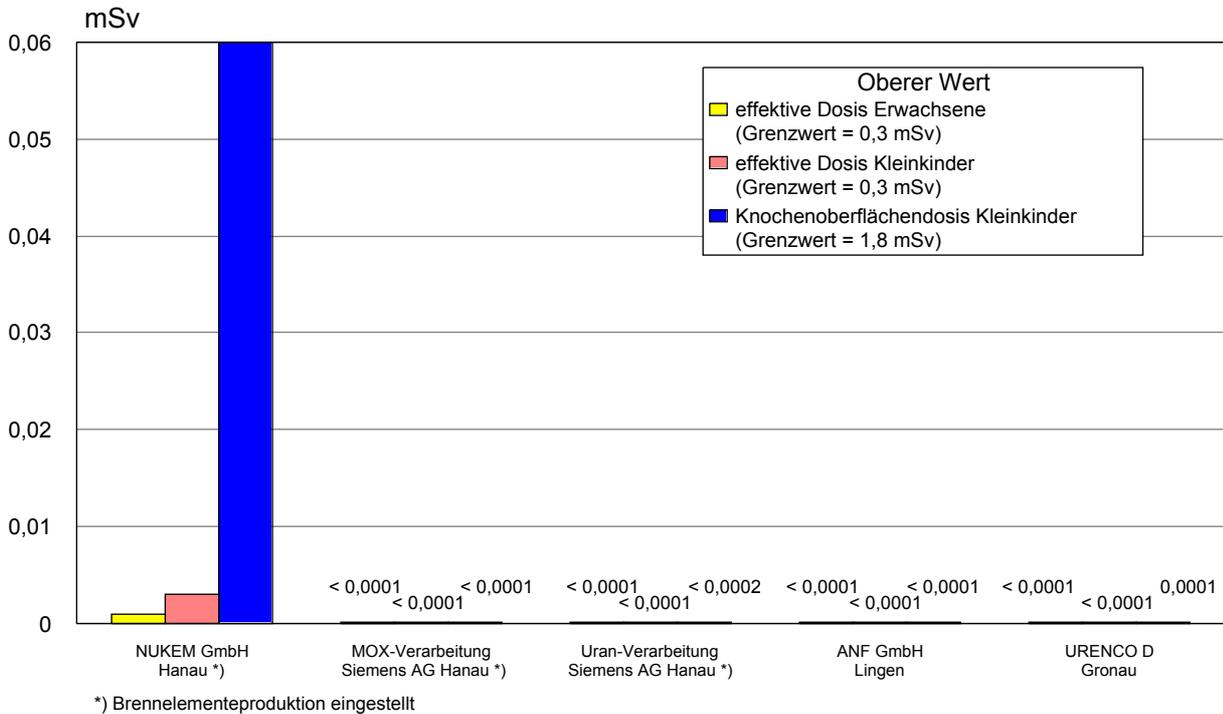
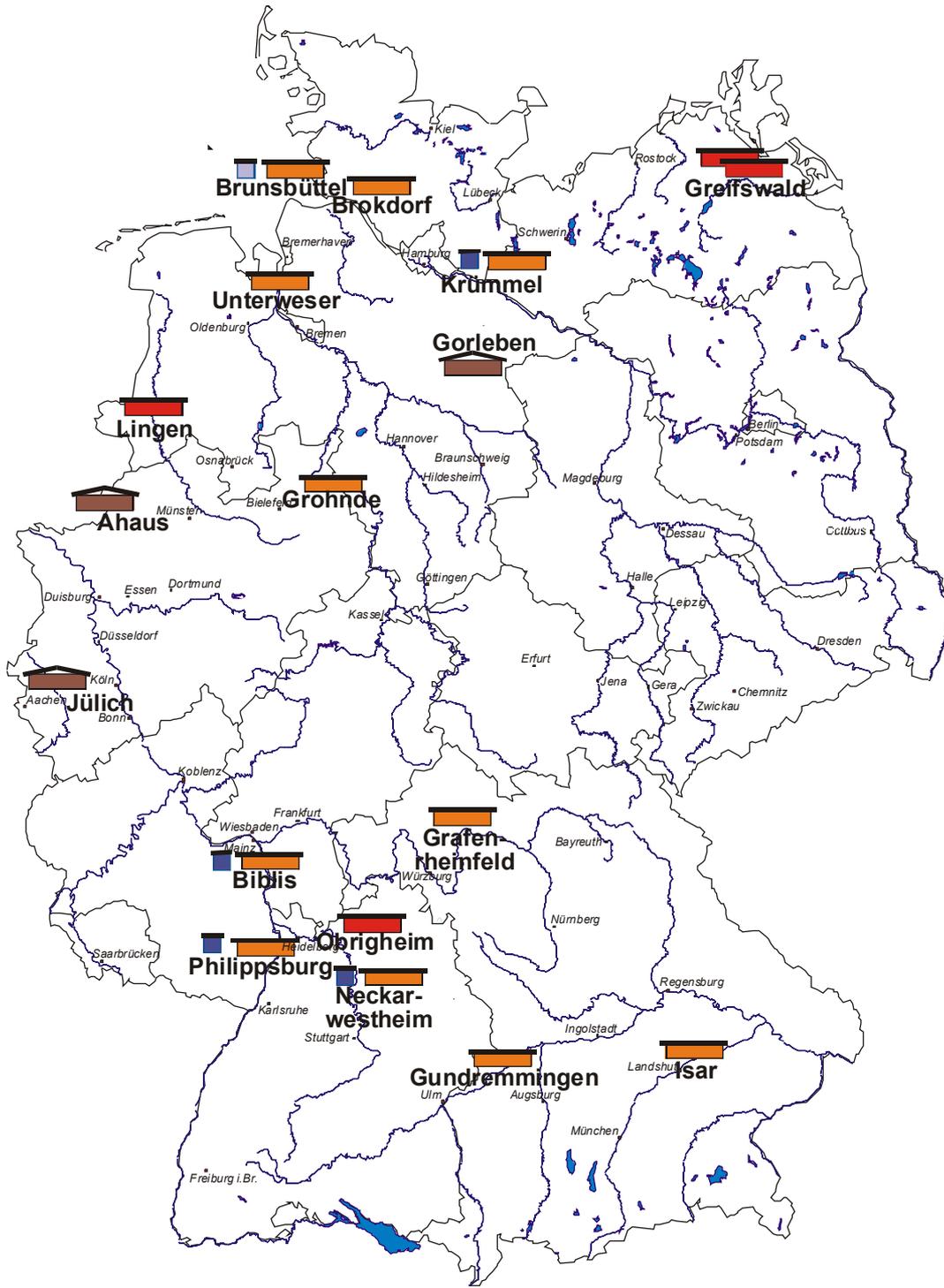


Abbildung II.1-11

Zentrale Zwischenlager, Standort-Zwischenlager und Interimslager in Deutschland im Jahr 2004



 zentrales Zwischenlager

 Standort-Zwischenlager genehmigt

 Standort-Zwischenlager in Betrieb

 Interimslager beantragt

 Interimslager in Betrieb

Tabelle II.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser
aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2004**

	Fortluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	1,4 E+10	1,3 E+04
Kohlenstoff-14	7,3 E+08	-
langlebige Schwebstoffe	9,1 E+05	-
Radonfolgeprodukte	7,0 E+09	-
Nuklidgemisch außer Tritium	-	9,2 E+02

- Bilanzierung nicht erforderlich

erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle II.1-1) führte 2004 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer Referenzperson bis zu 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 0,02 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbaugebieten wurde im Jahr 2004 Jod-131 nicht nachgewiesen.

1.3 Zusammenfassende Bewertung

Aus den für das Jahr 2004 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 um mehr als eine Größenordnung 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 2004 haben die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10 % des jeweiligen Dosisgrenzwerts. 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 2004 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

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

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

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

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Für die Genehmigung dieser Anwendungen ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig.

2.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

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

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z.B. Füllstand-, 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 Industrieerzeugnissen und die RöV den Einsatz von Röntgeneräten, 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.

2.2 Störstrahler

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

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

2.3 Freigaberegulungen

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

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

III. Berufliche Strahlenexposition

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

- Bei Personen, die genehmigungs- und anzeigebedürftigen Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und effektive Dosen von mehr als 1 mSv pro Jahr erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter. Dieser Bereich kann sowohl bezüglich der Anzahl der überwachten Personen als auch aufgrund der seit vier Jahrzehnten praktizierten Überwachung als der traditionelle Bereich der beruflichen Strahlenschutzüberwachung angesehen werden (Abschnitt III.2.1).
- Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z.B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körper-

ausscheidungen durchgeführt (Abschnitt III.2.2).

- Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden 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 (Abschnitt III.1.1).
- Ebenfalls mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurde die Überwachung bei Arbeiten in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen für Personen, die eine jährliche effektive Dosis von 6 mSv überschreiten können, eingeführt. Dies betrifft u.a. die Beschäftigten in Schauhöhlen und Wasserwerken. Einzelheiten sind in § 95 StrlSchV geregelt (Abschnitt III.1.2).

Die Meldungen aus diesen vier Bereichen werden zentral im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz zusammengeführt und dort u.a. auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte personenbezogen ausgewertet. Der Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv.

1. Natürliche Strahlenquellen

1.1 Flugpersonal

Die Strahlenexposition des Flugpersonals (§ 103 StrlSchV) durch kosmische Strahlung wird maßgeblich durch die Flughöhe, Flugdauer, die Aktivität der Sonne und die geomagnetische Breite der Flugroute bestimmt. Die effektive Dosisleistung im Flugzeug beträgt bei einem Langstreckenflug (Reiseroute 50° Nord) bei einer Flughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km im Mittel 0,009 mSv pro Stunde zur Zeit der maximalen kosmischen Strahlenexposition. Bei Annahme einer Aufenthaltszeit in Reiseflughöhe von 875 Stunden pro Jahr ergibt sich eine konservative Schätzung der Jahresdosis von rund 8 mSv (siehe auch: Berichte der Strahlenschutzkommission: Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals, Heft 1, 1995). Da die Strahlenexposition im Bereich der nördlichen Breiten am höchsten ist und zum Äquator hin abnimmt, sind bei Flügen ausschließlich zur Südhalbkugel die Dosiswerte um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Die Betreiber von Flugzeugen ermitteln mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis und geben diese Werte über das Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS weiter. In Deutschland wurden im Jahr 2004 ca. 30.000 Personen überwacht, die Kollektivdosis betrug 57,8 Personen-Sv. Damit ergibt sich eine mittlere Jahresdosis von 1,94 mSv. Das fliegende Personal zählt damit zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland (siehe auch Abschnitt III.2.1). Der höchste Wert der Jahresdosis 2004 betrug 5,7 mSv, es kam also zu keiner Überschreitung des Jahresgrenzwerts von 20 mSv. Dies steht in Einklang mit der

Abbildung III.2-1

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

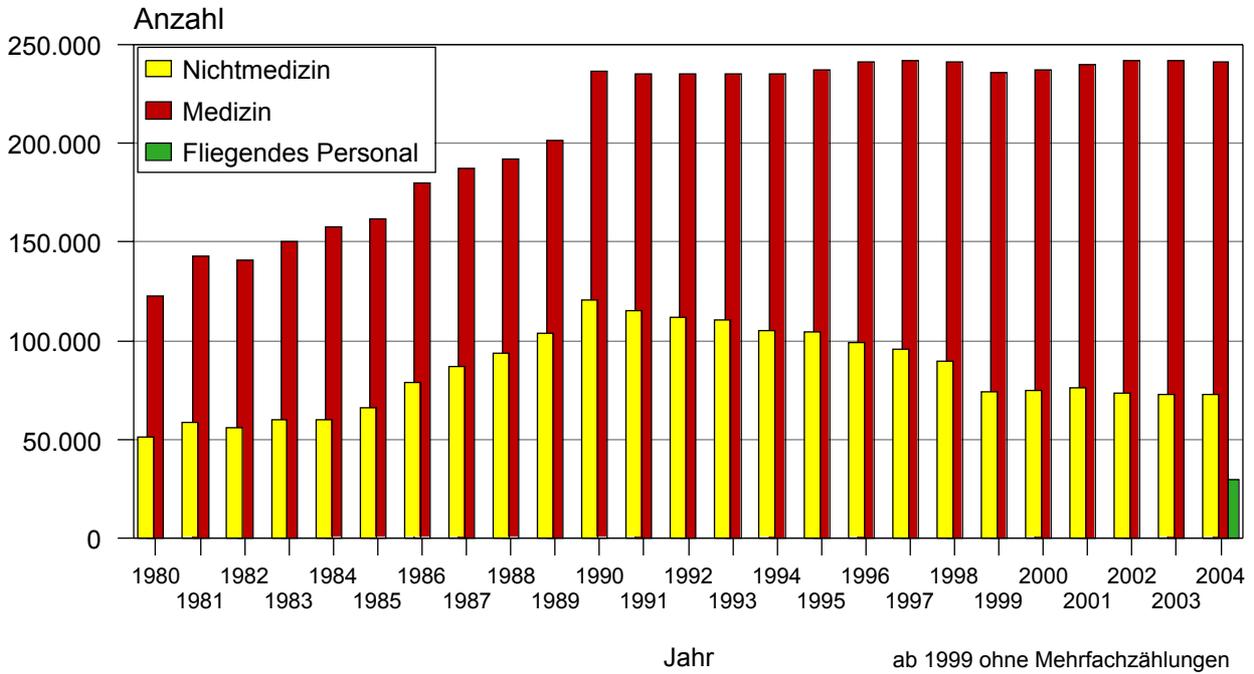


Abbildung III.2-2

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

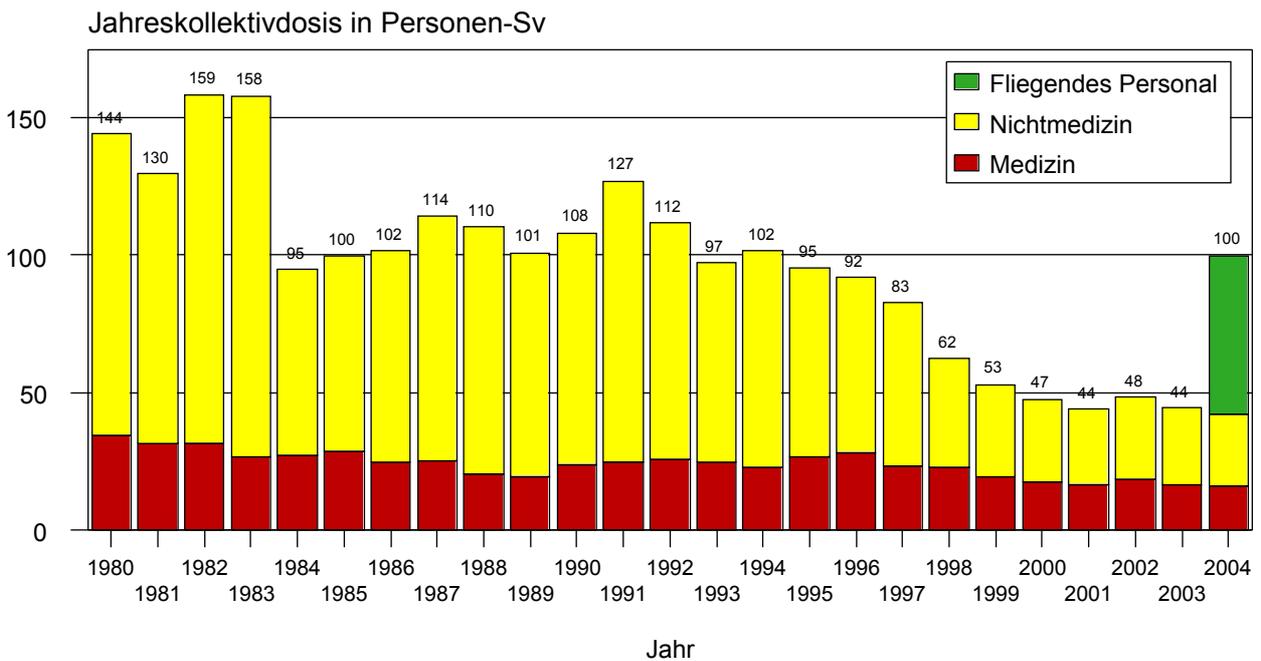


Abbildung III.2-3

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2004

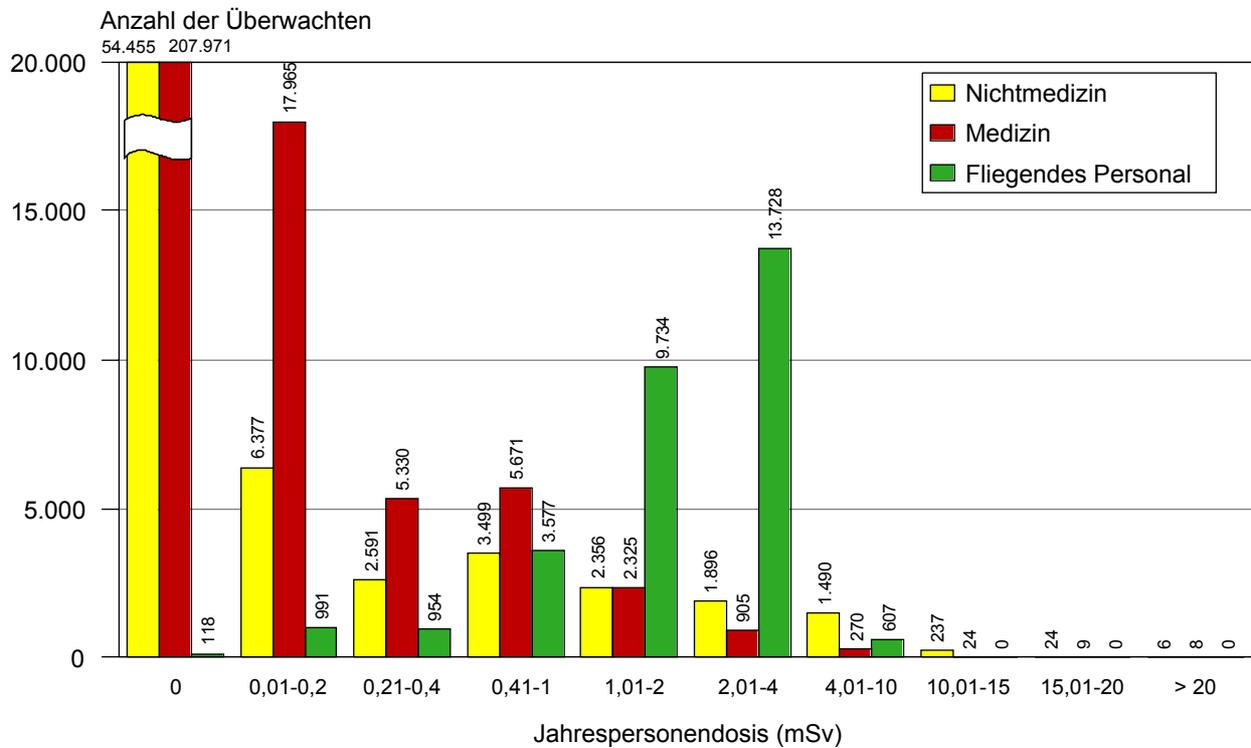
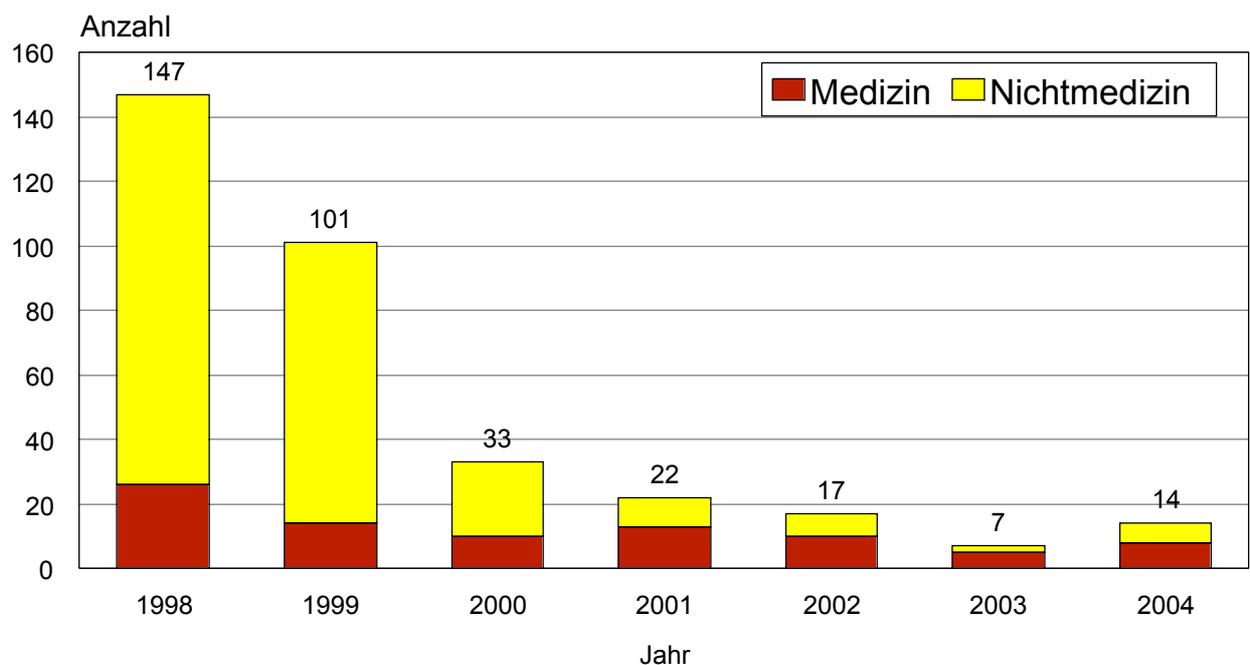


Abbildung III.2-4

Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv



obigen Abschätzung. Ein Vergleich mit dem Vorjahr ist nicht möglich, da die Überwachung des fliegenden Personals termingerecht am 1. August 2003 begann und deshalb für 2003 keine Daten für ein gesamtes Jahr zur Auswertung vorliegen. Die Verteilung der Jahresdosen auf verschiedene Dosisintervalle zeigt [Abbildung III.2-3](#). Eine detaillierte Auswertung für fliegendes Personal wird zurzeit im Strahlenschutzregister durchgeführt.

1.2 Bergbau

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 wurden 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.

Für die Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues (§ 118 StrlSchV) ausführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranerzfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachte Körperdosen ermittelt. Dazu werden Messungen mit personengetragenen Geräten durchgeführt.

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 2004 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition für 744 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen Personen waren ca. 86% in den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH beschäftigt. Die Kollektivdosis betrug 0,5 Personen-Sv, davon wiesen 73 Überwachte eine effektive Jahresdosis von 0 mSv auf. Die mittlere Jahresdosis für alle 744 Überwachten betrug 0,62 mSv.

Im Jahr 2004 gab es keine Überschreitungen des Grenzwerts von 20 mSv. Für 15 Beschäftigte wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt. Die höchste jährliche effektive Dosis wurde mit 12,4 mSv für einen Beschäftigten in einer Schauhöhle ermittelt. Für die 639 Beschäftigten in der Wismut GmbH betrug der Mittelwert der jährlichen effektiven Dosis 0,48 mSv im Jahr 2004, der maximal ermittelte Wert betrug 4,66 mSv.

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 ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl der überwachten Personen betrug im Jahr 2004 insgesamt ca. 313.400, davon im Bereich Medizin ca. 241.000. [Abbildung III.2-1](#) zeigt den Verlauf seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Die Anzahl des fliegenden Personals wurde ebenfalls in diese Abbildung integriert. Bis einschließlich 1998 entspricht der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich waren. Seit dem Überwachungsjahr 1999 werden durch eine personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen vermieden.

Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 2004 betrug 42,0 Personen-Sv. Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die [Abbildung III.2-2](#). Es ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten von 0,13 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, dass bei dem größten Teil aller Überwachten (ca. 84%) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze der verwendeten Dosimeter von 0,05 mSv liegen. In diesen Fällen setzen die Messstellen für die Personendosis den Wert Null fest. Im Bereich Medizin erhalten ca. 86% und in den nichtmedizinischen Bereichen ca. 75% keine messbare Personendosis (siehe [Abbildung III.2-3](#)). Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 51.500 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,82 mSv.

Mit der Absenkung des Jahresgrenzwerts von 50 mSv auf 20 mSv ging auch die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten haben, gegenüber 1998 deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe [Abbildung III.2-4](#)).

Einige 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 zuständige Inkorporationsmessstellen mit der Übermittlung von Daten an das Strahlenschutzregister. Danach wurden von den melden-

Abbildung III.2-5

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

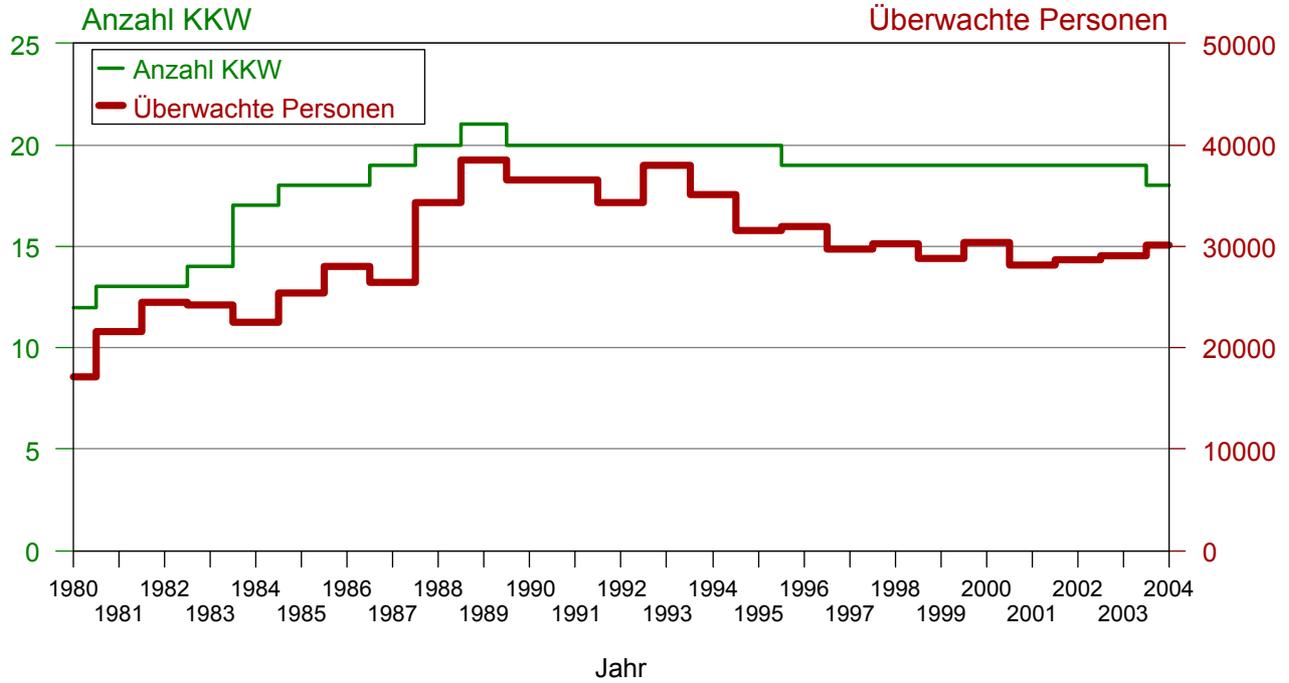
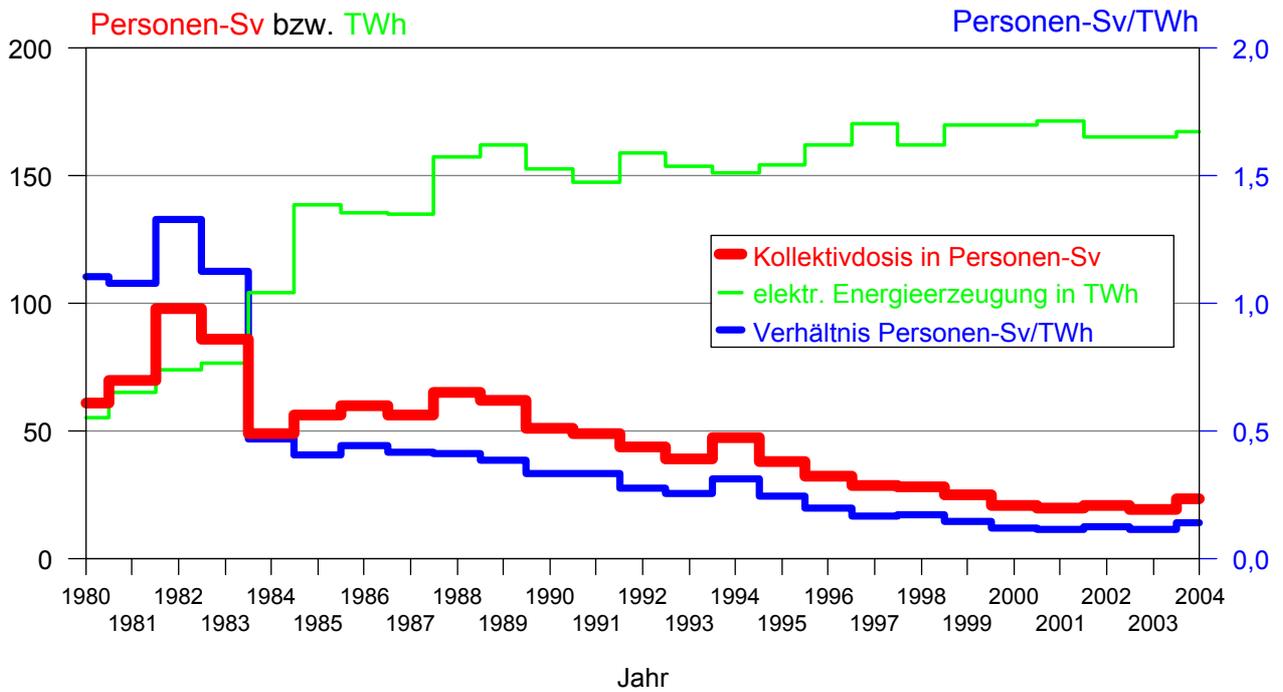


Abbildung III.2-6

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken



den Messstellen 1.284 Personen im Jahr 2004 inkorporationsüberwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,069 Personen-Sv. Die Übermittlung der Inkorporationsmessungen an das Strahlenschutzregister ist allerdings noch nicht vollständig. In [Tabelle III.2-1](#) sind die vorliegenden Ergebnisse zusammengefasst. Überschreitungen von Grenzwerten wurden nicht festgestellt.

Tabelle III.2-1

Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2004

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
H = 0	1050
0 < H ≤ 0,1	144
0,1 < H ≤ 0,2	28
0,2 < H ≤ 1,0	47
1,0 < H ≤ 6,0	13
6,0 < H ≤ 20,0	2
H > 20,0	0
Gesamt	1284

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 2004 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 Röntengeräten

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
08.01.04	Fund eines Strahlers (Am-241, 1,65 GBq) in der Lieferung einer Messeinrichtung bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rückgabe des Strahlers an den Hersteller
08.01.04	Kontamination (P-32, max.3,3 kBq) an der Außenseite eines Versandstücks bei Anlieferung in einem Klinikum	Unbekannt	Keine Exposition und keine Kontamination von Personen	Keine
19.01.04	Fund von radioaktiv kontaminierten CrNi-Metallblöcken (Fe-55; Co-60; Ni-63; Am-241; Eu-152; Eu-154; Cs-137; Nb-95) bei einer Metallhandelsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücklieferung in das Herkunftsland zur ordnungsgemäßen Entsorgung
20.01.04	Fund von zwei mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226) kontaminierten Rohren in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.01.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
27.01.04	Fehlbestrahlung einer Patientin in einer radiologischen Praxis mit einem Elektronenbeschleuniger	Fehlerhafte Bestrahlungsplanung nach mangelhafter Rücksprache bei Teamwechsel, Einsatz von Azubis anstelle von Fachpersonal	Deterministische Strahlenschäden (Hautreaktionen, fibrotische Veränderungen der Lunge), geschätzte zusätzliche Dosis höchstens 90 Gy im Targetbereich	Gewährleistung einer korrekten Informationsübergabe nach Teamwechsel, Kennzeichnung der Isozentren, stichprobenartige Überprüfungen, Erfordernis mindestens einer fachkundigen MTRA bei den Bestrahlungen
27.01.04	Fund von mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226; Ac-228) kontaminierten Rohren im Stahlschrott bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
09.02.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 20 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Hersteller ermittelt, ordnungsgemäße Entsorgung
10.02.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 10 kBq) in einer Schule	Wiederauffinden nach Lagerung (mangelnde Kontrolle)	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.02.04	Verlust eines Schulstrahlenquellensatzes (Kr-85; Cs-137; Co-60; Na-22) in einer Schule	Diebstahl aus einem un abgeschlossenen Bereich	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, selbstständige Rückgabe nach mehreren Wochen, Belehrung und Verwarnung der betroffenen Personen, Entsorgung der Strahler
17.02.04	Inhalation von radioaktivem Gas (Tc-99m, 160 kBq) durch eine medizinisch-technische Assistentin bei der Arbeit mit einem Technetium-Generator	Unkenntnis oder mangelnde Aufklärung	Effektive Folgedosis: ca. 3 µSv; Dosis der Luftwege: ca. 60 µSv	Untersuchungsbericht der Herstellerfirma, zusätzliche Strahlenschutzmaßnahmen (Tragen eines Mundschutzes, Abstandsvergrößerung zum Generator)
27.02.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (Ra-226, 0,7 µSv/h) bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücktransport zum Abfallerzeuger, ordnungsgemäße Entsorgung
März 2004	Verlust von zwei Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 555 kBq) bei Umbauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Nachforschungen erfolglos
03.03.04	Verlust eines Strahlers (Ni-63, 555 MBq) durch Verschrottung eines Gaschromatographen bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Erneute Unterweisung der Mitarbeiter, Änderung der Umgangsvorschriften, Anbringung von Entsorgungshinweisen auf den Geräten

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
22.03.04	Fund eines Radiumtrinkbechers (Ra-226, 135 kBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
07.04.04	Fund eines Radium-Trinkbechers (Radium, < 200 kBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.04.04	Verkleben des Strahlers in einem Afterloadinggerät in einem Klinikum	Verbindungsschlauch zum Applikator abgerissen und verbogen	Handdosis der 2 beteiligten Personen kleiner als 0,26 mSv, Personendosis der 2 beteiligten Personen ca. 0,1 mSv, Patientendosis durch großen Abstand vernachlässigbar	Temporäre Sicherstellung des havarierten Schlauches und Sperrung des Raumes, Reparatur durch Fachfirma
19.04.04	Unerlaubte Ausfuhr von mit Tritium (H-3, 8,2 GBq) markierten Kompassen durch eine Firma	Unzulässige Entsorgung durch Versand in die Schweiz	Keine	Ermahnung und Belehrung des früheren Strahlenschutzbevollmächtigten
07.05.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 74 MBq) in einer Kupferschrottlieferung bei einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.05.04	Fehlbestrahlung einer Patientin mit einem Linearbeschleuniger in einem Krankenhaus	Verwechslung mit einem anderen Patienten	Zusätzliche Patientendosis ca. 2,5 Sv Organdosis Ganzhirnbestrahlung, spätere Linsentrübung möglich	Änderung des Aufbaus der Patientenakte, Verifizierung des Patienten vor der Behandlung
14.05.04	Verlust eines Ionisationsrauchmelders Typ BR7/F7 (Am-241, 29,6 kBq) in einem Wohnheim für psychisch Kranke	Menschliches Versagen	Keine	Erschwerung des Zugriffs auf Ionisationsrauchmelder, Prüfung eines zukünftigen Einsatzes von optoelektronischen Rauchmeldern
03.06.04	Fund von drei Metallzylindern aus abgereichertem Uran (U-238, 19,5 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
03.06.04	Fund eines Detektorbauteils mit einem Strahler (H-3) in einer Kiste im Posteingang einer Bundesbehörde	Unbekannt	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.06.04	Fund eines Strahlers (Ra-226; 6 µSv/h in 10 cm Abstand) im Schrott bei einer Metallverarbeitungs-firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, Unterweisung der Mitarbeiter der Metallverarbeitungs-firma

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
16.06.04	Fund eines mit kontaminierter Flüssigkeit (In-111, 3,8 MBq) gefüllten Behälters eines Klinikums bei einer Entsorgungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, gezielte Unterweisung der Mitarbeiter des Klinikums
24.06.04	Verlust von 106 Ionisationsrauchmeldern Typ 1055 (Am-241, je 2,22 kBq) bei Bauarbeiten in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
24.06.04	Fund eines mit natürlichen radioaktiven Stoffen (Uran, Thorium; 150 µSv/h) kontaminierten Elektrokabels auf öffentlichem Gelände	Unzulässige Entsorgung	Gering	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.06.04	Verlust eines Elektroneneinfang-Detektors mit Strahler (Ni-63) während des Transports	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Polizeiliche Ermittlungen, Erstellung von Arbeitsanweisungen, Schulung der beteiligten Personen
01.07.04	Fund von 120 Ampullen mit leicht radioaktivem Kontrastmittel (Radium; 1 µSv/h) auf öffentlichem Gelände	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
07.07.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 2,6 µSv/h) in einer Lieferung bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Abklingen
14.07.04	Fund von vier Metallbehältern mit radioaktivem Inhalt (Radium, <1 µSv/h) auf einem Privatgrundstück	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, polizeiliche Ermittlungen
19.07.04	Fund von drei Strahlern (Ra-226, je 350 kBq) in einem Container bei einer Schrottverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.04	Fund eines Strahlers (Ra-226, 36 MBq) in einer Messingschrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen; ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.04	Abgabe von zwei Schulstrahlenquellen (Cs-137, Kr-85; 1,1 µSv/h) an eine Polizeidienststelle	Nicht ordnungsgemäße Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
30.07.04	Verlust eines Ionisationsrauchmelders des Typs F712 (Am-241, 29,6 kBq) bei Bauarbeiten in einer Universität	Unzulässige Entsorgung	Keine	Nachforschungen erfolglos
10.08.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131) in einem Container bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.08.04	Fund einer Neutronen-Tiefensonde (Am-241/Be, 3 GBq) beim Deutschen Wetterdienst	Wiederauffinden nach Lagerung (mangelnde Kontrolle)	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 Röntengeräten

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
12.08.04	Fund eines radioaktiven Stoffes (Cs-137, 190 kBq) bei einer Schrottanlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
12.08.04	Exposition einer Person in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Illegaler Aufenthalt einer Person im Laderaum	Keine, Effektive Dosis kleiner als 1 µSv	Keine
21.08.04	Fund eines Messgerätes mit einem Prüfstrahler (Cs-137, 370 kBq) im Schrott bei einer Metallverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
25.08.04	Fund einer radioaktiv verunreinigten Stahlschnalle (Co-60, 13 kBq) an einer Thermoskanne in einem Kernkraftwerk	Unbekannt	Dosisleistung ca. 5 µSv/h an der Oberfläche; keine Kontamination festgestellt	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
28.08.04	Fund eines Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 110 kBq) in einer Privatwohnung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung durch Feuerwehr, ordnungsgemäße Entsorgung
30.08.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 330 kBq) in Holland in einer Metallschrottlieferung aus Deutschland	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sichere Zwischenlagerung, polizeiliche Ermittlungen
30.08.04	Einleitung kontaminierten Wassers (I-131, 4 Bq/l) in die öffentliche Kanalisation in einem Krankenhaus	Kontamination von Hausabwässern durch Spülung des Aktivkohlefilters einer Abluftanlage auf Grund eines fehlerhaften Anschlusses an das Abluftrohr	Keine Gefährdungen der Umwelt	Kennzeichnung der Abluftrohre zur Vermeidung einer erneuten Verwechslung
01.09.04	Fund eines Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 56 MBq) in einer Aluminiumschrottlieferung bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
04.09.04	Weitergabe eines auf einem Flohmarkt angebotenen Radium-Emanationsapparates (Ra-226, 110 kBq) an eine Privatperson	Unkenntnis über die radioaktive Gefährdung des Apparates	Hautdosis des Verkäufers ca. 4 µSv, Gonadendosis des Verkäufers ca. 15 µSv	Käufer und Verbleib des Apparates trotz Ermittlungen der Polizei bislang unbekannt, keine weiteren Maßnahmen gegen den Verkäufer
09.09.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Co-60) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
15.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 16 µSv/h) in einem Container bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (I-131, 2 µSv/h) in einem Container bei der Stadtreinigung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, 2,6 µSv/h) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
16.09.04	Fund von natürlichen radioaktiven Stoffen (Ra-226, 350 µSv/h an Sackoberfläche) in einer Malachit-Lieferung	Verstoß gegen Transportvorschriften	Keine	Sichere Zwischenlagerung, Organisation eines gefahrtrechtlich ordnungsgemäßen Weitertransports
23.09.04	Verkleben eines Strahlers (Co-60, 111 MBq) in der Halterung eines Füllstandsmessgerätes	Eingefallenes Material in der Halterung	Keine	Ausbau des Strahlers und ordnungsgemäße Entsorgung durch eine Fachfirma
24.09.04	Verlust eines Strahlers (Co-60, 7,4 MBq) einer Füllstandsmessanlage in einer Firma	Unterlassene Kontrolle des Strahlerbestandes	Geringe Exposition möglich bei Missbrauch des Strahlers	Verbleib des Strahlers bislang ungeklärt, Überprüfung der Einleitung eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens
25.09.04	Fund eines Schulstrahlenquellensatzes (Cs-137, 185 kBq; Kr-85, 185 kBq) an einem öffentlichen Platz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung, Feststellung des Besitzers, Einleitung eines Strafverfahrens
28.09.04	Fund eines mit Leuchtfarbe (Ra-226, 20 µSv/h) bemalten Zifferblattes in einer Messingschrottlieferung bei einer Metallhandels-gesellschaft	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131) auf einem LKW bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.04	Fund von zwei Dichtemessgeräten mit Strahlern (Cs-137, 185 MBq; K-40, 160 kBq) im Metallschrott einer Schiffsladung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.10.04	Verkleben eines Strahlers (Ir-192, 2,3 TBq) in einem Radiographie-Gerät bei Durchstrahlungsprüfungen in einer Firma	Mechanischer Defekt	Effektive Dosis von zwei beruflich strahlenexponierten Personen < 1 mSv	Bergung und sichere Lagerung des Strahlers
23.10.04	Verlust von vier Ionisationsrauchmeldern des Typs F7 (Am-241, je 29,6 kBq) bei Umbauarbeiten in einem Einkaufszentrum	Versehentliche Entsorgung in einer Verbrennungsanlage	Keine	Keine
27.10.04	Fund eines Strahlers (Cs-137, 333 kBq) in einer Berufsschule	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

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

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
11.11.04	Fund von aktiviertem Bandstahl (Ir-192) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Polizeiliche Ermittlungen und ordnungsgemäße Entsorgung
24.11.04	Fund von 25 Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 37 kBq) auf einem öffentlichen Parkplatz	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, polizeiliche Ermittlungen
26.11.04	Fund von 16 Schulstrahlenquellen (Co-60, 18 kBq; Kr-85, 200 kBq; Na-22, 180 Bq; Po-210, abgeklungen) in einem Schrottcontainer bei einem Metallhandelsunternehmen	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
14.12.04	Fund einer mit Leuchtfarbe (bis 1000 Bq/cm ²) versehenen Skala in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.12.04	Exposition von zwei ausländischen Fahrern in einer LKW-Röntgenkontrollanlage bei einer Zollbehörde	Verständigungsprobleme zwischen Personal und Fahrzeugbesatzung	Gering, effektive Dosis kleiner als 1 µSv	Veränderung der Arbeitsabläufe
29.12.04	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131; 5 µSv/h an der Containeroberfläche) bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung, 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 hinsichtlich der Indikationsstellung als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach den Vorschriften der StrlSchV und der RöV muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte Strahlenexposition soweit zu reduzieren, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe der gewünschte medizinische Effekt nicht ebenso erzielt werden kann.

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 fachkundiger Arzt vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung, in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. 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 wünschenswert wäre. Daher wird gegenwärtig von der Strahlenschutzkommission gemeinsam mit den medizinischen Fachgesellschaften ein Katalog von Überweisungskriterien zur Durchführung bildgebender Verfahren erarbeitet. Darüber hinaus soll zukünftig nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS) erfolgen. 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 90er 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.

Die derzeit aktuellste Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2002. Im Vorfeld dieser Analyse wurde ein standardisiertes Verfahren entwickelt, 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. Auf Basis des nun entwickelten Konzepts soll die Evaluierung der medizinischen Strahlenexposition auch in Zukunft erfolgen.

Wie die bisherigen Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen basiert auch die aktuelle Evaluierung auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS eingestellt.

Für die vorliegende Auswertung wurden aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis im Berichtszeitraum 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.

Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996-2002

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 (Kontrastmittelinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Die Werte für die Häufigkeit in Deutschland sind während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2002 mit etwa 1,8 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr relativ konstant geblieben (siehe [Abbildung IV.1-1](#)). Auch die Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsverfahren variiert zumeist wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht. Neben den zahnmedizinischen Untersuchungen entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d.h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (vergl. auch [Abbildung IV.1-3](#)).

Abbildung IV.1-1

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

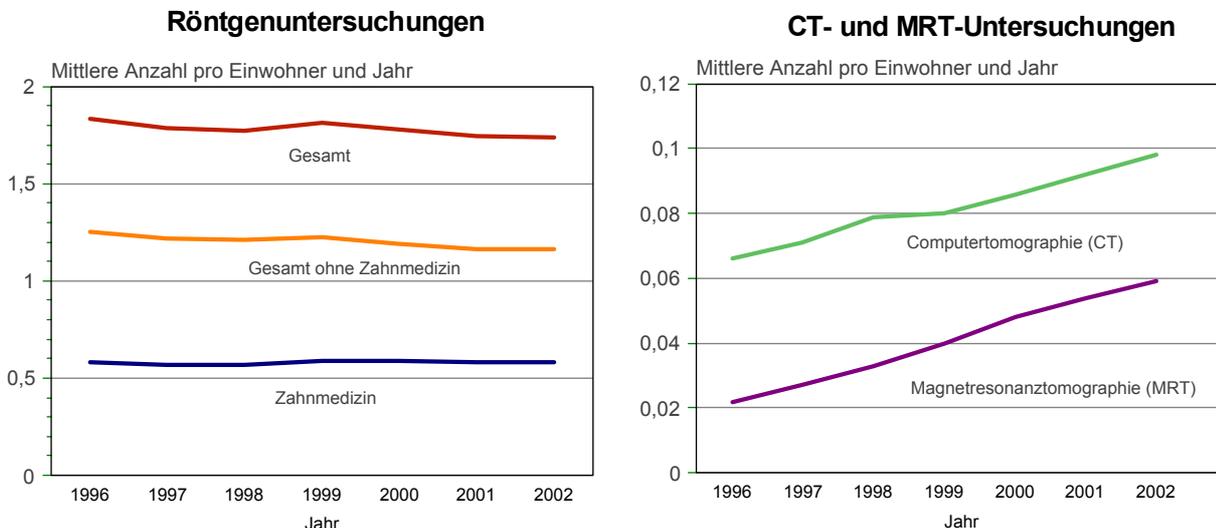
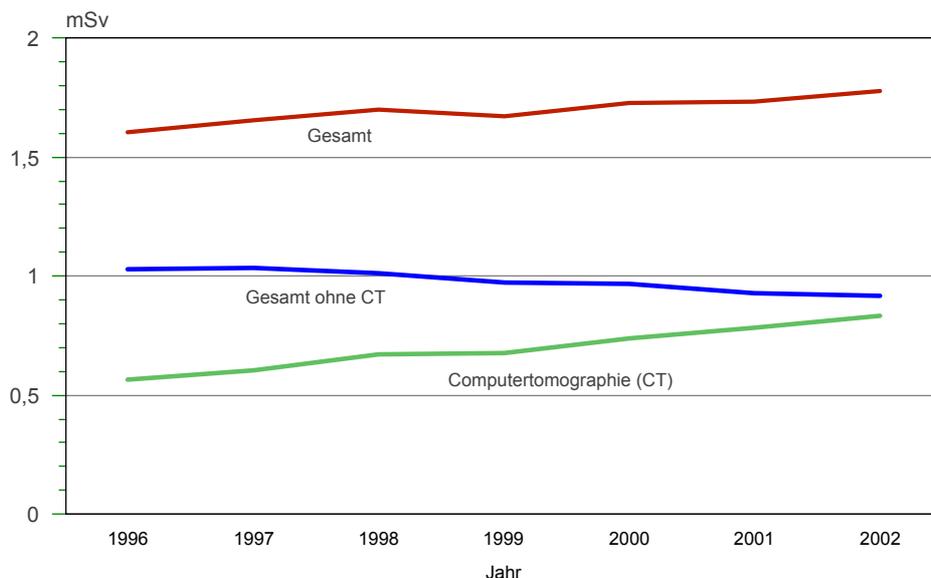


Abbildung IV.1-2

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



In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der Computertomographie-(CT)Untersuchungen – insgesamt um nahezu 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 ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie MRT (siehe [Abbildung IV.1-1](#)).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen im Bauchraum einschließlich

des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts abgenommen.

In [Tabelle VI.1-1](#) sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, sowie auf Literaturangaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur **Röntgenaufnahmen** angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil

des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine **Röntgendurchleuchtung** notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden.

Die **Computertomographie**, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer re-

lativ 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 klinisch induzierten CT-Untersuchung ein daraus resultierendes Risiko für den Patienten in den Hintergrund tritt.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungs-dosis für die verschiedenen Untersuchungsarten – wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – ermittelt. Über den gesamten Zeitraum 1996 bis 2002 wurde dabei jeweils pro Untersuchung eine konstante Dosis angenommen.

Die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland stieg kontinuierlich von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2002 – um ca. 11 % über den Beobachtungszeitraum – an (siehe [Abbildung IV.1-2](#)).

Tabelle IV.1

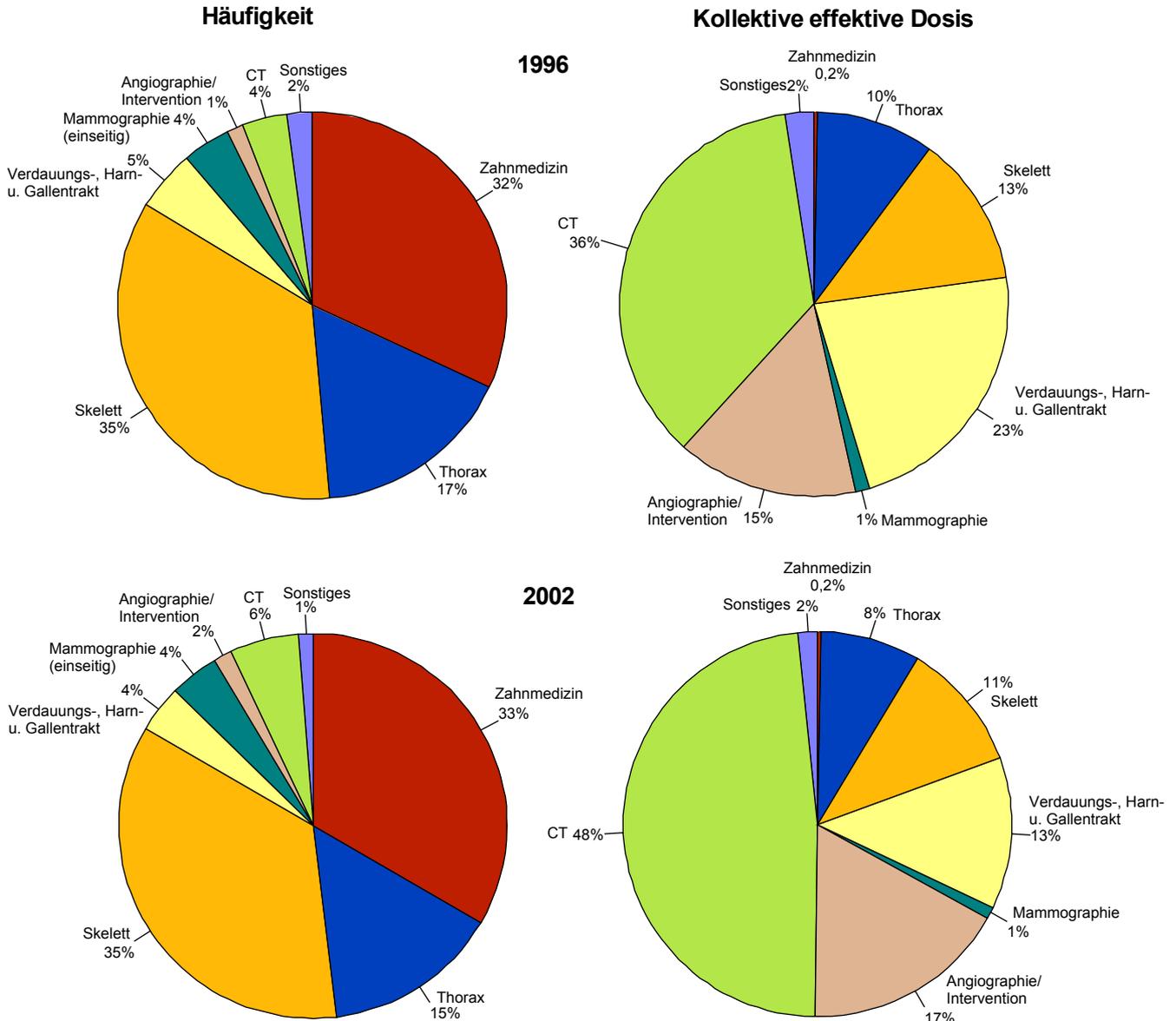
**Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten
70 ± 5 kg Körpergewicht**

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 – 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,08
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 – 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 – 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 – 1,8
Beckenübersicht	0,5 – 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 – 1,1
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 die Jahre 1996 und 2002



Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bietet aber gerade diese Technik – wie oben bereits dargestellt – einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patienten. Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten – tendenziell sogar leicht 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 2002 jedoch mehr als zwei Drittel (siehe [Abbildung IV.1-3](#)).

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. ei-

ner 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 erweitert hat.

Für die Beurteilung der Strahlenexposition von Patienten durch die nuklearmedizinische Diagnostik wurde die Häufigkeit von Radionuklidapplikationen in den Jahren 1996-2002 und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland ermittelt.

In den Jahren 1996 bis 2002 wurden in Deutschland im Mittel ca. 3,8 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Eine systematische Veränderung der Untersuchungshäufigkeit konnte in dem betrachteten Zeitraum nicht festgestellt werden. Am häufigsten wur-

den Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung IV.2-1).

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 10.200 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,12 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenszintigraphie (Abbildung IV.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzsintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von 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.

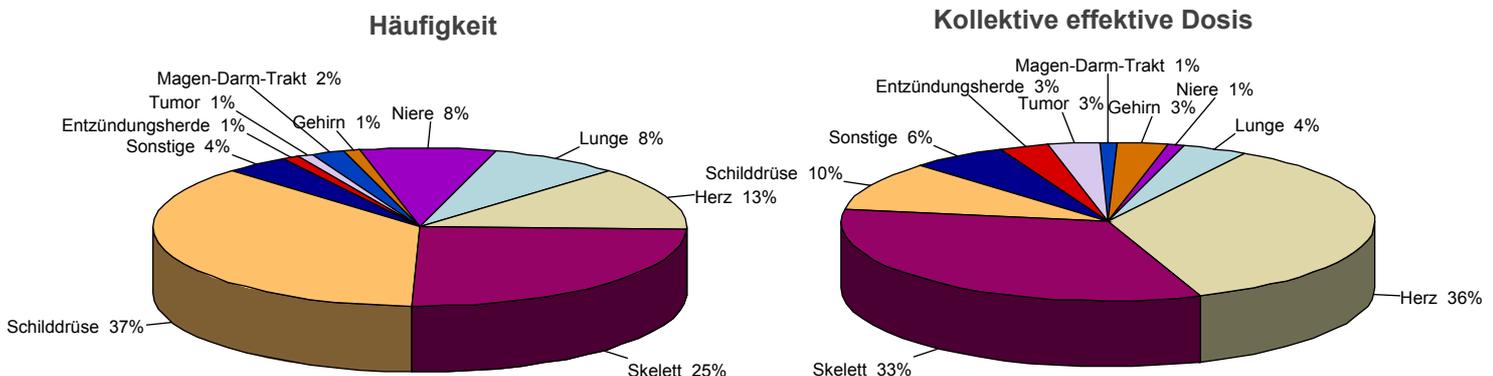
Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,8 mSv pro Person im Jahr 2002) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen Diagnostik relativ gering. Trotzdem sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung 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

Abbildung IV.2-1

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland (1996-2002)



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. Derzeit werden in Deutschland 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 neuen 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 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. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid Jod-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z.B. Tumorzellen vernichtet. Jährlich werden in Deutschland etwa 60.000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung spezieller Gelenkserkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Krebszellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören.

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

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 aufgrund 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 Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den teilnehmenden Ländern zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln.

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 Untersuchung dieser Fragestellung, für die derzeit keine belastbaren Aussagen möglich sind, wurde vom BfS initiiert. Es liegen derzeit allerdings noch keine Ergebnisse vor.

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 2004 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. 63 % der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr.

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

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq 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 Berichtsjahr wurden im Rahmen eines BMU-Forschungsvorhabens 92 Wildschweine und 89 Rehe aus dem Bayerischen Wald analysiert (Abbildung V.1-1 und V.1-2). Das Untersuchungsgebiet zählt zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands.

Die Messungen ergaben bei Wildschweinen spezifische Aktivitäten zwischen 80 Bq/kg und 40.000 Bq/kg für Cäsium-137 in Muskelfleisch. Der Mittelwert lag bei 6700 Bq/kg. Die Messwerte für Rehe lagen zwischen 2 Bq/kg und 2.100 Bq/kg (Mittelwert 660 Bq/kg). Während bei Rehen eine hochsignifikante Abnahme der Cäsium-137-Kontamination seit 1987 zu verzeichnen ist, ist die Kontamination von Wildschweinfleisch bei hoher Streuung der Einzelwerte gleich geblieben.

Cäsium-137 wird von Schwarzwild über das Futter aufgenommen. Eine besondere Rolle spielen dabei Hirschtrüffel, die sehr viel höher belastet sind als Speisepilze, und die von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große, geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cäsium-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv.

Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt.

2. Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl von oberirdischen Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Jahr 2004 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 40 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-Messwerte von Wildschweinen
(Untersuchungsgebiet Bayer. Wald, 1987–2004)**

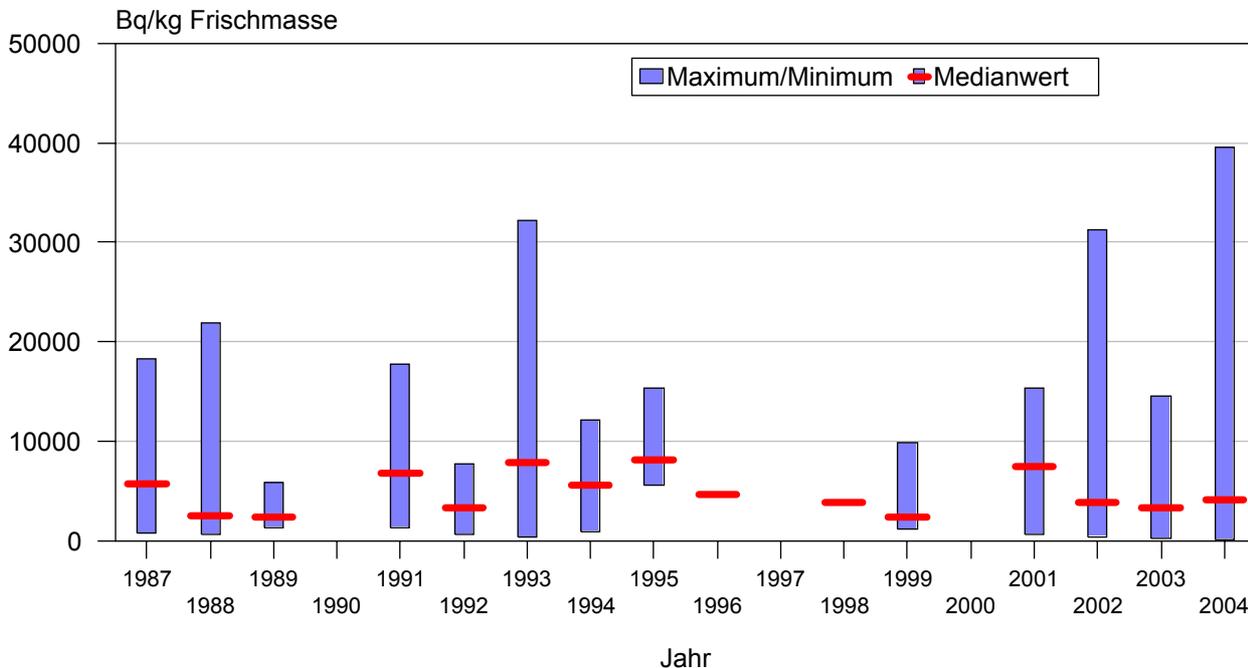
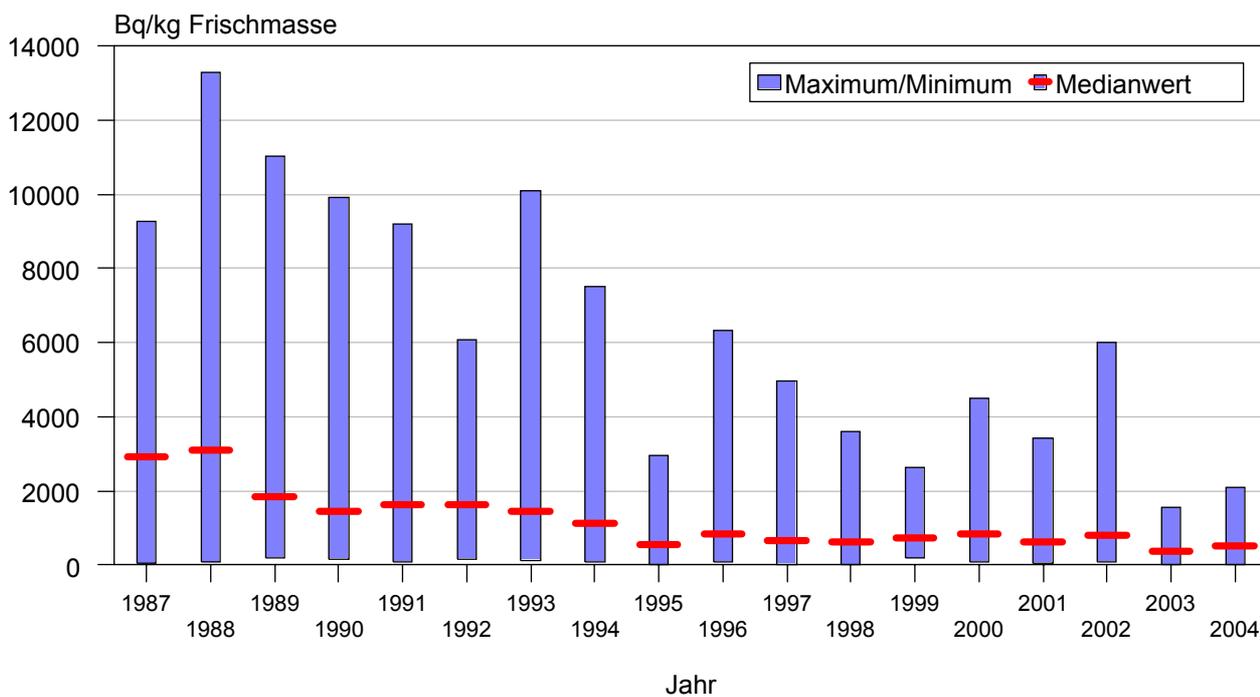


Abbildung V.1-2

**Cs-137-Messwerte von Rehen
(Untersuchungsgebiet Bayer. Wald, 1987–2004)**



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, deren Mechanismen, deren gesundheitliche Relevanz und in vielen Fällen auch deren wissenschaftliche Validität trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte nicht geklärt sind. Das Bundesamt für Strahlenschutz verfolgt und bewertet nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen internationalen und nationalen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Journalen. Die Gesamtheit der Forschungsergebnisse liefert die Grundlage für eine ganzheitliche Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Die bislang sowohl national als auch international durchgeführten Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder durch Strahlenschutzgremien haben gezeigt, dass eine gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung 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

Im Jahr 2001 wurde eine im Auftrag des BMU vergebene epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von $> 0,4 \mu\text{T}$ bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte. Um einen Nachweis für ein mögliches Ursachen-Wirkungsprinzip zu führen, wurde 2002 durch das BfS im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFO-Plan) ein Forschungsprojekt mit dem Thema „Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR - Mäusen durch niederfrequente Magnetfelder“ vergeben. Die AKR - Mäuse wurden lebenslang mit Magnetfeldern unterschiedlicher Flussdichte (1, 100 und $1000 \mu\text{T}$) befedet. Das inzwischen abgeschlossene Projekt konnte keinen Feldeinfluss auf die Überlebensrate, das Körpergewicht, sowie auf hämatologische und histologische Parameter feststellen.

Ein Forschungsprojekt aus dem Bereich niederfrequente Magnetfelder zur „Verifizierung des veränderten Wachstumsverhaltens von verschiedenen Brustkrebszelltypen in vitro unter Magnetfeldeinfluss mit verschiedenen Onkostatika“, beschäftigte sich mit der Hypothese, dass nieder-

frequente Magnetfelder mit Intensitäten, die weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen, den Verlauf einer Brustkrebserkrankung negativ beeinflussen könnten. Als Wirkungsmechanismus wird die Hemmung der onkostatischen Wirkung von Melatonin (einem Hormon, das tageszeitabhängig von der Pinealdrüse produziert wird) bzw. des Brustkrebsmedikaments Tamoxifen durch niederfrequente Magnetfelder diskutiert. Die Untersuchungen wurden an Brustkrebszelllinien und an primären Brustkrebszellen durchgeführt. Das Vorhaben ist abgeschlossen.

Die wichtigsten Ergebnisse des Vorhabens waren: Melatonin bewirkte bei verschiedenen Zelllinien eine – wenn auch nicht sehr ausgeprägte - Reduzierung der Zellteilungsaktivität. Wurden die Untersuchungen bei Magnetfeldern von $1,2 \mu\text{T}$, $10 \mu\text{T}$ oder $100 \mu\text{T}$ Flussdichte durchgeführt, wurde die Wirkung des Melatonins abgeschwächt. In ähnlicher Weise wurde die hemmende Wirkung des Tamoxifens, am deutlichsten bei $1,2 \mu\text{T}$, abgeschwächt. Zwischen den verschiedenen Zelllinien wurden erhebliche Empfindlichkeitsunterschiede gegenüber Melatonin, Tamoxifen und einer Magnetfeldexposition beobachtet.

Die Ergebnisse dieses Vorhabens werden zur Zeit in einem weiteren Vorhaben mit dem Titel „Untersuchung des Wirkungsmechanismus für die Veränderung des Wachstums von Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Onkostatika und niederfrequenten Magnetfeldern“ vertieft. In diesem Vorhaben soll der zu Grunde liegende Wirkungsmechanismus, der zu der Veränderung der onkostatischen Wirkung von Melatonin und Tamoxifen durch niederfrequente Magnetfelder führt, näher aufgeklärt werden. Zu diesem Zweck sollen die Veränderungen der Genexpression und der Signaltransduktion in Brustkrebszellen untersucht werden, die mit kontrollierten, definierten niederfrequenten Magnetfeldern exponiert wurden. Weiterhin soll untersucht werden, ob auch die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente durch niederfrequente Magnetfelder beeinträchtigt wird. Eine Studie mit dem Titel „Machbarkeitsstudie – Verifizierung der Beschwerden 'Elektrosensibler' vor und nach einer Sanierung“ beschäftigte sich mit dem Phänomen der Elektrosensibilität. Sie ist mittlerweile abgeschlossen. Der Abschlussbericht ist auf der Homepage des Bundesumweltministeriums (www.bmu.de/strahlenschutz/doc/5942.php) veröffentlicht.

Es zeigte sich, dass die Beschwerden, die von den Betroffenen auf elektromagnetische 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 neuen 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 2004 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/elektro/hff/grenzwerte.html). Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört neben der Sicherstellung einer möglichst geringen Exposition u.a. auch die Intensivierung und Koordinierung der Forschung. Das BfS initiiert und koordiniert im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von Mobilfunkfeldern nachzugehen. Weitere Forschungsvorhaben, die die technische Weiterentwicklung und eine als Vorsorgemaßnahme gebotene Minimierung der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunkfelder zum Gegenstand haben, werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) vergeben.

BMU

Um die wichtigsten Forschungsschwerpunkte zur Thematik „Wirkung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ zu identifizieren und zu diskutieren, wurde das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) ausgearbeitet, das im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans des Bundesumweltministeriums durch das BfS umgesetzt und koordiniert wird. 2001 haben sich die Mobilfunkbetreiber im Rahmen der „Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Verbraucher-, Umwelt-, und Gesundheitsschutz, Information und vertrauensbildende Maßnahmen beim Ausbau der Mobilfunknetze“ verpflichtet, die Forschungsförderung auf dem Gebiet elektromagnetischer Felder zu intensivieren. Sie haben jeweils anteilig für den Zeitraum 2002 bis 2005 insgesamt 8,5 Mio. Euro zur Verfügung gestellt. Mit diesen Mitteln wird das Forschungsprogramm des Bundesumweltministeriums unterstützt, das im betreffenden Zeitraum mit den gleichen Mittelvolumen ausgestattet ist. Die hierzu in 2003 vom BfS ausgearbeiteten Vorschläge wurden der SSK zur Stellungnahme vorgelegt, und erstmalig die Öffentlichkeit in die Entscheidung über weitere Forschungsvorhaben mit einbezogen. Alle substanziellen Kommentare, die

zum Gesamtprogramm, seinen Inhalten, Prioritäten und evtl. erforderlichen Modifikationen und Ergänzungen abgegeben wurden, sind auf den Web-Seiten des DMF unter www.emf-forschungsprogramm.de/oeffentlichkeit publiziert.

Im September 2003 fand das 2. Fachgespräch mit dem Thema „Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks“ im Rathaus Berlin Schöneberg statt. Es diente der Vorstellung der neu formulierten Projektvorschläge, sowie der abschließenden fachlichen Diskussion des DMF und seiner Inhalte. An dem Fachgespräch nahmen Vertreter aus Staat, Wissenschaft, Wirtschaft sowie Umwelt- und Verbraucherverbänden teil. Die Auswertung aller Komponenten der Entscheidungsfindung führte zur Festlegung des Gesamtprogramms, das auf den Internetseiten des DMF unter www.emf-forschungsprogramm.de/Gesamtliste_Forschungsprojekte.pdf einzusehen ist.

Seit 2002 bis voraussichtlich 2006 werden zum Thema „Mobilfunk“ ca. 50 Forschungsvorhaben aus den Bereichen „Biologie“, „Dosimetrie“, „Epidemiologie“ und „Risikokommunikation“ durchgeführt. Dabei sind die Themen bewusst breit gefasst und gehen z.T. über die derzeit genutzten Mobilfunkfrequenzen hinaus. Ziel ist es, grundsätzliche biologische Wirkungen und Mechanismen von schwachen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wissenschaftlich belastbar nachzuweisen und deren gesundheitliche Relevanz unter Einbeziehung internationaler Forschungsergebnisse abzuschätzen. Es wird angestrebt, dass die Ergebnisse Aussagen für den gesamten Bereich der Telekommunikation und möglichst auch für zukünftige Entwicklungen zulassen.

Um das DMF transparent für die Öffentlichkeit darzustellen, sind die Forschungsprojekte des DMF ins Internet eingestellt worden. Unter www.emf-forschungsprogramm.de findet man eine Beschreibung des Gesamtprogramms, eine Übersicht über vergebene, in Vorbereitung befindliche bzw. geplante Forschungsvorhaben im Rahmen des DMF unter Angabe des Themas, der Laufzeit und einer Kurzbeschreibung, die zeitnah eingestellten Zwischen- bzw. Abschlussberichte der einzelnen Forschungsprojekte und bei abgeschlossenen Forschungsprojekten eine Bewertung des BfS. Unter der Rubrik „Internationale Forschung“ sind zu den Themen im Bereich „Wirkungen auf Mensch und Tier“ sowie zu den „Gesellschaftlichen Aspekten“ Zusammenfassungen und Bewertungen der internationalen Forschung durch das BfS eingestellt. Um sich grundlegend über das Thema Mobilfunk informieren zu können, sind Web-Adressen weiterer mit dieser Thematik beschäftigten Institutionen aufgelistet.

BMBF

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat bis März 2003 unter dem Akronym miniWatt das Vorhaben „Alternative Funksysteme mit minimaler Strahlungsleistungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk und drahtlosen LANs“ durchgeführt. Dieses Projekt hatte zum Ziel, umfassende Untersuchungen bezüglich des Potenzials zur Senkung der Exposition durch neue Technologien beim Mobilfunk, in der Bürokommu-

nikation und beim digitalen Rundfunk durchzuführen. Eine Hauptaussage, die aus den Ergebnissen gezogen werden konnte ist, dass in Zukunft auch bei wachsender Bedeutung der mobilen Kommunikation die elektromagnetische Exposition der Bevölkerung im Mittel auf dem heutigen Niveau gehalten werden kann. Die im Abschlussbericht aufgeführten Emissionsdaten stellen eine grobe Abschätzung der realen Werte dar. Es fehlen allerdings eine Berechnung der Summen-Sendeleistungsdichten und der Nahfeld-Spitzenfeldstärken im Bereich des Kopfes beim Handytelefonat und Konzepte zur Aussparung von Mobilfunk- und ggf. Rundfunkversorgung in bestimmten Bereichen. Deshalb ist zur Erweiterung und Absicherung der bisherigen Ergebnisse für das Jahr 2005 ein Vorhaben miniWatt II geplant.

Die Forschungsempfehlungen von miniWatt werden bei den Fördervorhaben „Systemkonzept 3GET“ und „Systemkonzept WIGWAM“ umgesetzt. Bei einer Gesamtfördersumme für 3GET und WIGWAM von rund 20 Mio. Euro beziffert sich der finanzielle Beitrag des BMBF zur Erforschung expositions-mindernder Funktechniken in den Jahren 2002 bis 2005 auf ca. 7 Mio. Euro. Die Förderungen in Bezug auf immissionsmindernde Technologien sind in [Tabelle VI.1-1](#) aufgeführt.

Tabelle VI.1-1

BMWA

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

Unter www.mobilfunk-information.de kann sich die Öffentlichkeit über Effekte der elektromagnetischen Verträglichkeit in Mobilfunkfeldern informieren.

Eine Gesamtaufstellung der Forschungsprojekte der Bundesregierung im Bereich Mobilfunk und die dazugehörigen Erläuterungen können der Bundesdrucksache 15/4604, „Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen“ entnommen werden. Die folgende [Tabelle VI.1-1](#) gibt einen Überblick über die Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk.

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

Vorhaben des BMU
Biologische Wirkungen
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. A. Demodulation / Kommunikation
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. B. Pinealdrüse
Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie. C. Funktionen
Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder
<i>in vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. A. Langzeituntersuchungen
<i>in vivo</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. B. Kanzerogenese
<i>in vitro</i> -Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunkkommunikation. C. Blut-Hirn-Schranke
Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen
Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Untersuchung der altersabhängigen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter
Kurz- und mittelfristige Effekte durch GSM- und UMTS- Signale auf Gehirnfunktion und kognitive Leistungsfähigkeit
Einfluss der Mobilfunkfelder auf die Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke von Labornagern (in vivo)
Einfluss von GSM und UMTS-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. A. Genotoxizität
Einfluss von GSM und UMTS-Signalen auf isoliertes menschliches Blut. B. Differenzielle Genexpression

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. A. Das Hörsystem
Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder der Mobilfunkkommunikation auf Sinnesorgane. B. Das visuelle System
Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation – Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen
Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z. B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien
Untersuchung des Phänomens Elektrosensibilität mittels einer epidemiologischen Studie an elektrosensiblen Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter
Langzeitstudie an Labormagern mit UMTS-Signalen
Wirkungsmechanismen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf molekularer, subzellulärer und zellulärer Ebene
Brustkrebs und HF-EMF
<i>Erfassung der Exposition</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 Mobilfunk Basisstationen
Bestimmung der Exposition der Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“ untersucht werden
Bestimmung der Exposition bei Verwendung kabelloser Übermittlungsverfahren im Haushalt und Büro
Bestimmung der Expositionsverteilung von HF Feldern im menschlichen Körper, unter Berücksichtigung kleiner Strukturen und thermophysologisch relevanter Parameter
Bestimmung der spezifischen Absorptionsrate (SAR-Werte), die während der alltäglichen Nutzung von Handys auftritt
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von Wireless LAN-Einrichtungen (WLAN) in innerstädtischen Gebieten
Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen
Bestimmung der realen Exposition bei Handynutzung in teilgeschirmten Räumen im Vergleich zur Exposition unter günstigen Bedingungen im Freien
Erhebung und Auswertung von tatsächlichen, personenbezogenen HF-Expositionsdaten in einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe
Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich
Untersuchung der Möglichkeiten zur Minimierung der HF-Exposition der Bevölkerung durch regionale integrierte Netzplanung
Untersuchungen zu der Fragestellung, ob makroskopische dielektrische Gewebeeigenschaften auch auf Zellebene bzw. im subzellulären Bereich uneingeschränkte Gültigkeit besitzen
Bestimmung der Exposition der Bevölkerung in der Umgebung von digitalen Rundfunk und Fernsehsendern

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

<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
Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen
Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)
Beteiligung an einer Fall-Kontroll-Studie zu Aderhautmelanomen und Radiofrequenzstrahlung (RIFA-Studie)
Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen
Prospektive Kohortenstudie unter Handynutzern
Ergänzungsstudie zu Probanden der Querschnittsstudie
Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern
Handynutzung und funktionelle Störungen
<i>Risikokommunikation</i>
Wissensbasierte Literaturdatenbank über die Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf den Organismus und auf Implantate
Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen
Zielgruppenanalyse zur differenzierten Information
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
Vorhaben des BMWA
<i>Genehmigungsverfahren</i>
Schutz von Personen mit Implantaten und Körperhilfen in elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks, UMTS, DECT, Powerline und Induktionsfunkanlagen.
Minimierung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks, UMTS, DECT, Powerline und Induktionsfunkanlagen
Machbarkeitsstudie „Alternative Streitbeilegung in der aktuellen EMVU-Debatte“
<i>Risikokommunikation</i>
Verbesserung der für die Öffentlichkeit zur Verfügung stehenden Information über Effekte der elektromagnetischen Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU) in Mobilfunkfeldern

noch Tabelle VI.1-1

Forschungsvorhaben der Bundesregierung zum Mobilfunk

Vorhaben des BMBF
Potential neuer Technologien
Förderschwerpunkt hyperNET -Teilvorhaben: Alternative Funkssysteme zur Verminderung der Strahlungsdichte im digitalen Rundfunk, Mobilfunk und bei drahtlosen LANs (mini watt)
Förderung immissionsmindernder Technologien
Leitinnovation Mobile Internet – 3Get (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Entwurf von Mehrträger-Mobilfunksystemen mit kooperativen, verteilten Antennen
Leitinnovation Mobile Internet – 3Get (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Konzeption, Entwicklung und Analyse neuartiger Funkzugangstechniken für die Evolution der Mobilfunksysteme der dritten Generation
Leitinnovation Mobile Internet – WIGWAM (Wireless Gigabit with Advanced Multimedia Support) – Teilvorhaben: Breitbandige HF-Funkübertragung mit Hilfe von Kompensations- und Adaptionstechniken im Basisband
Leitinnovation Mobile Internet – 3Get (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Multistandard- Architekturen für blockbasierte Codierungsverfahren – MARCOV I
Leitinnovation Mobile Internet – 3Get (3. Generation Evolving Technologies) – Teilvorhaben: Multistandard- Architekturen für blockbasierte Codierungsverfahren – MARCOV II

1.2 Repräsentative Umfrage zum Thema „Mobilfunk“

Das BfS hat die Durchführung zweier zentralen Umfragen 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. In den Jahren 2003 bis 2006 wird diese Befragung 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.

Die Ergebnisse der letzten Befragung im Jahr 2004 zeigen, dass sich die Stimmungslage in der Bevölkerung hinsichtlich der Besorgnis und Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder, die von Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlosen Festnetztelefonen ausgehen, in den letzten drei Jahren nicht wesentlich verändert hat: Die Anteile der Besorgten sind mit 30 % im Jahr 2004 (gegenüber 31 % in 2003 bzw. 35 % in 2001) leicht gesunken. Beeinträchtigt bezeichnen sich 9 % im Jahr 2004 (gegenüber 8 % in 2003 bzw. 6 % in 2001). Mehr Informationen darüber, ob es sich bei diesen geringfügigen Veränderungen um einen Trend handelt, wird die Befragung im Jahr 2005 liefern.

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“

Um besonders strahlungsarme Handys, die nach dem GSM-, GPRS- oder UMTS-Standard arbeiten, für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurden.

Mit der Vergabe des Umweltzeichens ist der RAL e.V. (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., gegründet 1925) beauftragt. Auch im Jahr 2004 weigerten sich die Hersteller, das Umweltzeichen anzunehmen, so dass kein „Blauer Engel“ vergeben wurde. Vom BfS gemessene SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys finden sich unter www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html.

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 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 3 GHz (300 000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird im Verfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften über-

prüft. 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 RegTP wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post 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 RegTP eine Standortbescheinigung erteilte, möglich. Die EMF-Datenbank ist mehr als eine kartographische Darstellung von Standorten von Funkanlagen und EMF-Messreihen der Regulierungsbehörde. Sie bildet darüber hinaus eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Zu diesem Zweck wurde von der RegTP eigens eine Messvorschrift erstellt und mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Mit dieser gemeinsamen Messvorschrift wurde in Deutschland erstmals ein einheitlicher Qualitätsmaßstab für EMF-Messungen eingeführt. Feldstärkemessungen, die diesem Qualitätsmaßstab entsprechen, lassen sich nun miteinander direkt vergleichen und entsprechen sowohl den europäischen als auch den nationalen Anforderungen zur Bewertung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern. Um diesen Qualitätsanspruch zu gewährleisten, werden neben den Messreihen der RegTP nur die von Landesumweltministerien beauftragten EMF-Messreihen in die EMF-Datenbank aufgenommen. Mit der EMF-Datenbank ergänzt die Regulierungsbehörde ihr bisheriges EMF-Monitoring. Sie setzt damit eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission aus dem September 2001 um, wonach „relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien.“

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 2004 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).

Im Rahmen des Projektes „Untersuchung molekularer und zellulärer Entstehungsmechanismen UV-induzierter Hautkrebs; Teilprojekt 2 „Molekularbiologische Prozesse bei UV-induzierten Hautkrebsen“ 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.

Tabelle VI.2-1
Forschungsvorhaben zum Thema UV

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

Das Projekt „Untersuchung der Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses – Entwicklung von biologischen Indikatoren für die bereits erfolgte Schädigung der Haut durch UV-Strahlung und für das individuelle Hautkrebsrisiko“ hat zum Ziel, weitere Einsichten in die Entstehungsmechanismen des UV-induzierten Hautkrebses zu erlangen. Es soll untersucht werden, welchem Zelltyp die so genannten schwer geschädigten Zellen (SGZ), die sowohl nach akuter Bestrahlung mit höheren Dosen als auch nach chronischer Bestrahlung mit suberythemalen Dosen in der Haut auftreten, zuzuordnen sind. Außerdem sollen die Reparaturkapazität der Zellen und das individuelle Hautkrebsrisiko zu verschiedenen Rahmenbedingungen (vorausgehende Sonnenbrände, Freizeitverhalten, Hauttyp, Immunsystem etc.) in Beziehung gesetzt werden. Ein Marker für die vorliegende UV-Schädigung der Haut und für das individuelle Hautkrebsrisiko soll charakterisiert werden. Abschließende Ergebnisse werden Ende des Jahres 2005 erwartet.

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

2.2 Solarien

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

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

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

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung von Sonnenstudios sind:

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

2004 wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz fünf Betriebe als Zertifizierungsstelle für Solarien akkreditiert. In Folge wurden 2004 insgesamt 30 Solarienbetriebe zertifiziert.

2.3 Solares UV-Monitoring in Deutschland

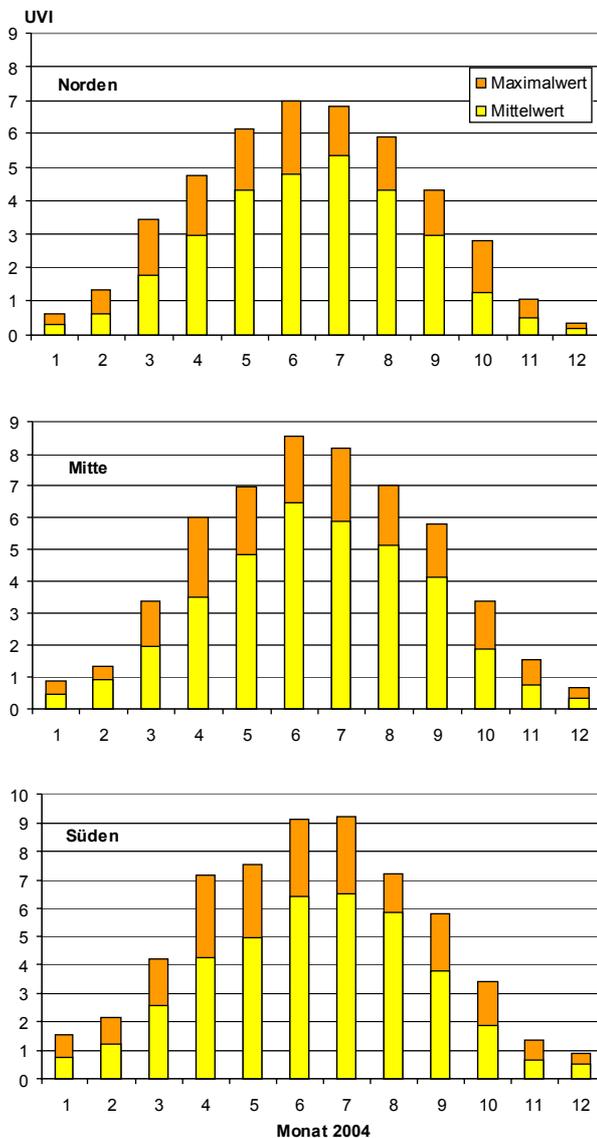
Seit mehr als 10 Jahren wird die bodennahe solare UV-Strahlung mittlerweile an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das Bundesamt für Strahlenschutz, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in München 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 2004 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstation Zingst), die Mitte (Messstation Langen) und den Süden (Messstation München) der Bundesrepublik dargestellt.

Man erkennt zum einen die große Schwankungsbreite der UV-Werte, die vor allem wetterbedingt sind. Andererseits ist zu beobachten, dass zumindest schon im April in

Abbildung VI.2-1

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2004 im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands



der Mitte Deutschlands UVI-Werte von 6 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 Strahlenschutzes¹.

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.

¹ 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 30 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

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

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

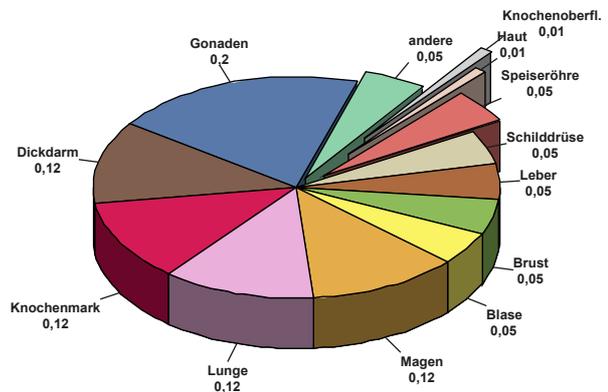
$$E = w_T \times H_T$$

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

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

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

Abbildung A-1



Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anlage VI, Teil C

berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

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

Die Messung der Dosis

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

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g cm⁻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 Bestrahlung²

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 werden oder durch Wunden in den Körper aufgenommen. 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-

² Quelle: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium“, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff. (Text aktualisiert)

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 Strahlenwirkung²

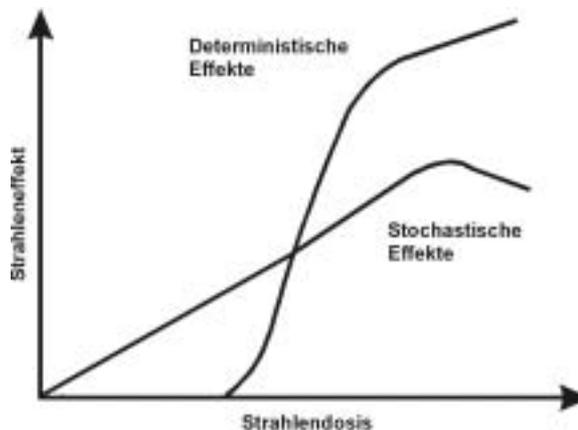
Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten 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-

Abbildung A-2



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 Defekte²

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 überwiegenderem 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:

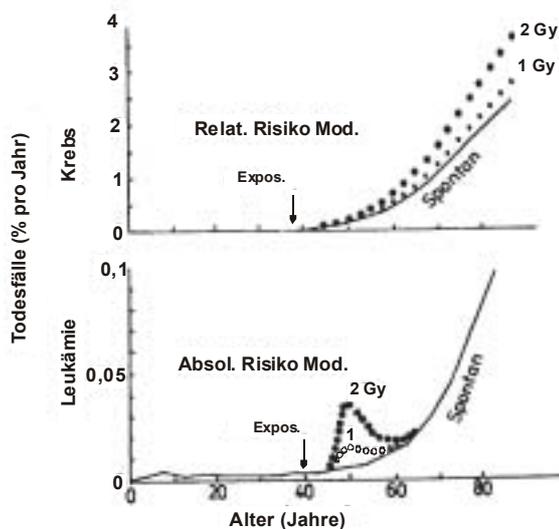
- Extrapolation der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z. B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische Expositionen, wie sie z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
- Projektion des Risikos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

Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR³ ein Lebenszeitrisiko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9% für Männer, 13% für Frauen und (Mittelwert für beide Geschlechter 11%) 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 eine Million Menschen werden etwa 250.000 an einer Krebserkrankung sterben.

³ 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/m ² (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- (32–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf. Wirkungen von solarer UV-Strahlung auf Mensch und Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des 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 Hautkreberkrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeit- und Sozialverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen

ist. Um besonders das nachgewiesene Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten, ist ein vernünftiger Umgang mit der Sonne geboten. Dazu ist es notwendig, der Bevölkerung eine Einschätzung ihrer aktuellen und zukünftigen UV-Belastung zu ermöglichen (s. UV-Index, Seite 62).

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

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

Akute Wirkungen des 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. Lichtschwielen.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV-Strahlung

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und 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 An-

stieg 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 braun gefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20%. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

Solare UV-Strahlung und Ozon

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

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

Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotenzial.

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

UV-Monitoring

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

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 ge-

prüft, 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-Tabelle B 4-3

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.

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
Anthropogen	Durch den Menschen beeinflusst, verursacht
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, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = 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
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
Deterministisch	Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z.B. Hautrötung, Augenlinsentrübung)
Diuretika	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DNS	Desoxiribonukleinäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
Dosimetrie (nichtionisierende Strahlung)	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
DRW	Diagnostische Referenzwerte
DWD	Deutscher Wetterdienst
Effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feldes. Die Einheit ist $\frac{V}{m}$, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter ($\frac{V}{m}$)
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 Quadratzentimeter. b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 – 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit
Machbarkeitsstudie	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist das Tesla (T). $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$ (Voltsekunde pro Quadratmeter)
Magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
MED	Minimale erythemotogene Dosis Erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem)
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
MRT	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie) Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden.
Nachweisgrenze	Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten 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 Artikel 2 der Verordnung vom 18. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869)
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 Nation's 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 Metereologie)

