

**Die Empfehlungen der
Internationalen Strahlenschutzkommission
(ICRP) von 2007**

**ICRP-Veröffentlichung 103
Verabschiedet im März 2007**

Veröffentlichungen der
Internationalen Strahlenschutzkommission

Deutsche Ausgabe herausgegeben vom Bundesamt für Strahlenschutz

Vorwort zur deutschen Übersetzung

Die Internationale Strahlenschutzkommission hat seit ihrer Gründung im Jahre 1928 zu allen wichtigen Fragen des Strahlenschutzes Stellung genommen und hierzu grundsätzliche Empfehlungen erarbeitet. Diese sind in nahezu allen Ländern weltweit zur Grundlage gesetzlicher Regelungen, Normen und Richtlinien im Strahlenschutz geworden. Die vorliegende Veröffentlichung ersetzt die früheren Empfehlungen der Kommission seit 1990 (ICRP 60).

Sie ist, ebenso wie die weiteren Veröffentlichungen, die als Erläuterung und Vertiefung dieser Grundlagenempfehlungen gedacht sind, für alle mit dem Strahlenschutz befassten Personen und Institutionen von grundlegender Bedeutung. Um eine einheitliche Interpretation des Originaltextes im deutschen Sprachraum sicherzustellen, hat das BfS beschlossen, die deutschsprachige Veröffentlichung unter Mitwirkung von Experten aus Österreich und aus der Schweiz zu erarbeiten.

Mit der Übertragung ins Deutsche wurde Frau Barbara Schulte-Büttner (BfS) betraut; die Absätze (106) bis (168) wurden von Frau Undine Baier-Blott (PTB) und Frau Cecile Charvieux (PTB) übersetzt. Die Erarbeitung der deutschen Übersetzung wurde in einer Expertenkommission fachlich begleitet. Zusätzlich haben weitere Fachleute innerhalb und außerhalb des BfS, wie Herr Prof. Dr. R. Michel (Vorsitzender der SSK), bei der fachlichen Durchsicht mitgewirkt. Dabei wurde besonders auf eine breite Abstützung der deutschen Entsprechungen für Begriffsbestimmungen geachtet, die im englischen Originaltext neu für den Strahlenschutz definiert worden sind. Zum Teil mussten neue Fachausdrücke gefunden werden. Soweit für die Übersetzung relevant wurden diese, ebenso wie Abweichungen von der Terminologie bisheriger Übersetzungen der ICRP, durch entsprechende Anmerkungen der Übersetzerin Frau Barbara Schulte-Büttner (A.d.Ü.) gekennzeichnet.

Der Expertenkommission unter Leitung von Dr. Wolfgang Weiss gehörten als externe Experten an

- Nina Cernohlawek (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien),
- Dr. Werner Zeller (Bundesamt für Gesundheit, Bern),
- Dr. Günther Dietze (SSK),
- Prof. Dr. Christian Streffer (SSK),
- Jürgen Kopp (SSK),
- Dr. Klaus Martignoni,

und als Fachleute aus dem BfS

- Prof. Dr. Gunnar Brix,
- Dr. Thomas Jung,
- Dr. Gerald Kirchner,
- Annemarie Schmitt-Hannig,
- Barbara Schulte-Büttner (Übersetzung).

Möge diese Übersetzung dazu beitragen, die dem Strahlenschutz zugrunde liegenden Überlegungen in der Öffentlichkeit bekannt zu machen und zugleich die Bestrebungen zur weiteren Verbesserung des Schutzes von Mensch und Umwelt vor Strahlenexpositionen zu unterstützen.

Dr. Wolfgang Weiss

Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007

ICRP-Veröffentlichung 103
Verabschiedet im März 2007

Kurzfassung

Durch die vorliegenden neuen Empfehlungen für ein System des Strahlenschutzes werden die früheren Empfehlungen der Kommission von 1990 formell ersetzt und die nach 1990 herausgegebenen zusätzlichen Empfehlungen zur Kontrolle der Exposition durch Strahlenquellen aktualisiert, konsolidiert und weiterentwickelt.

Die neuen Empfehlungen bringen damit sowohl die Strahlungs- und Gewebe-Wichtungsfaktoren in den Größen Organdosis und effektive Dosis als auch den Begriff des Schadensmaßes auf den Stand der neuesten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Biologie und Physik von Strahlenexpositionen. Die drei wesentlichen Strahlenschutz-Grundsätze der Kommission bleiben erhalten: Rechtfertigung, Optimierung und Anwendung von Dosisgrenzwerten. Es wird klargestellt, wie diese auf Strahlenquellen, die Expositionen verursachen, und auf Personen, die exponiert werden, anzuwenden sind.

Die Empfehlungen sind eine Weiterentwicklung des bisherigen verfahrensbasierten Schutzansatzes, der von Tätigkeiten und Interventionen ausging, zu einem Ansatz, der auf der jeweils vorliegenden Expositionssituation basiert. Der neue Ansatz sieht geplante Expositionssituationen sowie Notfall- und bestehende Expositionssituationen vor. Die grundlegenden Prinzipien der Rechtfertigung und Optimierung des Strahlenschutzes werden betont. Sie sind auf alle diese Situationen anzuwenden. Bei allen regulierten Strahlenquellen bleiben die aktuellen Grenzwerte der effektiven Dosis und der Organdosen für geplante Expositionssituationen bestehen. Der Grundsatz der Optimierung des Schutzes wird bekräftigt. Er soll auf alle Expositionssituationen in ähnlicher Weise angewendet werden. Als Beschränkungen für individuelle Dosen und Risiken gelten Dosis- und Risikowerte für geplante Expositionssituationen sowie Referenzwerte für Notfall- und bestehende Expositionssituationen. Die Empfehlungen enthalten auch einen Ansatz, um einen Rahmen für den Strahlenschutz der Umwelt zu entwickeln.

Schlüsselwörter: Rechtfertigung, Optimierung, Dosisgrenzwerte, Dosisrichtwerte, Referenzwerte

Editorial

Ohne Ihre Hilfe hätten wir das Ziel nicht erreichen können

Die neuen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission wurden am 21. März 2007 in Essen, Deutschland, angenommen, nachdem acht Jahre lang weltweit Diskussionen mit Wissenschaftlern, Behörden und Anwendern geführt worden waren.

Die Kommission ist ein beratendes Gremium, das seine Empfehlungen behördlichen und beratenden Stellen zur Verfügung stellt, indem sie Grundprinzipien formuliert, mit denen ein angemessener Strahlenschutz begründet werden kann. Seit ihrer Gründung im Jahr 1928 hat die Kommission regelmäßig Empfehlungen zum Schutz vor den Gefahren ionisierender Strahlung herausgegeben. Der erste Bericht der laufenden Serie, ICRP 1 (1959), enthielt die Empfehlungen, die 1958 verabschiedet wurden. Neuere Empfehlungen, die als ICRP 26 (1977) und ICRP 60 (1991b) erschienen, wurden 1977 bzw. 1990 angenommen.

Die von der Kommission herausgegebenen Empfehlungen und Grundsätze sind für internationale Organisationen und nationale Behörden, die für den Strahlenschutz verantwortlich sind, aber auch für die Anwender, eine wichtige Grundlage ihrer Schutzmaßnahmen. Praktisch alle internationalen Normen und nationalen Bestimmungen, die den Strahlenschutz betreffen, beruhen auf den Empfehlungen der Kommission.

Gegenwärtig liegen den meisten nationalen Bestimmungen die im Jahr 1990 verabschiedeten Empfehlungen der ICRP, publiziert in ICRP 60, zugrunde. Internationale Normen, wie z.B. die Internationalen Sicherheits-Standards, verschiedene internationale Arbeits-Abkommen, sowie Europäische Richtlinien zum Strahlenschutz beruhen ebenfalls auf diesen Empfehlungen.

Die Kommission hat in ICRP 26 die Risiken stochastischer Strahlenwirkungen quantifiziert und ein System der Dosisbegrenzung mit ihren drei Grundsätzen der Rechtfertigung, der Optimierung des Schutzes und der Begrenzung der Körperdosis vorgeschlagen. In der ICRP 60 hat sie ihre Empfehlungen überarbeitet und ihre Philosophie auf ein System des Strahlenschutzes ausgeweitet, wobei die wesentlichen Schutzgrundsätze gewahrt blieben.

Da seit Herausgabe von ICRP 60 neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorgelegt wurden, steht eine Aktualisierung an. Dabei bleiben die grundlegenden biologischen und physikalischen Annahmen und Konzepte bestehen. Für deterministische Wirkungen bleibt die gesamte Abschätzung unverändert. Die Schätzwerte für das strahleninduzierte Krebsrisiko haben sich in den vergangenen 17 Jahren nicht wesentlich verändert, während das Risiko vererbbarer Defekte gegenwärtig niedriger eingeschätzt wird als zuvor. Die neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse bilden eine solidere Grundlage für die Erstellung von Risikomodellen und die Bestimmung des Schadensmaßes.

Die Empfehlungen von 2007 stellen eine Weiterentwicklung des bisherigen, von „practises“ und „interventions“ ausgehenden, verfahrensbasierten Schutzansatzes dar, zu einem Ansatz, der von den Merkmalen der jeweiligen Expositionssituation ausgeht. Das Strahlenschutz-System ist im Prinzip auf jede Expositionssituation anwendbar. Für die Entscheidung hinsichtlich Ausmaß und Grad von Schutzmaßnahmen werden, unabhängig von der Expositionssituation, stets vergleichbare Verfahren angewendet. Insbesondere die Grundsätze der Rechtfertigung und Optimierung gelten universell. Die Kommission ist der Ansicht, dass die stärkere Betonung der Optimierung die Umsetzung des Schutzes in Situationen, die bisher als Interventionen klassifiziert wurden, verbessern könnte.

In Anbetracht der Bedeutung, die den Empfehlungen der Kommission zukommt und um sicherzustellen, dass die neuen Empfehlungen in angemessener und zweckmäßiger Weise nationale Belange mit einbeziehen, hat die Kommission für die Entwicklung dieser Empfehlungen ein Verfahren eingeleitet, das viel offener war als das Verfahren zur Erarbeitung der bisherigen Empfehlungen. Bemerkenswert ist auch, dass die Kommission es erstmals für erforderlich hielt, bei der Optimierung des Schutzes die Sichtweisen und Belange von Interessenvertretern und Betroffenen (Stakeholder) zu berücksichtigen.

Die Kommission hat daher ein breites Spektrum von Interessenvertretern und Betroffenen im Strahlenschutz, angefangen von staatlichen Einrichtungen und internationalen Organisationen bis hin zu Wissenschaftlern und Nichtregierungsorganisationen, um Kommentare gebeten. Die neuen Empfehlungen wurden im Entwurfsstadium bei vielen Konferenzen auf internationaler und nationaler Ebene sowie von vielen am Strahlenschutz beteiligten internationalen und nationalen Organisationen diskutiert.

Einige Organisationen haben eigens für die Kommentierung der ICRP-Empfehlungen Veranstaltungen durchgeführt. So hat z.B. die International Radiation Protection Association (IRPA) anlässlich ihrer Kongresse in den Jahren 2000 und 2004 Kommentierungen des Entwurfs durch ihre Mitgliedsorganisationen weltweit veranlasst. Im Zusammenhang mit den öffentlichen Konsultationen hat die Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD sieben internationale Workshops organisiert und vier detaillierte Überprüfungen der ICRP-Textentwürfe durchgeführt (2003, 2004, 2006 und 2007). Die Europäische Kommission organisierte 2006 ein Seminar zur Diskussion der wissenschaftlich strittigen Punkte in den Empfehlungen. Die Unterorganisationen der Vereinten Nationen unter Führung der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) verwenden die Empfehlungen der ICRP von 2007 als Grundlage für die Revision der Internationalen Sicherheits-Grundnormen, und die Europäische Kommission verwendet die Empfehlungen von 2007 als eine wichtige Vorgabe für die Revision der Europäischen Grundnormen im Strahlenschutz.

Die Empfehlungen wurden nach öffentlichen Konsultationen auf internationaler Ebene in zwei Phasen erarbeitet. Von dieser Strategie der Transparenz und Einbindung von Interessenvertretern und Betroffenen verspricht sich die ICRP, dass ihre Empfehlungen allgemein besser verstanden werden und eine breitere Akzeptanz finden. Die neuen Empfehlungen beinhalten zwar keinerlei grundlegende Änderungen der Vorgehensweise im Strahlenschutz, werden aber dazu beitragen, die Anwendung des Schutzsystems für eine Reihe von Expositionssituationen klarer darzustellen und damit das bereits hohe Niveau des Schutzes weiter zu verbessern.

Die Kommission stellt mit Genugtuung fest, am Ende eines langwierigen, aber fruchtbaren Entwicklungsprozesses angekommen zu sein und als Ergebnis zahlreicher Konsultationen die vorliegenden Empfehlungen von 2007 zu präsentieren. Aus den ausführlichen Konsultationen ist ein erheblich verbessertes Dokument hervorgegangen. Dafür ist die Kommission den zahlreichen Organisationen, Experten und einzelnen Personen der Bevölkerung zu Dank verpflichtet, die diesem Vorhaben so viel von ihrer Zeit und Erfahrung gewidmet haben. Ihre Beiträge sind von entscheidender Bedeutung für den künftigen Erfolg der Empfehlungen von 2007.

LARS-ERIK HOLM
ICRP-VORSITZENDER

Literatur

ICRP, 1959. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 1. Pergamon Press, Oxford, UK.

ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3).

deutsch:

ICRP Publication 26: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (angenommen am 17. Januar 1977). In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 26. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1994

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Übersetzung	3
Kurzfassung	4
Editorial	5
Literatur	7
Inhaltsverzeichnis	8
Vorwort	10
Zusammenfassung	12
Literatur	17
Glossar	18
Literatur	32
1. Einführung	33
1.1 Geschichte der Kommission	33
1.2 Die Entwicklung der Kommissions-Empfehlungen	33
1.3 Struktur der Empfehlungen	37
1.4 Literatur	38
2. Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen	40
2.1 Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen	40
2.2 Grundlage und Struktur des Schutzsystems	41
2.3 Anwendungsbereich der Empfehlungen	44
2.4 Ausschluss und Befreiung	45
2.5 Literatur	46
3. Biologische Gesichtspunkte des Strahlenschutzes	47
3.1 Induktion deterministischer Wirkungen (schädlicher Gewebereaktionen)	47
3.2 Induktion stochastischer Wirkungen	48
3.3 Induktion von anderen Erkrankungen als Krebs	54
3.4 Strahlenwirkungen beim Embryo und Fötus	55
3.5 Einschätzungen und Unsicherheiten	55
3.6 Literatur	56
4. Im Strahlenschutz verwendete Größen	57
4.1 Einführung	57
4.2 Gesichtspunkte gesundheitlicher Auswirkungen	57
4.3 Dosisgrößen	58
4.4 Schätzung der Strahlenexposition	67
4.5 Unsicherheiten und Bewertungen	72
4.6 Literatur	74
5. Das System des Strahlenschutzes für den Menschen	75
5.1 Definition einer Quelle	76
5.2 Arten von Expositionssituationen	76
5.3 Expositionskategorien	77
5.4 Identifikation exponierter Personen	78
5.5 Ebenen des Strahlenschutzes	81
5.6 Grundsätze des Strahlenschutzes	82
5.7 Rechtfertigung	83

5.8 Optimierung des Schutzes	85
5.9 Dosisrichtwerte und Referenzwerte	87
5.10 Dosisgrenzwerte	93
5.11 Literatur	95
6. Umsetzung der Empfehlungen der Kommission	96
6.1 Geplante Expositionssituationen	96
6.2 Notfall-Expositionssituationen	101
6.3 Bestehende Expositionssituationen	104
6.4 Schutz des Embryo/Fötus in Notfall- und bestehenden Expositionssituationen	108
6.5 Vergleich von Strahlenschutzkriterien	109
6.6 Praktische Umsetzung	111
6.7 Literatur	115
7. Medizinische Strahlenexpositionen von Patienten, Begleit- und Betreuungspersonen (Helfende Personen) sowie Probanden in der biomedizinischen Forschung	117
7.1 Rechtfertigung medizinischer Verfahren	118
7.2 Optimierung des Schutzes bei medizinischen Expositionen	120
7.3 Effektive Dosis bei medizinischen Expositionen	121
7.4 Exposition von Schwangeren	121
7.5 Unfallverhütung bei externer Strahlentherapie und Brachytherapie	122
7.6 Schutz von Betreuungs- und Begleitpersonen von Patienten, die mit Radionukliden behandelt werden	122
7.7 Probanden in der biomedizinischen Forschung	123
7.8 Literatur	124
8. Schutz der Umwelt	125
8.1 Ziele des Strahlenschutzes der Umwelt	125
8.2 Referenztiere und -pflanzen	126
8.3 Literatur	127
Sachwortverzeichnis	128

Vorwort

Seit der Publikation ihrer Empfehlungen von 1990 als ICRP-Veröffentlichung 60, kurz ICRP 60 (1991b), hat die Kommission diese Empfehlungen regelmäßig überprüft und von Zeit zu Zeit ergänzende Berichte in den Annalen der ICRP herausgegeben. Das Ausmaß dieser ergänzenden Berichte war ein Hinweis auf die Notwendigkeit der nunmehr hier vorgelegten Konsolidierung und Begründung. Außerdem sind seit ICRP 60 neue wissenschaftliche Erkenntnisse veröffentlicht worden. Deshalb ist eine Aktualisierung erforderlich geworden, obwohl die grundlegenden biologischen und physikalischen Annahmen und Konzepte gleich geblieben sind. Die Abschätzungen deterministischer Wirkungen und des stochastischen Risikos bleiben im Wesentlichen unverändert. Die Abschätzungen des strahleninduzierten Krebsrisikos haben sich insgesamt in den letzten 16 Jahren nicht nennenswert verändert. Dagegen ist das geschätzte Risiko vererbbarer Wirkungen derzeit niedriger als zuvor. Insgesamt liefern die neuen Erkenntnisse eine solidere Grundlage für Risikomodelle und Abschätzungen des Schadensmaßes. Schließlich hat sich inzwischen herausgestellt, dass dem Strahlenschutz der Umwelt mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte als bisher.

Daher hat die Kommission, auch mit Blick auf die notwendige Beständigkeit internationaler und nationaler Bestimmungen, beschlossen, diese neuen Empfehlungen herauszugeben und dabei hauptsächlich zwei Ziele zu verfolgen:

- die neuen biologischen und physikalischen Erkenntnisse sowie wissenschaftliche Trends bei der Festlegung von Strahlensicherheitsstandards zu berücksichtigen und
- die Präsentation der Empfehlungen zu verbessern und zu vereinheitlichen.

Darüber hinaus hat die Kommission in ihren Empfehlungen so viel Kontinuität gewahrt, wie dies mit den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und gesellschaftlichen Erwartungen vereinbar ist.

Die mit dem neuen System des Strahlenschutzes nunmehr vorgelegten Empfehlungen der Kommission sind eine Weiterentwicklung der bisherigen Vorgehensweise bei Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“^A) und Interventionen. Mit dem neuen Ansatz der Expositionssituationen möchte die Kommission zum Ausdruck bringen, dass ihr Schutzsystem im Prinzip auf jede Expositionssituation anwendbar ist. Für die Entscheidung über Schutzmaßnahmen kommen ungeachtet der jeweiligen Expositionssituation immer ähnliche Verfahren zur Anwendung. Insbesondere die Grundsätze der Rechtfertigung und der Optimierung sind allgemein gültig. Die Kommission ist der Ansicht, dass die Umsetzung des Schutzes im Hinblick auf die Situationen, die bisher als Interventionen eingestuft wurden, durch diese allgemein gültigen Grundsätze verbessert wird.

Die vorliegenden Empfehlungen wurden von der Hauptkommission der ICRP auf der Grundlage eines früheren Entwurfs erstellt, der 2004 und – in überarbeiteter Form – nochmals 2006, öffentlichen und internen Beratungen unterzogen wurde. Von der erhöhten Transparenz und der Einbeziehung zahlreicher Organisationen und Personen verspricht

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet (s. Glossar → Tätigkeiten → Arbeiten → Umgang) A. d. Ü.

sich die Kommission, dass ihre Empfehlungen allgemein besser verstanden und angenommen werden.

Mitglieder der Hauptkommission während der Erarbeitung der vorliegenden Empfehlungen:

(2001–2005)

R.H. Clarke (Vorsitzender)	A.J. González	Y. Sasaki
R.M. Alexakhin	L.-E. H. Holm (stellvertr. Vorsitzender)	C. Streffer
J.D. Boice jr	F.A. Mettler jr	A. Sugier (2003–2005)
R. Cox	Z.Q. Pan	B.C. Winkler (†2003)
G.J. Dicus (†2006)	R.J. Pentreath (2003–2005)	

Wissenschaftlicher Sekretär: J. Valentin

(2005–2009)

L.-E. Holm (Vorsitzender)	J.-K. Lee	Y. Sasaki
J.D. Boice jr	H. Menzel (2007–2009)	N. Shandala
C. Cousins	Z.Q. Pan	C. Streffer (2005–2007)
R. Cox (stellvertretender Vorsitzender)	R.J. Pentreath	A. Sugier
A.J. González	R.J. Preston	

Wissenschaftlicher Sekretär: J. Valentin

Die Arbeit der Kommission wurde durch bedeutende Beiträge von P. Burns, J. Cooper, J. D. Harrison und W. Weiss maßgeblich unterstützt. Darüber hinaus sind ihr die im Rahmen zahlreicher internationaler Veranstaltungen geführten Diskussionen über die vorliegenden Empfehlungen zugute gekommen.

Die Kommission möchte allen internationalen und nationalen Organisationen, staatlichen ebenso wie nichtstaatlichen, und allen Personen, die zur Entwicklung dieser Empfehlungen beigetragen haben, ihre Anerkennung aussprechen.

Zusammenfassung

(a) Am 21. März 2007 hat die Hauptkommission der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP) die vorliegenden neuen Empfehlungen für ein System des Strahlenschutzes verabschiedet. Damit werden die bisher gültigen Empfehlungen der Kommission von 1990, die im Jahr 1991 als ICRP 60 (1991b) erschienen sind, förmlich ersetzt und die zusätzlichen Empfehlungen zur Überwachung der Exposition durch Strahlenquellen, die seit ICRP 60 herausgegeben wurden, aktualisiert. Die neuen Empfehlungen stellen eine Konsolidierung und Weiterentwicklung der bisherigen dar.

(b) Die Kommission hat diese Empfehlungen nach öffentlichen Beratungen auf internationaler Ebene auf der Grundlage zweier Entwürfe aus den Jahren 2004 und 2006 erstellt. Von dieser transparenten Vorgehensweise unter Beteiligung von Interessenvertretern und Betroffenen verspricht sich die Kommission ein besseres Verständnis und eine breitere Akzeptanz ihrer Empfehlungen.

(c) Die wesentlichen Merkmale der vorliegenden Empfehlungen sind:

- Aktualisierung der Strahlungs- und Gewebe-Wichtungsfaktoren für die Größen Organdosis und effektive Dosis sowie Aktualisierung des Schadensmaßes (Detriments) auf der Grundlage der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Biologie und Physik von Strahlenwirkungen;
- Beibehaltung der drei wesentlichen Strahlenschutzgrundsätze der Kommission: Rechtfertigung, Optimierung und Anwendung von Dosisgrenzwerten; ferner Klarstellung, wie diese auf Strahlenexpositionen und auf strahlenexponierte Personen anzuwenden sind;
- Weiterentwicklung der Vorgehensweise vom bisher verfahrensbasierten Ansatz des Strahlenschutzes, der sich auf Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“^A) und Interventionen bezog, zu einem Ansatz, der auf der jeweils vorliegenden Expositionssituation beruht. Die Grundsätze Rechtfertigung und Optimierung des Schutzes werden auf alle kontrollierbaren Expositionssituationen angewendet. Diese werden in den vorliegenden Empfehlungen als geplante Expositionssituationen sowie Notfall- und bestehende Expositionssituationen bezeichnet;
- Beibehaltung der von der Kommission festgelegten individuellen Grenzwerte für die effektive Dosis und die Organdosen bei allen regulierten Quellen für geplante Expositionssituationen. Die Grenzwerte sind Dosishöchstwerte, die bei geplanten Expositionssituationen durch die zuständigen Behörden bzw. den Gesetzgeber noch akzeptiert würden;
- Bekräftigung des Prinzips der Optimierung des Schutzes, das für alle Expositionssituationen in analoger Weise angewendet werden soll mit Beschränkungen der individuellen Dosen und Risiken, nämlich durch Dosis- und Risikorichtwerte^B bei geplanten Expositionssituationen und Referenzwerte bei Notfall- und bestehenden Expositionssituationen;

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet (s. Glossar) A. d. Ü.

^B „Constraint“ wurde in der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Schranke“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen das Äquivalent „Richtwert“ verwendet. Der Ausdruck „Richtwert“ als Übersetzung von „constraint“ ist nicht zu verwechseln mit dem im Deutschen Recht benutzten Begriff „Richtwert“. A. d. Ü.

- ein Ansatz zur Entwicklung eines Regelungsrahmens, um den Strahlenschutz der Umwelt nachzuweisen.

(d) Das Strahlenschutzsystem der Kommission gilt für alle Expositionen durch ionisierende Strahlung aus jeder Quelle, ungeachtet ihrer Höhe und ihres Ursprungs. Im vollen Umfang können die Empfehlungen jedoch nur für Situationen gelten, bei denen entweder die Quelle der Exposition oder die Pfade, die zur Strahlenexposition von Personen führen, durch geeignete Maßnahmen kontrolliert werden können. Einige Expositionssituationen sind von der Strahlenschutz-Gesetzgebung ausgeschlossen, üblicherweise da sie der Überwachung durch gesetzliche Regelungen nicht zugänglich sind. Andere werden von einigen oder allen Strahlenschutzanforderungen befreit, wenn der notwendige Aufwand der Überwachung als nicht vertretbar angesehen wird.

(e) Ein Verständnis der gesundheitlichen Wirkungen ionisierender Strahlung ist von zentraler Bedeutung für die Empfehlungen der Kommission. Nach einer Sichtung und Bewertung der biologischen und epidemiologischen Daten zu gesundheitlichen Risiken durch ionisierende Strahlung ist die Kommission zu folgenden Schlussfolgerungen gekommen: Die Verteilung der Risiken auf die verschiedenen Organe/Gewebe wird zwar seit ICRP 60 etwas anders beurteilt, insbesondere hinsichtlich der Risiken von Brustkrebs und vererbba- ren Erkrankungen. Wenn man eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung im niedrigen Dosisbereich annimmt, bleibt allerdings das kumulierte Schadensmaß durch zusätzliche Krebserkrankungen und vererbare Wirkungen unverändert bei etwa 5% pro Sv. Diese aktuelle Abschätzung enthält einen Dosis- und Dosisraten-Effektivitätsfaktor DDREF für solide Krebserkrankungen, der unverändert bei einem Wert von 2 bleibt. Die Kommission ist ferner der Ansicht, dass nach pränataler Exposition a) das Krebsrisiko ähnlich dem nach Bestrahlung in früher Kindheit ist und b) dass eine Schwellendosis für die Induktion von Fehlbildungen und für die Manifestation schwerer mentaler Retardierung besteht. Die Kommission hat die in ICRP 60 angegebenen Grenzwerte der effektiven Dosis und der Organ- dosen für die Haut, Hände/Füße und das Auge beibehalten; ihr ist jedoch bewusst, dass weitere Daten benötigt werden und veränderte Beurteilungen erforderlich werden können, insbesondere für das Auge. Die derzeitigen Erkenntnisse über mögliche zusätzliche nicht- maligne Erkrankungen (z. B. Herz-Kreislauf-Störungen) werden als nicht ausreichend ange- sehen, um Aufschluss über Risiken bei niedrigen Dosen zu geben.

(f) Die von der Kommission vorgenommene umfangreiche Bewertung der gesundheitli- chen Wirkungen ionisierender Strahlung ergab jedoch keinerlei Hinweis auf die Notwendig- keiten grundlegender Änderungen am System des Strahlenschutzes. Es ist wichtig festzustellen, dass bestehende quantitative Empfehlungen in den seit 1991 erschienenen Veröffentlichungen nach wie vor gelten, sofern nicht anders angegeben. Daher sollen die vorliegenden neuen Empfehlungen keinerlei substantielle Änderungen an den Strahlen- schutzbestimmungen nach sich ziehen, sofern sie auf ihren früheren Empfehlungen und den nachfolgenden Leitlinien zur Verfahrensweise beruhen.

(g) Die zentrale Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Induktion von Krebs und vererbba- ren Defekten, der zufolge eine Erhöhung der Dosis auch bei niedri- gen Dosen zu einer proportionalen Erhöhung des Risikos führt, bleibt Grundlage für die Summierung der Dosen durch externe Quellen ionisierender Strahlung und aus der Zufuhr von Radionukliden.

(h) Die Anwendung der Organdosis und der effektiven Dosis bleibt unverändert, es sind aber hinsichtlich der Methoden, die zu ihrer Berechnung verwendet werden, einige Revisio- nen vorgenommen worden. Die Überprüfung der Erkenntnisse über die relative biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten gemeinsam mit biophysikalischen Überlegungen haben zu Änderungen der Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren für Neutronen und Pro- tonen geführt, wobei die Werte für Neutronen durch eine stetige Funktion der Neutronen-

energie beschrieben werden und ebenso ein Wert für geladene Pionen angegeben wird. Die Strahlungs-Wichtungsfaktoren für Photonen, Elektronen, Myonen und Alphateilchen sind unverändert.

(i) Eine wichtige Änderung besteht darin, dass Dosen von externen und internen Quellen mit Hilfe von rechnergestützten Referenzphantomen des menschlichen Körpers berechnet werden, die auf tomografischen Daten beruhen und die Verwendung verschiedener mathematischer Modelle ersetzen. Die Organdosis für Erwachsene wird mithilfe männlicher und weiblicher Phantome durch Mittelwertbildung der geschlechtsspezifischen Organdosen bestimmt. Die effektive Dosis wird dann mittels alters- und geschlechtsgemittelter der Gewebe-Wichtungsfaktoren berechnet, die auf aktualisierten Risikodaten beruhen und als gerundete Werte für eine Population von beiden Geschlechtern und aus allen Altersgruppen gelten sollen. Die effektive Dosis wird für eine Referenzperson, nicht für eine tatsächliche Person berechnet.

(j) Die effektive Dosis ist zur Anwendung als Schutzgröße gedacht. Die hauptsächliche Anwendung der effektiven Dosis liegt bei der prospektiven Dosisabschätzung für die Planung und Optimierung im Strahlenschutz und zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte für regulatorische Zwecke. Für epidemiologische Evaluierungen wird die effektive Dosis dagegen nicht empfohlen, und auch für detaillierte spezifische retrospektive Ermittlungen individueller Expositionen und Risiken soll sie nicht verwendet werden.

(k) Die „kollektive effektive Dosis“ ist eine Größe, die für die Optimierung verwendet wird, d.h. für den Vergleich radiologischer Technologien und für Verfahren des Strahlenschutzes, in erster Linie im Zusammenhang mit beruflicher Exposition. Die kollektive effektive Dosis ist nicht als Größe für epidemiologische Risikoabschätzungen gedacht, und sie ist ungeeignet für die Verwendung bei Risikovorhersagen. Die Summierung sehr niedriger individueller Dosen über ausgedehnte Zeiträume ist nicht sinnvoll. Dies gilt insbesondere für die Berechnung von Krebstodesfällen.

(l) Zur Abschätzung von Körperdosen werden Modelle benötigt, um die Geometrie der externen Exposition, die Biokinetik inkorporierter Radionuklide und den menschlichen Körper zu beschreiben. Die Referenzmodelle und die notwendigen Parameter sind aus experimentellen Untersuchungen und Studien am Menschen ermittelt und ausgewählt worden. Für regulatorische Zwecke werden Modelle und Parameter durch Festlegung definiert. Nach erfolgter Festlegung wird angenommen, dass sie als Werte ohne Unsicherheit angesehen werden können. Die Kommission ist sich der Unsicherheiten und der begrenzten Genauigkeit solcher Modelle und Parameter bewusst. Es werden Bemühungen unternommen, die Unsicherheiten kritisch zu bewerten und zu verringern. Für individuelle retrospektive Dosis- und Risiko-Abschätzungen müssen individuelle Parameter und Unsicherheiten berücksichtigt werden.

(m) Der von der Kommission durchgeführte Prozess der Konsolidierung der bisherigen Empfehlungen hat gezeigt, dass einige Änderungen an der Struktur und Terminologie des Schutzsystems wünschenswert sind, um ihre Klarheit und Anwendbarkeit zu verbessern. Insbesondere scheint die Unterscheidung zwischen Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“) und Interventionen nicht klar verstanden worden zu sein. Zusätzlich gibt es Expositionssituationen, die mit diesem Ansatz schwer zu klassifizieren sind.

(n) Die Kommission sieht nunmehr drei Arten von Expositionssituationen, die an die Stelle der bisherigen Klassifizierung von „practices“ und „interventions“ treten. Diese drei Situationen sollen den gesamten Bereich von Expositionssituationen abdecken.

Die drei Situationen sind:

- *Geplante Expositionssituationen*: Situationen, die mit der geplanten Einführung und dem geplanten Betrieb von Quellen verbunden sind (zu dieser Art von Expositionssituationen gehören auch solche, die bisher als „practices“ klassifiziert wurden).

- *Notfall-Expositionssituationen*: unerwartete Situationen, z.B. solche, die während der Durchführung einer geplanten Situation oder durch eine Handlung mit kriminellem Hintergrund auftreten können und sofortige Maßnahmen erfordern.
- *Bestehende Expositionssituationen*: Expositionssituationen, die bereits bestehen, wenn eine Entscheidung für die Überwachung getroffen werden muss, z.B. solche, die durch natürliche Strahlung verursacht werden.

(o) Die drei Grundprinzipien des Strahlenschutzes werden in den neuen Empfehlungen beibehalten. Die Grundsätze der Rechtfertigung und Optimierung gelten für alle drei Expositionssituationen, während der Grundsatz der Anwendung von Dosisgrenzwerten nur für Dosen gilt, die mit Sicherheit als Folge geplanter Expositionssituationen erhalten werden. Diese Grundsätze sind wie folgt definiert:

- *Grundsatz der Rechtfertigung*: Jede Entscheidung, die die Strahlenexpositionssituation verändert, soll mehr nutzen als schaden.
- *Grundsatz der Optimierung des Schutzes*: Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Exposition auftritt, die Zahl der exponierten Personen und die Höhe der individuellen Dosen sollen so niedrig gehalten werden wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist.
- *Grundsatz der Anwendung von Dosisgrenzwerten*: Die Personendosis aus überwachten Quellen bei geplanten Expositionssituationen, außer medizinischen Expositionen, soll die von der Kommission empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Die Kommission unterscheidet weiterhin drei Expositionskategorien: berufliche Expositionen, Expositionen der Bevölkerung und medizinische Expositionen von Patienten (sowie von Betreuungs- und Begleitpersonen und von Probanden in der Forschung). Wenn eine Beschäftigte angezeigt hat, dass sie schwanger ist, sind zusätzliche Überwachungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen, um für den Embryo/Fötus weitgehend einen ähnlichen Schutz zu erreichen wie für die Mitglieder der allgemeinen Bevölkerung.

(p) Die neuen Empfehlungen betonen die Schlüsselrolle des Optimierungsgrundsatzes. Dieser Grundsatz soll in allen Expositionssituationen in gleicher Weise angewendet werden. Beschränkungen gelten für Dosen einer Einzelperson (der Referenzperson) in Form von Dosisrichtwerten für geplante Expositionssituationen bzw. Referenzwerten für Notfall- und bestehende Expositionssituationen. Handlungs- und Entscheidungsmöglichkeiten, die zu Dosen oberhalb dieser Richtwerte führen, sollen bereits im Planungsstadium verworfen werden. Es ist wichtig, dass diese Beschränkungen der Dosis – ebenso wie die Optimierung als Ganzes – prospektiv angewendet werden. Wenn nach der Umsetzung einer optimierten Schutzstrategie eine Überschreitung des Dosisrichtwertes oder Referenzwertes nachgewiesen wird, sollen die Gründe dafür untersucht werden, jedoch soll diese Tatsache allein nicht notwendigerweise Anlass zu weiteren behördlichen Maßnahmen geben. Die Kommission erwartet, dass diese Betonung eines gemeinsamen Vorgehens bei allen Expositionssituationen für den Strahlenschutz helfen wird, die Empfehlungen der Kommission unter den verschiedenen Umständen der Strahlenexposition anzuwenden.

(q) Den entsprechenden staatlichen Institutionen wird häufig eine wichtige Rolle bei der Auswahl von Werten für Dosisrichtwerte und Referenzwerte zukommen. Anleitungen für den Auswahlprozess werden in den vorliegenden Empfehlungen gegeben. Diese Anleitung berücksichtigt die zuvor von der Kommission gemachten numerischen Empfehlungen.

(r) Im Rahmen der bisherigen Empfehlungen der Kommission wurden geplante Expositionssituationen bei Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“) bereits in geeigneter Weise geregelt. Diese enthalten auch den Schutz bei medizinischen Strahlenanwendungen. Die Planung des Schutzes bei geplanten Expositionssituationen soll Überlegungen zu Abweichungen vom normalen Betriebsablauf, einschließlich von Unfällen und Handlungen mit kri-

minellem Hintergrund enthalten. Expositionen, die unter solchen Umständen geschehen, werden von der Kommission als potenzielle Expositionen bezeichnet. Potenzielle Expositionen gehören nicht zu den geplanten Expositionen, können aber vorsorglich berücksichtigt werden. Der Hersteller und der Nutzer einer Strahlenquelle müssen daher Maßnahmen treffen, um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer potenziellen Exposition zu reduzieren, wie etwa die Abschätzung der Möglichkeit für ein bestimmtes Ereignis und die Einführung angemessener technischer Sicherheitsvorkehrungen. Die Empfehlungen für geplante Expositionssituationen sind im Wesentlichen unverändert gegenüber denen, die in ICRP 60 und den nachfolgenden Veröffentlichungen gegeben wurden. Die Dosisgrenzwerte für berufliche Expositionen und Expositionen der Bevölkerung bei Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“) mit überwachten Strahlenquellen in geplanten Expositionssituationen werden beibehalten.

(s) Strahlenschutz in der Medizin beinhaltet nicht nur den Schutz von Patienten, sondern auch den Schutz von Personen, die strahlenexponiert werden, während sie Patienten betreuen oder begleiten sowie von Probanden in der biomedizinischen Forschung. Der Schutz jeder dieser Gruppen bedarf einer besonderer Betrachtung. Die grundlegenden Empfehlungen der Kommission für den Strahlenschutz und die Sicherheit in der Medizin sind in ICRP 73 (1996a) enthalten, die in einer Reihe von Veröffentlichungen weiter ausgearbeitet wurde. Die Empfehlungen in diesen Veröffentlichungen bleiben gültig und sind im vorliegenden Text sowie in ICRP 105 (2007b), die vom ICRP Committee 3 verfasst worden ist, zusammengefasst.

(t) Die Betonung der Optimierung bei der Anwendung von Referenzwerten in Notfall- und bestehenden Expositionssituationen lenkt die Aufmerksamkeit auf die Höhe der nach Implementierung von Schutzstrategien noch verbleibenden Dosis. Diese verbleibende Dosis soll unter dem Referenzwert liegen. Dieser Wert gibt den Gesamtwert der Restdosis an, der nach Planung der Behörde als Folge eines Notfalls, bzw. in einer bestehenden Situation nicht überschritten werden sollte. Diese Expositionssituationen beinhalten oft eine Vielzahl von Expositionspfaden, so dass Schutzstrategien mit einer Reihe unterschiedlicher Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen sind. Der Prozess der Optimierung wird jedoch fortgesetzt, um die durch spezifische Gegenmaßnahmen zu vermeidende Dosis als wichtige Vorgabe für die Entwicklung optimierter Strategien zu verwenden.

(u) Notfall-Expositionssituationen beinhalten die Berücksichtigung der Notfallvorsorge und des Notfallschutzes. Die Notfallvorsorge soll die Planung für die Implementierung optimierter Schutzstrategien beinhalten mit dem Ziel, Expositionen im Falle eines Notfalles auf Werte zu verringern, die unter dem gewählten Referenzwert liegen. Während der Notfallexposition würde der Referenzwert als Vergleichswert für die Bewertung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen sowie als ein Eingangswert bei der Entscheidung dienen, ob weitere Maßnahmen eingesetzt werden.

(v) Bestehende Expositionssituationen beinhalten natürlich vorkommende Expositionen und Expositionen durch vergangene Ereignisse und Unfälle sowie durch Tätigkeiten oder Arbeiten („practices“), die außerhalb der Empfehlungen der Kommission durchgeführt werden. Bei Situationen dieser Art werden Schutzstrategien oft im interaktiven Prozess und schrittweise über mehrere Jahre in Gang gesetzt. Radon in Wohnungen und an Arbeitsplätzen ist eine wichtige bestehende Expositionssituation, zu der die Kommission 1994 in ICRP 65 (1993b) spezifische Empfehlungen abgegeben hat. Seither haben mehrere epidemiologische Studien das Gesundheitsrisiko durch Radonexposition bestätigt und haben allgemein die Empfehlungen der Kommission zum Schutz vor Radon gestützt. Im Einklang mit der Vorgehensweise der neuen Empfehlungen empfiehlt die Kommission nun, dass die nationalen Behörden als Hilfe zur Optimierung des Schutzes vor Radonexposition nationale Referenzwerte festsetzen sollen. Im Sinne der Kontinuität und Praktikabilität behält die

Kommission den oberen Wert von 10 mSv (effektive Dosis, umgerechnet von 600 Bq m⁻³ Rn-222 in Wohnungen) für den Jahresdosis-Referenzwert bei, wie er in ICRP 65 angegeben ist. Die Kommission bestätigt nochmals, dass Radonexpositionen aus Arbeiten in Bereichen mit Konzentrationen oberhalb des nationalen Referenzwertes als Teil der beruflichen Exposition zu betrachten sind, was für Expositionen unterhalb dieses Wertes nicht gilt. Ungeachtet dessen ist unterhalb des nationalen Referenzwertes die Optimierung des Schutzes erforderlich.

(w) Die neuen Empfehlungen würdigen die Bedeutung des Schutzes der Umwelt. Die Kommission hat sich mit der Umwelt des Menschen bisher nur im Hinblick auf den Transfer von Radionukliden befasst, hauptsächlich im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen. Hinsichtlich solcher Situationen ist die Kommission nach wie vor der Ansicht, dass die für den Schutz der Bevölkerung notwendigen gesetzlichen Regelungen zur Überwachung der Umwelt gewährleisten, dass andere Spezies nicht gefährdet werden. Um einen vernünftigen fachlichen Rahmen für den Schutz der Umwelt in allen Expositionssituationen zur Verfügung zu stellen, schlägt die Kommission vor, Referenztiere und -pflanzen zu verwenden. Um eine Basis für die Akzeptanz zu etablieren, sollen zusätzliche Dosen, die für diese Referenzorganismen errechnet werden, mit Dosiswerten verglichen werden, von denen spezifische biologische Wirkungen bekannt sind und mit Dosisleistungen, die normalerweise in der natürlichen Umwelt vorgefunden werden. Die Kommission schlägt jedoch nicht vor, irgendeine Form von „Dosisgrenzwerten“ für den Strahlenschutz der Umwelt festzulegen.

(x) Obwohl die neuen Empfehlungen keinerlei grundlegende Änderungen der Vorgehensweise im Strahlenschutz beinhalten, erwartet die Kommission, dass diese Empfehlungen die Anwendung des Schutzsystems für eine Reihe von Expositionssituationen verdeutlichen und damit das bereits hohe Niveau des Schutzes noch weiter verbessern.

Literatur

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1994

ICRP, 1993b. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).

deutsch:

Schutz vor Radon-222 zu Hause und am Arbeitsplatz. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 65. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1996

ICRP, 1996a. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73. Ann. ICRP 26 (2).

ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (5).

Glossar

Adaptive → *Response*

Äquivalentdosis H (*dose equivalent*)

(vgl. → Organdosis)

Produkt aus D und Q in einem Punkt des Gewebes, wobei D die → Energiedosis in ICRU-Weichteilgewebe und Q der → Qualitätsfaktor für die betrachtete Strahlung an diesem Punkt ist, also:

$$H = D Q$$

Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Joule durch Kilogramm (J kg^{-1}), der besondere Name ist Sievert (Sv). Zu den entsprechenden Messgrößen siehe → Personendosis und → Umgebungs-Äquivalentdosis

Aktivität A (*activity*)

Erwartungswert für die Anzahl der Kernumwandlungen in einer gegebenen Stoffmenge pro Zeiteinheit. Die SI-Einheit der Aktivität ist die Anzahl der Zerfälle durch Sekunde (s^{-1}). Ihr besonderer Name ist → Becquerel (Bq).

AMAD (*activity median aerodynamic diameter*)

Aerodynamischer Durchmesser von Aerosolpartikeln, der dem Medianwert der Verteilungsdichte der → Aktivität entspricht. Wird verwendet, wenn die Deposition hauptsächlich von inerter Ablagerung und Sedimentation abhängig ist, typischerweise wenn AMAD größer ist als etwa $0,5\mu\text{m}$.

Apoptose (*apoptosis*)

Aktiver biochemischer Prozess des programmierten Zelltods nach Bestrahlung oder anderen Schädigungen.

Arbeiten (*practices^A, activities*)

Im deutschen Sprachraum wird zwischen Arbeiten und → Tätigkeiten unterschieden. Die Begriffe Arbeiten und Tätigkeiten wurden eingeführt, um in der Gesetzgebung zwischen Handlungen zu differenzieren, bei denen die ionisierende Strahlung zum Erreichen des Arbeitsziels eingesetzt wird bzw. eine unvermeidbare Begleiterscheinung ist. Eine genaue Definition der Begriffe Arbeiten, Tätigkeiten und Umgang ist in den jeweiligen nationalen Gesetzgebungen zu finden.

vgl. → Tätigkeit → Umgang

Arbeitgeber/in (*employer*)

Natürliche oder juristische Person, die gemäß der nationalen Gesetzgebung gegenüber einer oder einem → Beschäftigten in ihrer bzw. seiner Beschäftigung kraft einer wechselseitig vereinbarten Beziehung verantwortlich, haftbar und verpflichtet ist. Eine selbständige Person gilt sowohl als Arbeitgeber/-in als auch als → Beschäftigte/r.

attributabel (*attributable*)

Zuschreibbar; z.B. verwendet zur Beschreibung des einer Noxe zuschreibbaren Anteils am Krankheitsgeschehen.

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet A. d. Ü.

Ausschluss (*exclusion*)

Bewusster Ausschluss einer bestimmten Expositionsart vom Anwendungsbereich einer gesetzlichen Regelung

Becquerel (Bq)

Besonderer Name für die SI-Einheit der → Aktivität, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ ($\approx 2,7 \cdot 10^{11} \text{ Ci}$).

Befreiung (*exemption*)

Entscheidung durch den Gesetzgeber bzw. die zuständige Behörde, dass eine Strahlenquelle oder eine Tätigkeit, die mit Strahlenexposition verbunden ist, nicht Gegenstand einiger oder aller Gesichtspunkte der behördlichen Aufsicht sein muss.

Berufliche → *Strahlenexposition*

Beschäftigte/r (*worker*)

Jede Person, die Vollzeit, Teilzeit oder vorübergehend durch einen → Arbeitgeber oder selbstständig beschäftigt ist und anerkannte Rechte und Pflichten in Bezug auf den beruflichen Strahlenschutz hat.

Betriebsleitung (*operating management*)

Diejenige Person oder Personengruppe, die einer Organisation auf höchster Ebene vorsteht, sie beaufsichtigt und bewertet. Es gibt viele verschiedene Bezeichnungen wie z.B. Vorstandsvorsitzender, Generaldirektor, geschäftsführender Direktor und Geschäftsleitung.

Bewilligungsinhaber → *Genehmigungsinhaber*

Bioassay (*bioassay*)

Verfahren zur Bestimmung der Art, → Aktivität, Lage oder Retention von Radionukliden im Körper durch In-vivo-Messung oder In-vitro-Analyse von Stoffen, die aus Körperausscheidungen oder durch Entnahme aus dem Körper gewonnen wurden.

Biologische Halbwertszeit (*biological half-life*)

Zeit, die ein biologisches System oder Kompartiment benötigt, um mittels biologischer Prozesse die Hälfte der zugeführten Menge einer Substanz (z.B. radioaktive Stoffe) auszuscheiden.

Brachytherapie (*brachytherapy*)

Strahlenbehandlung eines Patienten unter Verwendung umschlossener oder offener Strahlenquellen im oder am Körper des Patienten.

„**Bystander-Effekt**“ (*bystander effect*)

Reaktion unbestrahlter Zellen, die durch Signale getriggert werden, die von bestrahlten Nachbarzellen ausgehen.

Deterministische → *Wirkung*

Detriment → *Schadensmaß*

detriment-angepasstes → *Risiko*

Differenzierung (*differentiation*)

Prozess, durch den → Stammzellen in einen Proliferationspfad gelangen, über den Tochterzellen spezialisierte Funktionen erwerben.

DMF

Dosismodifizierungsfaktor: Verhältniszahl von Dosen, die mit und ohne modifizierende Wirkstoffe das gleiche Ausmaß von biologischen Wirkungen verursachen.

DNA-Schädigung:

Signal einer DNA-Schädigung (*DNA damage signalling*)

Wechselwirkende biochemische Prozesse, die eine DNA-Schädigung in Zellen erkennen und darauf reagieren, z. B. indem sie eine Verzögerung des reproduktiven Zellzyklus bewirken.

Dosis:**effektive Dosis E** (*effective dose*)

Summe der gewichteten \rightarrow Organdosen für alle angegebenen Gewebe und Organe des Körpers, gegeben durch den Ausdruck

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

wobei H_T bzw. $w_R D_{T,R}$ die \rightarrow Organdosis in dem Gewebe oder Organ T und w_T der \rightarrow Gewebe-Wichtungsfaktor ist. Die Einheit der effektiven Dosis ist wie die der \rightarrow Energiedosis das J kg^{-1} , und ihr besonderer Name ist Sievert (Sv).

Dosis:**effektive Folgedosis E(τ)** (*committed effective dose*)

Summe der Produkte aus den \rightarrow Organ-Folgedosen und den zugehörigen \rightarrow Gewebe-Wichtungsfaktoren (w_T), wobei τ die Integrationszeit in Jahren nach der Aktivitätszufuhr ist. Der Folgezeitraum beträgt 50 Jahre für Erwachsene und erstreckt sich bis zum Alter von 70 Jahren für Kinder.

Dosis:**kollektive effektive Dosis S** (*collective effective dose*)

Die kollektive effektive Dosis wird aus Werten effektiver Dosen einzelner Personen zwischen E_1 und E_2 von einer bestimmten Quelle innerhalb einer bestimmten Zeit ΔT berechnet. Sie ist definiert als

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

Sie kann annähernd bestimmt werden durch die Summe $S = \sum_i E_i N_i$, wobei E_i die mittlere effektive Dosis in einer Untergruppe i , und N_i die Anzahl der Personen in dieser Untergruppe ist. Die Zeitdauer und die Anzahl der Personen, über die die Werte der effektiven Dosis summiert werden, sollen stets angegeben werden. Die Einheit der kollektiven effektiven Dosis ist das Joule durch Kilogramm (J kg^{-1}), ihr besonderer Name ist Personen-Sievert (man Sv). Die Anzahl der Personen $N(E_1, E_2, \Delta T)$, die eine effektive Dosis im Bereich E_1 bis E_2 in der Zeit ΔT erhalten, ist

$$N(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

Der Mittelwert der effektiven Dosis $\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T)$ im Intervall der individuellen Dosen von E_1 bis E_2 über die Zeit ΔT ist:

$$\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T) = \frac{1}{N(E_1, E_2, \Delta T)} \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

Dosis:**verbleibende Dosis** (*residual dose*)

erwarteter Wert der Dosis nach Durchführung von (einer) Schutzmaßnahme(n), (bzw. nachdem entschieden wurde, keine Maßnahme(n) zu treffen).

Dosis:**vermeidbare Dosis** (*averted dose*)

Durch Anwendung einer Schutzmaßnahme bzw. einer Reihe von Maßnahmen verhinderte oder vermeidbare Dosis, d.h. die Differenz zwischen der bei Nichtdurchführung der Maßnahme(n) zu erwartenden Dosis und der bei Durchführung der Maßnahme(n) tatsächlich zu erwartenden Dosis.

Dosis:**zu erwartende Dosis** (*projected dose*)

Dosis, die man erwartet, wenn keine Schutzmaßnahme(n) zu treffen ist / sind.

Dosisgrenzwert (*dose limit*)

Der Wert der effektiven Dosis oder der Organdosis einer einzelnen Person aus geplanten Expositionssituationen, der nicht überschritten werden darf.

Dosiskoeffizient (*dose coefficient*)

Der Quotient aus Dosis und Aktivitätszufuhr eines radioaktiven Stoffes. Dient manchmal auch zur Beschreibung anderer Koeffizienten, die Aktivitäten oder Aktivitätskonzentrationen mit Dosen oder Dosisleistungen verknüpfen, z. B. die externe Dosisleistung in einer bestimmten Entfernung oberhalb einer Oberfläche mit einer Deposition einer bestimmten Aktivität pro Flächeneinheit eines bestimmten Radionuklids auf dieser Fläche.

Dosisrichtwert^B (*dose constraint*)

Prospektive und quellenbezogene Beschränkung der individuellen Dosis aus einer Quelle. Der Dosisrichtwert stellt ein grundlegendes Niveau des Schutzes für die quellenbezogene Exposition einer Person dar und dient als Obergrenze des Dosiswertes bei der Optimierung des Schutzes gegenüber dieser Quelle. Für berufliche Strahlenexpositionen ist der Dosisrichtwert die individuelle Dosis, die verwendet wird, um den Bereich der Möglichkeiten zu beschränken, die im Optimierungsverfahren betrachtet werden. Für Expositionen der Bevölkerung ist der Dosisrichtwert eine Obergrenze für die jährliche Dosis, die Personen der Bevölkerung durch den geplanten Betrieb einer überwachten Quelle erhalten könnten.

Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF)*(dose and dose-rate effectiveness factor)*

Bewertungsfaktor, der die gewöhnlich geringere biologische Wirksamkeit (pro Dosis Einheit) der Strahlenexposition bei niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen im Vergleich zu Expositionen bei hohen Dosen und hohen Dosisleistungen berücksichtigt.

^B „Constraint“ wurde in der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Schranke“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen das Äquivalent „Richtwert“ verwendet. Der Ausdruck „Richtwert“ als Übersetzung von „constraint“ ist nicht zu verwechseln mit dem im Deutschen Recht benutzten Begriff „Richtwert“. A. d. Ü.

Dosis-Wirkungs-Beziehung:**lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung** (*linear dose response*)

Modell, welches das Risiko einer Wirkung (z.B. Erkrankung) als direkt proportional zur Dosis ausdrückt.

effektive → *Dosis*

effektive Folgedosis → *Dosis*

Effektivitätsfaktor → *Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor*

Energiedosis D (*absorbed dose*^C)

Grundlegende Dosisgröße, definiert durch die Beziehung

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

wobei $d\bar{\varepsilon}$ die mittlere Energie ist, die durch ionisierende Strahlung auf die Materie der Masse dm übertragen wird. Die SI-Einheit der Energiedosis ist das Joule durch Kilogramm (J kg^{-1}). Ihr besonderer Name ist das Gray (Gy).

Energiedosis:**mittlere Energiedosis D_T in einem Gewebe oder Organ T**

(*mean absorbed dose in a tissue or organ (T)*)

Die Energiedosis D_T , gemittelt über das Gewebe oder Organ T, das gegeben ist durch

$$D_T = \frac{\varepsilon_T}{m_T}$$

wobei ε_T die mittlere Energie ist, die auf ein Gewebe oder Organ T übertragen wird, und m_T die Masse dieses Gewebes oder Organs.

Energieübertragungsvermögen:**lineares Energieübertragungsvermögen L (LET)**

(*linear energy transfer*)

Mittlerer Energieverlust dE geladener Teilchen in einem Medium dividiert durch die Weglänge dl , d.h. der Energieverlust pro Wegstrecke in einem Material. Dabei ist dE die mittlere Energie, die ein geladenes Teilchen infolge von Kollisionen mit Elektronen auf einer Wegstrecke dl durch Materie verliert.

$$L = \frac{dE}{dl}$$

Die Einheit des Energieübertragungsvermögens ist J m^{-1} , häufig angegeben als $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$.

Erkrankungen:**multifaktorielle Erkrankungen** (*multifactorial diseases*)

Erkrankungen, die auf mehrere genetische und umweltbedingte Faktoren zurückzuführen sind.

Exposition → *Strahlenexposition*

^C In der Gesetzgebung der Schweiz als „absorbierte Dosis“ bezeichnet. A. d. Ü.

Expositionen, potenzielle (*potential exposure*)

Expositionen, die nicht mit Sicherheit zu erwarten sind, die jedoch durch einen Unfall bei einer → Quelle oder durch ein Ereignis oder eine Folge von Ereignissen probabilistischer Natur hervorgerufen werden können, wozu auch das Versagen technischer Einrichtungen sowie Bedienungsfehler gehören.

Expositionskategorien (*categories of exposure*)

Die Kommission unterscheidet drei Kategorien von → Strahlenexpositionen: berufliche Expositionen, Expositionen der Bevölkerung und medizinische Expositionen.

Expositionssituation:**bestehende Expositionssituation** (*existing exposure situation*)

Situation, die bereits besteht, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss. Eingeschlossen sind z.B. auch Situationen, die natürliche Strahlung und Rückstände früherer Tätigkeiten betreffen.

Expositionssituationen:**geplante Expositionssituationen** (*planned exposure situations*)

Situationen, die den geplanten Betrieb von Quellen einschließlich der Stilllegung, der Beseitigung von radioaktivem Abfall und der Sanierung zuvor belasteter Gebiete mit sich bringen. Laufende Tätigkeiten sind geplante Expositionssituationen.

Expositionssituation:**Notfall-Expositionssituation** (*emergency exposure situation*)

Mit Strahlenexposition verbundener Notfall, der während Tätigkeiten oder Arbeiten auftreten oder sich daraus entwickeln kann und Sofortmaßnahmen erfordert.

Fluenz / Teilchenfluenz Φ (*fluence / particle fluence*)

Quotient aus dN und da , wobei dN die Anzahl der auf eine kleine Kugel der Querschnittsfläche da auftreffenden Teilchen ist, also

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Folgedosis E_c (*dose commitment*)

Das unbegrenzte Zeitintegral der Körperdosisleistung \dot{E} einer Person aufgrund eines angegebenen Ereignisses, das Ableitungen verursacht, z.B. während eines Jahres einer geplanten Tätigkeit. Für den Fall unbegrenzter, zeitlich gleich bleibender Ableitungen wird die höchste jährliche Körperdosis (\dot{E}) für die angegebene Bevölkerungsgruppe in der Zukunft den gleichen Zahlenwert haben wie die Folgedosis durch die Tätigkeit innerhalb eines Jahres unabhängig von Veränderungen im Umfang der Bevölkerungsgruppe. Wird die Ableitungen verursachende Tätigkeit nur über eine bestimmte Zeit τ fortgesetzt, dann ist die maximale zukünftige Körperdosis einer Person die gleiche wie die entsprechende zeitlich begrenzte Folgedosis, die wie folgt definiert wird:

$$E_c(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{E}(t) dt$$

Genehmigungsinhaber (*licensee*)^D

Inhaber einer Umgangsgenehmigung bzw. -bewilligung, die von der zuständigen Behörde ausgestellt wurde.

Gewebereaktion (*tissue reaction*)

Siehe deterministische → Wirkung.

Gewebe-Wichtungsfaktor w_T (*tissue weighting factor*)

Faktor, mit dem die Organdosis in einem Gewebe oder Organ T gewichtet wird, um den relativen Beitrag dieses Gewebes oder Organs zum gesamten bei homogener Bestrahlung des Körpers hervorgerufenen → Schadensmaß (Detriment) wiederzugeben. (ICRP 1991b). Dabei gilt:

$$\sum_T w_T = 1$$

Gray (Gy)

Besonderer Name für die SI-Einheit der → Energiedosis und der → Kerma: 1 Gy = 1 J kg⁻¹.

Grundsätze des Schutzes (*principles of protection*)

Eine Reihe von Grundsätzen, die gleichermaßen für alle kontrollierbaren Expositionssituationen gelten: der Grundsatz der Rechtfertigung einer Exposition, der Grundsatz der Optimierung des Schutzes und der Grundsatz der Anwendung von Grenzwerten für maximale Dosen bei geplanten Situationen.

Induzierte genomische Instabilität (*induced genomic instability*)

Induktion eines veränderten zellulären Status, der durch eine persistierende Zunahme der Spontanrate von Mutationen oder anderen genetisch bedingten Veränderungen gekennzeichnet ist. Der Zustand entwickelt sich über viele Zellgenerationen und manifestiert sich spät.

Inzidenz / Inzidenzrate (*incidence / incidence rate*)

Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Erkrankung in einer definierten Population, oft ausgedrückt als Anzahl der Erkrankungsfälle pro 100.000 Personen. Wird die Inzidenz auf einen Zeitraum bezogen, spricht man von Inzidenzrate.

Jahresaktivitätszufuhr AI (*annual intake*)

Menge eines bestimmten Radionuklids, das durch Ingestion oder Inhalation innerhalb eines Jahres in den menschlichen Körper gelangt.

Kerma K

Quotient aus der Summe der kinetischen Energien dE_{tr} aller geladenen Teilchen, die durch ungeladene Teilchen in einer Masse dm eines Materials freigesetzt werden, und der Masse dm dieses Materials.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Die Einheit der Kerma ist das Joule pro Kilogramm (J kg⁻¹), ihr besonderer Name ist → Gray.

^D In der Gesetzgebung der Schweiz und der Republik Österreich „Bewilligungsinhaber“. A. d. Ü.

Knochenmark, aktives / rotes (*active / red bone marrow*)

Das Organsystem Knochenmark enthält die Zellsysteme für die Bildung von Blutzellen, ausgehend von den pluripotenten hämatopoetischen Stammzellen bis hin zu den reifen Blutzellen.

Körperdosisgrößen (*protection quantities*)

Von der Kommission benutzte Dosisgrößen für den Strahlenschutz, die es ermöglichen, die Exposition des menschlichen Körpers durch ionisierende Strahlung zu quantifizieren. Dies umfasst Ganz- und Teilkörper-Bestrahlung sowohl von außen als auch von innen durch Zufuhr von Radionukliden.

Kollektivdosis (*collective dose*)

Siehe „kollektive effektive → Dosis“.

Kontrollbereich (*controlled area*)

Definierter Bereich, in dem spezifische Schutzmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind oder sein könnten, um normale Expositionen zu kontrollieren oder die Verbreitung einer Kontamination während normaler Arbeitsbedingungen zu verhindern sowie potenzielle Expositionen zu verhindern oder das Ausmaß zu begrenzen. Ein Kontrollbereich befindet sich häufig, aber nicht notwendigerweise, innerhalb eines → Überwachungsbereichs.

Lebenszeit:**relativer Verlust an Lebenszeit** (*relative life lost*)

Verhältnis des Anteils des beobachteten Verlusts an Lebensjahren bei Personen einer exponierten Bevölkerung, die an einer Erkrankung sterben, und des entsprechenden Anteils in einer vergleichbaren Population ohne die Exposition.

LET (*linear energy transfer*)

Siehe „lineares → Energieübertragungsvermögen“.

Life Span Study (LSS)

Langzeit-Kohortenstudie über gesundheitliche Wirkungen bei den Atombomben-Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki.

LNT-Modell; Modell der Linearität ohne Schwellendosis

(*linear-non-threshold (LNT) model*)

Modell der Dosis-Wirkungs-Beziehung, das auf der Annahme beruht, dass im niedrigen Dosisbereich bei Strahlendosen größer als Null das Risiko zusätzlicher Krebsfälle und/oder vererbbarer Erkrankungen direkt proportional zur Dosis ansteigt.

medizinische → *Strahlenexposition*

Messgrößen → *Operationelle Größen*

NORM (*naturally occurring radioactive material*)

Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe, die keine erheblichen Mengen von anderen Radionukliden enthalten. Stoffe, in denen die Aktivitätskonzentrationen der natürlich vorkommenden Radionuklide durch bestimmte Prozesse verändert wurden, sind in NORM inbegriffen.

Notfall (*emergency*)

Nicht routinemäßige Situation oder nicht routinemäßiges Ereignis, die bzw. das unverzügliche Maßnahmen erfordert, in erster Linie um eine Gefährdung oder nachteilige Folgen für

Gesundheit und Sicherheit, Lebensqualität, Eigentum von Menschen sowie für die Umwelt zu mindern. Dies schließt Situationen ein, für die unverzügliches Handeln gerechtfertigt ist, um die Folgen einer wahrgenommenen Gefährdung abzuschwächen.

Notfall-Expositionssituation → *Expositionssituation: Notfall-Expositionssituation*

Operationelle Größen (*operational quantities*)

Bei externer Exposition versteht man darunter Dosismessgrößen, die bei praktischen Anwendungen für die Überwachung und Prüfung von Situationen verwendet werden. Sie sind messbar und dienen zur Abschätzung von → Körperdosen.

Zur Dosisermittlung bei Inkorporation wurden keine Messgrößen definiert, die direkt eine Abschätzung der Organdosen oder der effektiven Dosis ergeben, statt dessen werden verschiedene Methoden zur Abschätzung der Organdosis oder der effektiven Dosis durch Radionuklide im menschlichen Körper angewendet. Diese beruhen auf Aktivitätsmessungen und der Anwendung biokinetischer Modelle (Rechenmodelle).

Optimierung des Schutzes (und der Sicherheit)

(*optimisation of protection (and safety)*)

Vorgehen zum Erreichen eines Schutz- und Sicherheitsgrads, bei dem tatsächliche Expositionen und die Wahrscheinlichkeit und Höhe potenzieller Expositionen so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar werden. Dabei sollen wirtschaftliche und gesellschaftliche Faktoren berücksichtigt werden.

Organdosis H_T (*equivalent dose*)^E

Dosis in einem Gewebe oder Organ T gegeben durch:

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

wobei $D_{T,R}$ die mittlere → Energiedosis durch die Strahlung R in einem Gewebe oder Organ T und w_R der → Strahlungs-Wichtungsfaktor ist. Da w_R dimensionslos ist, ist die Einheit für die Organdosis die gleiche wie für die Energiedosis, das $J\ kg^{-1}$; ihr besonderer Name ist Sievert (Sv).

Organ-Folgedosis $H_T(\tau)$ (*committed equivalent dose*)

Zeitintegral der Organdosisleistung in einem bestimmten Gewebe oder Organ, die eine → Referenzperson nach der Zufuhr eines radioaktiven Stoffes in den Körper erhalten wird, wobei τ die Integrationszeit in Jahren ist.

Person:

strahlenexponierte Personen (*exposed individuals*)

Die Kommission unterscheidet drei Gruppen strahlenexponierter Personen entsprechend der → Expositionskategorie: (1) → Beschäftigte, (über ihre Exposition unterrichtete Personen) siehe berufliche → Strahlenexposition, (2) die Bevölkerung (siehe → Strahlenexposition der Bevölkerung), (3) Patienten, einschließlich ihrer Begleit- und Betreuungspersonen sowie Probanden (siehe medizinische → Strahlenexposition).

^E In der Gesetzgebung der Republik Österreich und der Schweiz gegenwärtig als „Äquivalentdosis“ bezeichnet. A. d. Ü.

Person:**repräsentative Person** (*representative person*)

Person, die eine Dosis erhält, die für eine höher exponierte Person einer Bevölkerungsgruppe repräsentativ ist (siehe Veröffentlichung 101, ICRP 2006a). Dieser Terminus entspricht dem in früheren Empfehlungen der Kommission beschriebenen Terminus „typische Person einer kritischen Gruppe“ und ersetzt diesen.

Personendosis $H_p(d)$ (*personal dose equivalent*)

Eine Dosismessgröße. Die \rightarrow Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in einer geeigneten Tiefe d unter der Stelle der Körperoberfläche, an der das Personendosimeter getragen wird. Die Einheit der Personendosis ist das Joule pro Kilogramm ($J\ kg^{-1}$), ihr besonderer Name ist Sievert (Sv).

potenzielle \rightarrow Expositionen (*potential exposure*)

Qualitätsfaktor $Q(L)$ (*quality factor*)

Faktor, der die biologische Wirksamkeit einer Strahlung auf der Grundlage der Ionisationsdichte entlang den Spuren geladener Teilchen im Gewebe kennzeichnet. Q ist definiert als eine Funktion des unbeschränkten \rightarrow LET (L) geladener Teilchen in Wasser:

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & L < 10\ keV / \mu m \\ 0,32L - 2,2 & 10 \leq L \leq 100\ keV / \mu m \\ 300 / \sqrt{L} & L > 100\ keV / \mu m \end{cases}$$

Bei der Definition der Organdosen wurde Q durch den Strahlungs-Wichtungsfaktor ersetzt. Q wird jedoch nach wie vor für die Definition der Äquivalentdosis (Dosismessgrößen) verwendet.

Quelle (*source*)

Objekt, von dem Strahlung ausgeht und für das Strahlenschutz als integrales Ganzes optimiert werden kann, wie z.B. Röntgeneinrichtungen, Strahlengeneratoren, offene und umschlossene radioaktive Stoffe. Allgemein: die Ursache für die Exposition durch ionisierende Strahlung.

Quellregion S (*source region*)

Ein anatomischer Bereich innerhalb des Körpers (\rightarrow Referenzphantom), der die Radionuklide nach ihrer Zufuhr enthält. Dabei kann es sich um ein Organ, ein Gewebe, den Inhalt des Gastrointestinaltrakts oder der Harnblase handeln, oder um Gewebeoberflächen wie im Skelett, dem Verdauungstrakt oder dem Respirationstrakt.

Radioaktive \rightarrow Stoffe

RBW siehe „Relative biologische \rightarrow Wirksamkeit“.

Rechtfertigung (*justification*)

Entscheidungsprozess, ob entweder (1) eine geplante menschliche Tätigkeit, die mit Strahlung verbunden ist, insgesamt von Nutzen ist, d.h. ob der Nutzen der Einführung oder Fortführung der Tätigkeit für den Einzelnen und für die Gesellschaft gegenüber dem daraus resultierenden Schaden insgesamt (einschließlich des strahlenbedingten Gesundheitsschadens (\rightarrow Detriments) überwiegt oder (2) eine vorgesehene Maßnahme in einem \rightarrow Notfall oder in einer bestehenden \rightarrow Expositionssituation wahrscheinlich insgesamt von Nutzen ist, d.h. ob der durch Einführung oder Fortführung der Maßnahme bedingte Nutzen

(einschließlich der Verringerung des Schadensmaßes (Detriments)) für den Einzelnen und für die Gesellschaft die Kosten der Maßnahme und alle durch sie verursachten Schäden überwiegt.

Referenzmensch:

männlicher und weiblicher Referenzmensch

(reference male and reference female)

Idealisierter Mann bzw. idealisierte Frau mit charakteristischen Merkmalen, die von der Kommission für den Zweck des Strahlenschutzes definiert wurden, d. h. mit den anatomischen und physiologischen Eigenschaften, die in dem Bericht der Kommission über den Referenzmenschen (Veröffentlichung 89, ICRP 2002) definiert sind.

Referenzparameter *(reference value)*

Von der Kommission für die Verwendung in einem biokinetischen Modell empfohlener Wert eines Parameters für den Fall, dass keine spezifischere Information vorliegt, d. h. der genaue Wert, der verwendet wird, um die im Bericht vorgelegten Dosiskoeffizienten zu berechnen. Um die Akkumulation von Rundungsfehlern in einer Rechnung zu vermeiden, können Referenzparameter mit einem Genauigkeitsgrad festgelegt werden, der größer ist als es aufgrund der Unsicherheit gerechtfertigt wäre, mit der experimentelle Daten bekannt sind.

Referenzperson *(reference person)*

Idealisierte Person, für die die Organdosen errechnet werden, indem die entsprechenden Dosiswerte des männlichen und weiblichen → Referenzmenschen gemittelt werden. Die Organdosen der Referenzperson werden mit den entsprechenden → Gewebe-Wichtungsfaktoren multipliziert, um die effektive → Dosis zu berechnen.

Referenzphantom *(reference phantom)*

Voxelphantome für den menschlichen Körper (männliche und weibliche Voxelphantome auf der Grundlage von Daten der medizinischen Bildgebung) mit den anatomischen und physiologischen Charakteristika, die in der ICRP-Publikation für den Referenzmenschen definiert sind (Veröffentlichung 89, ICRP 2002).

Referenztiere und -pflanzen *(reference animals and plants)*

Idealisierte Organismen mit angenommenen grundlegenden Merkmalen eines bestimmten Tier- oder Pflanzentyps, wie sie allgemein einer Familie auf der taxonomischen Ebene zugeschrieben werden, mit definierten anatomischen, physiologischen und abstammungshistorischen Eigenschaften, die verwendet werden können, um eine Beziehung zwischen Exposition und Dosis sowie zwischen Dosis und Wirkungen für diesen Typ von lebendem Organismus herstellen zu können.

Referenzwert *(reference level)*

Gibt bei → Notfallexpositionen oder bestehenden kontrollierbaren → Expositionssituationen den Dosis- oder Risikowert an, bei dessen Überschreitung Expositionen als unangemessen betrachtet werden und bei dessen Unterschreitung eine Optimierung des Schutzes durchgeführt werden soll. Der genaue Zahlenwert, der als Referenzwert gewählt wird, hängt von den jeweiligen Umständen der betrachteten Exposition ab. Man spricht dann ggf. auch von Richtwert oder Maßnahmenwert.

Referenzwert:**diagnostischer Referenzwert** (*diagnostic reference level*)

Wird in der medizinischen Bildgebung für ein bestimmtes Untersuchungsverfahren unter Routinebedingungen definiert und verwendet, um festzustellen, ob die daraus resultierende Dosis bzw. die dabei verabreichte Aktivität ungewöhnlich hoch oder niedrig ist.

Response:**Adaptive Response** (*adaptive response*)

Zelluläre Reaktion nach Bestrahlung, die typischerweise dazu beiträgt, die Resistenz der Zelle gegenüber nachfolgender Strahlenexposition zu erhöhen.

repräsentative → *Person*

Richtungs-Äquivalentdosis $H'(d,\Omega)$ (*directional dose equivalent*)

→ Äquivalentdosis an einem Punkt im Strahlungsfeld, die im zugehörigen aufgeweiteten Strahlungsfeld auf einem in festgelegter Richtung Ω orientierten Radius der ICRU-Kugel in der Tiefe d erzeugt würde. Die Einheit der Richtungs-Äquivalentdosis ist das Joule pro Kilogramm (J kg^{-1}), ihr besonderer Name ist Sievert (Sv).

Richtwert → *Referenzwert*

Risikoeffizient:**nomineller Risikoeffizient** (*nominal risk coefficient*)

Über Geschlecht und Expositionsalter gemittelte Abschätzung des Lebenszeitrisikos pro Dosis für eine repräsentative Bevölkerungsgruppe.

Risikorichtwert (*risk constraint*)

Prospektive und quellenbezogene Beschränkung des individuellen Strahlenrisikos (im Sinne der Wahrscheinlichkeit eines gesundheitlichen Risikos (→ Detriments) infolge einer potenziellen → Exposition). Der Risiko-Richtwert definiert einen grundlegenden Schutzgrad für diejenigen Personen, die dem Risiko durch eine Quelle am meisten ausgesetzt sind. Er bestimmt die Obergrenze für das individuelle Risiko bei der → Optimierung des Strahlenschutzes. Das Risiko ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten Ereignisses, das eine Dosis verursacht, und aus der Wahrscheinlichkeit eines gesundheitlichen Risikos (→ Detriments) durch diese Dosis. Risiko-Richtwerte entsprechen Dosis-Richtwerten, beziehen sich aber auf potenzielle Expositionen.

Schadensmaß (Detriment)

(*detriment, radiation detriment*)

Gesamter Gesundheitsschaden einer Person aus einer exponierten Gruppe und deren Nachkommen als Folge der Exposition der Gruppe durch eine Strahlenquelle. Detriment ist ein multidimensionaler Begriff. Seine Hauptbestandteile sind die stochastischen Effekte: Wahrscheinlichkeit für attributable Krebsmortalität, gewichtete Wahrscheinlichkeit für attributable Krebserkrankungen ohne Todesfolge, gewichtete Wahrscheinlichkeit für schwerwiegende vererbare Defekte oder vererbare Erkrankungen und Verlust an Lebenszeit, wenn der Schaden eintritt.

Schwellendosis für Gewebereaktionen (*threshold dose for tissue reactions*)

Schätzwert der Dosis, die nur in 1% aller Fälle Gewebereaktionen hervorruft.

Sicherheit (*safety*)

Gewährleistung bestimmungsgemäßer Betriebsbedingungen, Unfallvorsorge und Minderung von Unfallfolgen.

Sicherung (*security*)

Verhinderung und Aufdeckung von sowie Reaktion auf Diebstahl, Sabotage, unbefugten Zugang, illegale Verbringung oder andere Handlungen mit kriminellem Hintergrund, die Kernmaterialien, andere radioaktive Stoffen oder damit verbundene Anlagen betreffen.

Sievert (Sv)

Der besondere Name der SI-Einheit für die → Organdosis, die effektive → Dosis und → Dosismessgrößen im Strahlenschutz. Die Einheit ist das Joule pro Kilogramm (J kg^{-1}).

Signal einer → DNA-Schädigung

Spezifischer absorbierter Bruchteil (*specific absorbed fraction*)

Der Bruchteil der in einer → Quellregion S emittierten Energie einer bestimmten Strahlenart, der in 1 kg einer Zielregion T absorbiert wird.

Spontanrate (*baseline rates*)

Jährliche Erkrankungshäufigkeit einer Bevölkerung ohne Exposition durch das zu untersuchende Agens.

Stammzelle (*stem cell*)

Undifferenzierte, pluripotente Zelle, die zu unbegrenzter Zellteilung fähig ist.

stochastische → Strahlenwirkungen

Stoffe:**radioaktive Stoffe** (*radioactive material*)

Stoffe, die nach nationalem Recht aufgrund ihrer Radioaktivität der Aufsicht durch die zuständige Behörde unterliegen. Dabei wird häufig sowohl die Aktivität als auch die Aktivitätskonzentration berücksichtigt.

Strahlenexposition:**berufliche Strahlenexposition** (*occupational exposure*)

Alle Expositionen von Beschäftigten während ihrer Arbeit. Darin nicht enthalten sind (1) Expositionen, die von der regulatorischen Kontrolle ausgeschlossen wurden und Expositionen durch Tätigkeiten und Quellen, die von der Überwachung befreit sind, (2) medizinische Expositionen und (3) Expositionen durch die normale natürliche Hintergrundstrahlung.

Strahlenexposition:**medizinische Strahlenexposition** (*medical exposure*)

Expositionen, die Patienten als Teil ihrer eigenen medizinischen oder zahnmedizinischen Diagnose oder Behandlung erhalten und Expositionen, die Personen, die nicht beruflich exponiert sind, wissentlich erhalten, während sie freiwillig bei der Betreuung und Begleitung von Patienten helfen, sowie Expositionen, die Probanden im Rahmen eines biomedizinischen Forschungsprogramms erhalten.

Strahlenexposition der Bevölkerung (*public exposure*)

Exposition von Personen der Bevölkerung durch Strahlenquellen, mit Ausnahme beruflicher oder medizinischer Expositionen sowie der Exposition durch die normale natürliche Hintergrundstrahlung.

Strahlenschutzbereich (*designated area*)^F

Bereich, der entweder "kontrolliert" (→ Kontrollbereich) oder "überwacht" (→ Überwachungsbereich) ist.

Strahlenwirkungen:**stochastische Strahlenwirkungen** (*stochastic effects of radiation*)

Maligne Erkrankungen und vererbare Defekte, für welche die Wahrscheinlichkeit des Auftretens, jedoch nicht der Schweregrad, als eine Funktion der Dosis ohne Schwellenwert betrachtet wird.

Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R (*radiation weighting factor*)

Dimensionsloser Faktor, mit dem die Energiedosis im Organ oder im Gewebe multipliziert wird, um die höhere biologische Wirksamkeit von Strahlung mit hohem im Vergleich zu Strahlung mit niedrigem → LET zu berücksichtigen.

Tätigkeit (*practice, activity*)

Handlungen, bei denen ionisierende Strahlung zum Erreichen des Tätigkeitsziels eingesetzt wird. Vgl. → Arbeiten → Umgang

Teilchenfluenz → *Fluenz*

Überwachungsbereich (*supervised area*)

Definierter Bereich, der nicht als → Kontrollbereich ausgewiesen ist, für den jedoch berufliche Expositionsbedingungen der Überwachung unterliegen, obgleich normalerweise keine spezifischen Schutzmaßnahmen oder Sicherheitsvorkehrungen benötigt werden.

Umgang (*practice, activity*)

Unter Umgang mit radioaktiven Stoffen versteht man Gewinnung, Erzeugung, Lagerung, Bearbeitung, Verarbeitung, sonstige Verwendung und Beseitigung von radioaktiven Stoffen, soweit es sich nicht um Arbeiten handelt, sowie den Betrieb von Bestrahlungsvorrichtungen. Vgl. → Arbeiten → Tätigkeit

Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ (*ambient dose equivalent*)

→ Äquivalentdosis an einem Punkt im Strahlungsfeld, die im zugehörigen aufgeweiteten und ausgerichteten Strahlungsfeld auf dem der Einfallrichtung der Strahlung entgegengesetzten Radiusvektor der ICRU-Kugel in 10 mm Tiefe erzeugt würde. Die Einheit der Umgebungs-Äquivalentdosis ist das Joule durch Kilogramm (J kg^{-1}). Ihr besonderer Name ist → Sievert (Sv).

Verdoppelungsdosis (*doubling dose*)

Dosis, die erforderlich ist, um ebenso viele Mutationen zusätzlich zu erzeugen wie spontan in einer Generation vorkommen.

Verhältnis alpha/beta (*α/β ratio*)

Maß für die Krümmung der Zellüberlebenskurve und ein Maß für die Empfindlichkeit eines Gewebes oder Tumors bei Dosis-Fraktionierung. Die Dosis, bei der die linearen und quadratischen Anteile der Zelltötung gleich sind.

Voxelphantom (*voxel phantom*)

Für Rechnungen definiertes anthropomorphes Phantom, das auf tomografischen Aufnahmen beruht. Die Anatomie wird durch kleine dreidimensionale Volumenelemente (voxel)

^F In der Gesetzgebung der Republik Österreich: Strahlenbereich. A. d. Ü.

beschrieben, mit denen die Dichte und der anatomische Aufbau der verschiedenen Organe und Gewebe des menschlichen Körpers wiedergegeben werden.

Wirksamkeit:

relative biologische Wirksamkeit (RBW) (*relative biological effectiveness (RBE)*)

Verhältnis der Dosis einer Referenzstrahlung mit niedrigem LET zu der Dosis der betrachteten Strahlung, die eine identische biologische Wirkung hat. RBW-Werte variieren mit der Dosis, der Dosisleistung und dem betrachteten biologischen Endpunkt. Im Strahlenschutz ist die RBW für stochastische Wirkungen bei niedrigen Dosen (RBW_M) von besonderem Interesse.

Wirkung:

deterministische Wirkung (*deterministic effect*)

Schaden in Zellpopulationen, der durch eine → Schwellendosis und eine Zunahme des Schweregrads der Wirkung mit zunehmender Dosis gekennzeichnet ist. Auch als Gewebereaktion (*tissue reactions*) bezeichnet. In einigen Fällen sind deterministische Wirkungen durch Maßnahmen nach einer Bestrahlung veränderbar.

Zielregion T_i (*target region*)

Anatomische Region innerhalb des Körpers (→ Referenzphantom), in der Strahlung absorbiert wird. Die Region kann ein Organ oder ein bestimmtes Gewebe sein wie z.B. der Gastrointestinaltrakt, die Harnblase, das Skelett und der Respirationstrakt.

Zufuhr I (*intake*)

Aktivität, die durch den Respirationstrakt, den Gastrointestinaltrakt oder die Haut in den Körper gelangt.

- Akute Zufuhr
Einmalige kurzzeitige Zufuhr.
- Chronische Zufuhr
Zufuhr über eine längere Zeitspanne.

Literatur

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1994

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and the optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

1. Einführung

(1) Dieses Kapitel behandelt die Geschichte der Kommission und ihrer Empfehlungen. Es zeigt die Ziele und den Aufbau des vorliegenden Berichts auf und erklärt, warum die Kommission sich ausschließlich mit dem Schutz vor ionisierender Strahlung befasst.

1.1 Geschichte der Kommission

(2) Die Internationale Strahlenschutzkommission, "International Commission on Radiological Protection" (abgekürzt ICRP), im Folgenden Kommission genannt, wurde im Jahr 1928 durch den Internationalen Kongress für Radiologie unter dem Namen "International X-Ray and Radium Protection Committee" (IXRPC) auf Beschluss des 2. Internationalen Kongresses für Radiologie gegründet. Im Jahr 1950 wurde die IXRPC umstrukturiert und erhielt ihren heutigen Namen (ICRP).

(3) Die Kommission ist eine unabhängige gemeinnützige Organisation. Sie arbeitet eng mit der Internationalen Kommission für radiologische Einheiten und Messungen (ICRU) zusammen und unterhält offizielle Beziehungen zum Wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkungen atomarer Strahlung (UNSCEAR), zur Weltgesundheitsorganisation (WHO) und zur Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO). Ferner bestehen wichtige Verbindungen zur Internationalen Arbeitsorganisation (ILO), zum Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und zu anderen Körperschaften der Vereinten Nationen. Weitere Organisationen, mit denen die Kommission zusammenarbeitet, sind die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EC), die Kernenergiebehörde der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD/NEA), die Internationale Normenorganisation (ISO) und die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC). Aufgrund ihrer engen Beziehungen zur Internationalen Assoziation für Strahlenschutz (IRPA) ist die Kommission auch mit der Strahlenschutz-Fachwelt verbunden. Berichte von nationalen radiologischen Strahlenschutzorganisationen werden ebenfalls berücksichtigt.

1.2 Die Entwicklung der Kommissions-Empfehlungen

(4) Die ersten allgemeinen Empfehlungen der Kommission, die im Jahr 1928 herausgegeben wurden, bezogen sich auf den Schutz medizinischer Berufe durch die Beschränkung der Arbeitszeiten mit medizinischen Strahlenquellen (IXRPC, 1928). Diese Beschränkung entspricht heute annähernd einer individuellen Dosis von etwa 1000 Millisievert (mSv) in einem Jahr. Die frühen Empfehlungen gingen auf die Vermeidung von Strahlenwirkungen mit Schwellendosis zunächst nur in qualitativer Weise ein. Ein System zur Messung von Dosiswerten wurde benötigt, bevor der Schutz quantifiziert und Dosisgrenzwerte definiert werden konnten. Die Empfehlungen von 1934 beruhten auf dem Konzept einer sicheren Schwelle, die etwa dem Zehnfachen des heutigen Jahresdosisgrenzwertes für Beschäftigte entsprach (IXRPC, 1934). Beruhend auf dem fortbestehenden Konzept der Toleranzdosis wurde im Jahr 1951 von der Kommission ein Grenzwert vorgeschlagen, der heute mit etwa 3 mSv in einer Woche für eine Strahlung mit niedrigem LET zu veranschlagen wäre (ICRP, 1951). Aufgrund epidemiologischer Nachweise zusätzlicher maligner Erkrankungen unter amerikanischen Radiologen und des ersten Hinweises auf zusätzliche Leukämiefälle bei den japanischen Atombombenüberlebenden fand die Annahme einer Wirkungsschwelle um das Jahr 1954 immer weniger Unterstützung (ICRP, 1955).

(5) Die Kommission hat in den frühen 1950er Jahren aufgrund der Entwicklung sowohl militärischer als auch industrieller Anwendungen der Kernenergie Empfehlungen für den

Schutz der Bevölkerung eingeführt. In ihren Empfehlungen von 1956 (ICRP, 1957) legte die Kommission Grenzwerte der wöchentlichen und der akkumulierten Dosis fest, die dem Jahresgrenzwert von 50 mSv für Beschäftigte bzw. 5 mSv für die Bevölkerung entsprechen. In der Erkenntnis, dass Wirkungen möglich sind, die im heutigen Sprachgebrauch als stochastische Wirkungen bezeichnet werden, und dass es unmöglich ist, das Vorliegen oder Fehlen einer Schwelle für diese Art von Wirkungen nachzuweisen, hat sich die Kommission in ihren Empfehlungen von 1954 dafür ausgesprochen, dass keine Mühe gescheut werden sollte, um Expositionen durch alle Arten ionisierender Strahlung auf das niedrigste mögliche Maß zu senken (ICRP, 1955). Dies wurde aufeinander folgend formuliert als die Empfehlung, Expositionen „so niedrig wie praktikabel“ (ICRP, 1959), „so niedrig wie ohne Weiteres (leicht) erreichbar“ (ICRP, 1966) und später dann „so niedrig wie es vernünftigerweise unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren erreichbar ist“ (ICRP, 1973) zu halten.

(6) Der erste Bericht der laufenden Serie, die Veröffentlichung 1, kurz ICRP 1, (1959), enthält die im September 1958 verabschiedeten Empfehlungen der Kommission. Nachfolgende grundsätzliche Empfehlungen sind als ICRP 6 (1964), ICRP 9 (1966), ICRP 26 (1977) und ICRP 60 (1991b) erschienen. Diese grundsätzlichen Empfehlungen wurden durch zahlreiche andere Veröffentlichungen mit Empfehlungen zu spezielleren Fragestellungen ergänzt.

(7) In ICRP 26 wurden die Risiken stochastischer Strahlenwirkungen erstmals quantifiziert und es wurde ein System der Dosisbegrenzung vorgeschlagen (ICRP, 1977), das die drei Grundsätze: Rechtfertigung, Optimierung des Schutzes und Begrenzung der individuellen Dosis umfasst. Im Jahr 1990 unterzog die Kommission ihre Empfehlungen einer umfangreichen Revision, zum einen weil die Risikoschätzungen für Strahlenexpositionen nach oben korrigiert worden waren, zum anderen um ihre „Philosophie“ von einem System der Dosisbegrenzung zu einem System des Strahlenschutzes auszuweiten (ICRP, 1991b). Die Grundsätze Rechtfertigung, Optimierung des Schutzes und Begrenzung der individuellen Dosis blieben bestehen, und es wurde eine Unterscheidung zwischen Tätigkeiten („practices“) und Interventionen („interventions“) eingeführt, um die Unterschiede der verschiedenen Arten von Expositionssituationen zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurde die Optimierung des Schutzes durch Beschränkungen stärker hervorgehoben, um die Ungleichheit zu begrenzen, die möglicherweise aus inhärenten ökonomischen und gesellschaftlichen Beurteilungen resultiert.

(8) Der im Jahr 1956 festgelegte Jahresdosisgrenzwert von 50 mSv für Beschäftigte¹ bestand bis zum Jahr 1990, danach wurde er aufgrund der Korrektur des Risikos für stochastische Wirkungen entsprechend den Ergebnissen aus der Lebenszeitstudie der Atombomben-Überlebenden (LSS) von Hiroshima und Nagasaki (ICRP, 1991b) weiter auf durchschnittlich 20 mSv pro Jahr herabgesetzt. Der Jahresdosiswert von 5 mSv für die Bevölkerung wurde in der Stellungnahme der Kommission von 1980 in Paris (ICRP, 1985b) auf 1 mSv im Durchschnitt pro Jahr herabgesetzt und wird in ICRP 60 (1991b) mit 1 mSv in einem Jahr angegeben, mit der Möglichkeit der Mittelwertbildung über 5 Jahre unter besonderen Umständen.

(9) Seit ICRP 60 ist eine Reihe von Veröffentlichungen mit zusätzlichen Empfehlungen für die Kontrolle von Strahlenquellen erschienen (vgl. dazu das Gesamt-Literaturverzeichnis). Einschließlich der Empfehlungen von 1990 lassen sich in all diesen Veröffentlichungen etwa 30 verschiedene Angaben von Zahlenwerten für die Begrenzung der individuellen Dosis für verschiedene Gegebenheiten finden, die außerdem noch auf vielfältige Weise

¹ Einige Begriffe und Einheiten aus älteren Berichten wurden zur Vereinheitlichung in die aktuelle Terminologie umgesetzt.

gerechtfertigt werden (ICRP, 2006b). Darüber hinaus hat die Kommission mit ICRP 91 (2003b) begonnen, Zielvorstellungen zum Schutz der Umwelt zu entwickeln.

(10) Die Kommission hat nun beschlossen, eine Neufassung von einer Reihe von Empfehlungen zu verabschieden und zugleich Konstanz mit den bisherigen Empfehlungen zu wahren.

(11) Bei der eingehenden Durchsicht der Literatur zu den gesundheitlichen Wirkungen der ionisierenden Strahlung fand die Kommission keinen Hinweis auf die Notwendigkeit grundlegender Änderungen am System des Strahlenschutzes. Die vorliegenden Empfehlungen sind daher stärker durch Kontinuität als durch Änderungen gekennzeichnet; einige Empfehlungen sind beizubehalten, weil sie sich bewährt haben und klar sind, andere wurden auf den Stand der neuesten Erkenntnisse gebracht, einige Ansätze, die bisher fehlten, wurden hinzugefügt, und einige Konzepte, die mehr Anleitung erfordern, sind nun besser erklärt.

(12) Die jetzigen Empfehlungen bekräftigen und ergänzen verschiedene bisherige ICRP-Empfehlungen. Die bisher vorliegenden Veröffentlichungen mit Zahlenangaben, die seit 1991 für zielführende grundsätzliche Empfehlungen gegeben wurden, gelten weiterhin, wenn nicht anders vermerkt. Die vorliegenden Empfehlungen sind daher nicht auszulegen als Vorschlag für größere Veränderungen der Strahlenschutzbestimmungen, die in geeigneter Weise auf den bisherigen Empfehlungen der ICRP 60 und den nachfolgenden grundsätzlichen Richtlinien beruhen. Die Empfehlungen wiederholen und unterstreichen die Bedeutung der Optimierung des Strahlenschutzes und erweitern die bewährte Praxis der Umsetzung dieses Grundsatzes für Tätigkeiten (die nun in geplanten Expositionssituationen inbegriffen sind) auf andere Situationen, d.h. Notfall- und bestehende Expositionssituationen.

(13) Die Kommission plant eine Fortschreibung der jetzigen Empfehlungen durch Berichte über die Anwendung des Optimierungsverfahrens in verschiedenen Situationen.

(14) Die konsolidierten Empfehlungen stützen sich auf eine Reihe von Dokumenten, die wichtige Gesichtspunkte der Zielvorstellungen der Kommission näher dokumentieren und die Empfehlungen untermauern:

- Extrapolation des strahlenbedingten Krebsrisikos in den niedrigen Dosisbereich ICRP 99 (2005d).
- Biologische und epidemiologische Daten zu gesundheitlichen Risiken, die der ionisierenden Strahlung zuzuschreiben sind. Eine Zusammenfassung von Bewertungen zum Zwecke des Strahlenschutzes für den Menschen (Anhang A der vorliegenden Empfehlungen).
- Im Strahlenschutz verwendete Größen (Anhang B der vorliegenden Empfehlungen).
- Optimierung des Strahlenschutzes (in ICRP 101, 2006a, Teil 2).
- Abschätzung der Dosiswerte für die Repräsentative Person (in ICRP 101, 2006a, Teil 1).
- Einen Rahmen zur Abschätzung der Auswirkung ionisierender Strahlung auf die Umwelt (ICRP 91, 2003b).
- Darüber hinaus veröffentlicht die Kommission Anleitungen zum Anwendungsbereich des Strahlenschutzes (ICRP 104, 2007a), und zum Strahlenschutz in der medizinischen Praxis (ICRP 105, 2007b).

(15) Das Hauptziel der Kommission war und bleibt die Verwirklichung des Strahlenschutzes für den Menschen. Dennoch hat sich die Kommission auch früher schon mit der möglichen Auswirkung auf andere Spezies befasst, obgleich sie keine allgemeinen Stellungnahmen über den Umweltschutz als Ganzes abgegeben hat. In ICRP 60 (1991b) stellte die Kommission fest, dass sie sich mit der menschlichen Umwelt gegenwärtig nur

insoweit befasse, als es den Transfer von Radionukliden in der Umwelt betreffe, da dies den Strahlenschutz des Menschen direkt berühre. Die Kommission vertrat die Ansicht, durch das zum Schutz des Menschen notwendige Ausmaß an Kontrolle der Umwelt, soweit es derzeit als wünschenswert erachtet werde, sei auch gewährleistet, dass keine anderen biologischen Arten einem Risiko ausgesetzt werden.

(16) Die Kommission ist nach wie vor der Meinung, dass dies wahrscheinlich im Allgemeinen bei geplanten Expositionssituationen der Fall ist (siehe Abschnitt 5.2 zur Definition geplanter Expositionssituationen) und dass für den Lebensraum des Menschen daher ein ziemlich hoher Schutzgrad besteht. Es gilt jedoch andere Umweltbereiche zu betrachten, auf die die Empfehlungen der Kommission für den Schutz des Menschen (bisher) nicht angewendet wurden bzw. in denen Menschen abwesend sind. Andere Expositionssituationen können auftreten, bei denen Umweltfolgen unter Umständen zu berücksichtigen sind. Die Kommission ist sich ferner der für manche staatliche Stelle bestehenden Notwendigkeit bewusst, direkt und explizit darzulegen, dass selbst unter geplanten Expositionssituationen die Umwelt geschützt ist. Sie ist daher heute der Meinung, dass die Entwicklung eines klareren Rahmens notwendig ist, um die Beziehungen zwischen Exposition und Dosis sowie zwischen Dosis und Wirkung und die Folgen solcher Wirkungen für die nicht-humanen Spezies auf einer allgemeinen wissenschaftlichen Grundlage zu bewerten. Dies wird in Kapitel 8 weitergehend erörtert.

(17) Die Empfehlungen der Kommission richten sich hauptsächlich an Behörden, Organisationen und Personen, die für den Strahlenschutz verantwortlich sind. Die Empfehlungen der Kommissionen haben in der Vergangenheit geholfen, dass eine in sich schlüssige Grundlage für nationale und regionale regulatorische Standards zur Verfügung stand. Dabei war die Kommission stets bemüht, Kontinuität in ihren Empfehlungen zu wahren. Die Kommission gibt Anleitungen für die grundlegenden Prinzipien, durch die sich ein angemessener Strahlenschutz begründen lässt. Sie hat nicht die Absicht, Texte für Regulationen vorzulegen. Sie ist jedoch der Ansicht, dass solche Texte auf der Grundlage ihrer Veröffentlichungen erarbeitet werden und weitgehend mit den entsprechenden Empfehlungen übereinstimmen sollen.

(18) Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Empfehlungen der Kommission und den Internationalen Grundnormen für den Schutz vor ionisierender Strahlung und die Sicherheit von Strahlenquellen (als „Basic Safety Standards“, abgekürzt „BSS“ bezeichnet), die durch die entsprechenden internationalen Organisationen innerhalb der UN mit gefördert werden und von der IAEA herausgegeben werden. Die Empfehlungen der Kommission sind nach einem Beschluss des IAEA-Leitungsgremiums in den „Basic Safety Standards (BSS)“ zu berücksichtigen. Die BSS folgten daher stets der Einführung neuer Empfehlungen der Kommission; so waren z.B. die Empfehlungen der Kommission von 1977 und 1990 Grundlage für die 1982 bzw. 1996 veröffentlichte Neufassung der entsprechenden Internationalen Grundnormen BSS.

(19) Die Kommission beschränkt sich mit den vorliegenden Empfehlungen wie in bisherigen Berichten auf den Schutz vor ionisierender Strahlung. Sie erkennt die Wichtigkeit einer geeigneten Kontrolle von Quellen nicht-ionisierender Strahlung an. Empfehlungen für diese Quellen werden von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP, 2004) vorgelegt.

1.2.1 Entwicklung von Dosisgrößen und deren Einheiten

(20) Die erste Doseinheit, das Röntgen (r), wurde für Röntgenstrahlen im Jahr 1928 vom „International X-ray Unit Committee“, aus dem später die ICRU hervorgehen sollte, eingeführt (IXRUC, 1928). Die erste offizielle Verwendung des Begriffs „Dosis“ zusammen

mit einer berichtigten Definition der Einheit r erschien in den Empfehlungen der ICRU von 1937 (ICRU, 1938). Die ICRU schlug das Konzept der Energiedosis vor und gab im Jahr 1953 eine offizielle Definition des Namens und seiner Einheit „rad“, die das Konzept der Dosis auf bestimmte andere Stoffe als Luft ausdehnte (ICRU, 1954).

(21) Die erste von der ICRU verwendete Dosisgröße, welche die relative biologische Wirksamkeit (RBW) verschiedener Strahlenarten einbezog, war die „RBW-Dosis in rem“, eine RBW-gewichtete Summe der Energiedosis in rad, die in den Empfehlungen der ICRU von 1956 festgesetzt wurde. Diese Dosisgröße wurde durch die Äquivalentdosis ersetzt, die aus gemeinsamen Bemühungen der ICRU und der Kommission hervorging und durch das Produkt aus Energiedosis, Qualitätsfaktor der Strahlung, Faktor für die Dosisverteilung und anderen notwendigen modifizierenden Faktoren definiert ist (ICRU, 1962). Das 'rem' als Einheit der Äquivalentdosis wurde beibehalten. Darüber hinaus definierte die ICRU eine weitere Dosisgröße, Kerma, und änderte in ihren Empfehlungen von 1962 den Namen der Expositionsdosis in „Exposition“.

(22) In ihren Empfehlungen von 1977 (ICRP, 1977) führte die Kommission eine neue Äquivalentdosis-Größe zur Begrenzung stochastischer Wirkungen durch die Definition einer gewichteten Summe von Äquivalentdosen in verschiedenen Geweben und Organen des menschlichen Körpers ein, wobei der Wichtungsfaktor „Gewebe-Wichtungsfaktor“ genannt wurde (ICRP, 1977). Bei ihrer Zusammenkunft in Stockholm 1978 bezeichnete die Kommission diese neue gewichtete Äquivalentdosis als „effektive Äquivalentdosis“ (ICRP, 1978). Gleichzeitig wurden die SI-Einheiten der Dosis beschlossen, durch die das rad durch Gray (Gy) und das rem durch Sievert (Sv) ersetzt wurde.

(23) In ihren Empfehlungen von 1990 (ICRP, 1991b) hat die Kommission die körperbezogenen Dosisgrößen neu definiert. Für Zwecke des Schutzes wurde die über ein Gewebe oder Organ gemittelte Energiedosis als die grundlegende Größe definiert. Darüber hinaus beschloss die Kommission anstelle der Qualitätsfaktoren der Empfehlungen des Jahres 1977 „Strahlungs-Wichtungsfaktoren“ zu verwenden, die auf der Grundlage der RBW hinsichtlich der Induktion stochastischer Wirkungen bei niedrigen Dosen gewählt wurden, da biologische Wirkungen nicht allein durch den linearen Energietransfer bestimmt werden. Um die resultierende Größe von der Äquivalentdosis („dose equivalent“) zu unterscheiden, bezeichnete die Kommission die neue Größe als Organdosis („equivalent dose“). Dem entsprechend wurde die effektive Äquivalentdosis umbenannt in „effektive Dosis“. Es wurden einige Modifikationen bei den Gewebe-Wichtungsfaktoren vorgenommen, um die neuen Erkenntnisse über gesundheitliche Wirkungen der Strahlung zu berücksichtigen.

(24) Einzelheiten über die gegenwärtig verwendeten dosimetrischen Größen und ihre Einheiten sind im Kapitel 4 aufgeführt.

1.3 Struktur der Empfehlungen

(25) Das Kapitel 2 befasst sich mit den Zielen und dem Anwendungsbereich der Empfehlungen. Kapitel 3 geht auf die biologischen Gesichtspunkte der Strahlung ein, und Kapitel 4 behandelt die im Strahlenschutz verwendeten Größen und Einheiten. Kapitel 5 beschreibt den konzeptionellen Rahmen des Strahlenschutzsystems und Kapitel 6 befasst sich mit der Umsetzung der Empfehlungen der Kommission für die drei verschiedenen Arten von Expositionssituationen. Kapitel 7 beschreibt die medizinische Exposition und Kapitel 8 behandelt den Schutz der Umwelt.

1.4 Literatur

- ICNIRP, 2004. ICNIRP Publications 1992-2004. A reference CD-ROM based on guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation and statements on special applications. Matthes, R., Bernhardt, J.H., McKinlay, A.F. (eds) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Munich, Germany. ISBN 3-934994-05-9.
- ICRP, 1951. International Recommendations on Radiological Protection. Revised by the International Commission on Radiological Protection and the 6th International Congress of Radiology, London, 1950. Br. J. Radiol. 24, 46-53.
- ICRP, 1955. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Br. J. Radiol., (Suppl. 6).
- ICRP, 1957. Reports on Amendments during 1956 to the Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Acta. Radiol. 48, 493-495.
- ICRP, 1959. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 1. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1964. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 6. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1966. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 9, Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1973. Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept As Low As Readily Achievable. ICRP Publication 22. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3).
deutsch:
ICRP Publication 26: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (angenommen am 17. Januar 1977). In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 26. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978
- ICRP, 1978. Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the ICRP. ICRP Publication 28. Ann. ICRP2(1).
deutsch:
Grundsätze und allgemeine Verfahren bei Strahlenexpositionen in beruflichen Notfall- und Unfallsituationen. Ein Bericht des Komitees 4 der Internationalen Strahlenschutzkommission. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 28. Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1980
- ICRP, 1985b. Quantitative bases for developing a unified index of harm. ICRP Publication 45. Includes: Statement from the 1985 Paris meeting of the ICRP. Ann. ICRP 15 (3).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21(1-3).
deutsch:
Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993
- ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).
- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99, Ann. ICRP 35(4).
- ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public *and*
The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36 (3).
- ICRP, 2006b. Analysis of the Criteria used by the ICRP to Justify the setting of Numerical Values. Supporting Guidance 5. Ann. ICRP 36 (4).
- ICRP, 2007a. Scope of radiological protection control measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37(5).
- ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6).
- ICRU, 1938. Recommendations of the International Commission on Radiation Units, Chicago, 1937. Am. J. Roentgenol., Radium Therapy Nucl. Med. 39, 295.

ICRU, 1954. Recommendations of the International Commission on Radiation Units, Copenhagen, 1953. Radiology 62, 106.

ICRU, 1962. Radiation Quantities and Units, Report 10a of the International Commission on Radiation Units and Measurements, Natl. Bur. Std Handbook 78.

IXRPC, 1928. X ray and Radium Protection. Recommendations of the 2nd International Congress of Radiology, 1928. Br. J. Radiol. 12, 359-363.

IXRPC, 1934. International Recommendations for X ray and Radium Protection. Revised by the International X ray and Radium Protection Commission and adopted by the 4th International Congress of Radiology, Zurich, July 1934. Br. J. Radiol. 7, 1-5.

IXRUC, 1928. International X ray unit of intensity. Recommendations of the 2nd International Congress of Radiology, 1928. Br. J. Radiol. 12, 363-364.

2. Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen

2.1 Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen

(26) Das vorrangige Ziel der Empfehlungen der Kommission besteht darin, zu einem angemessenen Grad des Schutzes vor den schädlichen Wirkungen von Strahlenexpositionen für Mensch und Umwelt beizutragen, ohne gewünschte Aktivitäten der Menschen, die mit einer solchen Exposition verbunden sein können, über Gebühr zu begrenzen.

(27) Dieses Ziel kann nicht allein auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse über Strahlenexpositionen und ihre gesundheitlichen Wirkungen erreicht werden. Dazu bedarf es eines Modells für den Strahlenschutz von Mensch und Umwelt. Die Empfehlungen beruhen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und fachkundiger Bewertung. Wissenschaftliche Daten z.B. zu Gesundheitsrisiken durch Strahlenexpositionen sind eine notwendige Voraussetzung, darüber hinaus sind jedoch auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Gesichtspunkte des Schutzes in Betracht zu ziehen. Alle mit dem Strahlenschutz befassten Personen müssen die relative Bedeutung der Risiken unterschiedlicher Art bewerten sowie Risiko und Nutzen gegeneinander abwägen. Hierin unterscheidet sich der Strahlenschutz nicht von anderen Gebieten, die sich mit der Kontrolle von Gefahren befassen. Die Kommission ist der Meinung, dass die Grundlagen für wissenschaftliche Einschätzungen, ebenso wie die Unterscheidung zwischen diesen einerseits und Bewertungen andererseits verdeutlicht werden sollen, wann immer das möglich ist, um die Transparenz und damit das Verständnis zu erhöhen, wie die Entscheidungen erreicht wurden.

(28) Strahlenschutz befasst sich mit zwei Arten schädlicher Wirkungen. Deterministische Wirkungen (schädliche Gewebereaktionen, siehe Kapitel 3), werden durch hohe Dosen verursacht. Sie sind häufig akut und treten nur auf, wenn die Dosis einen Schwellenwert überschreitet. Stochastische Wirkungen (Krebs oder vererbare Wirkungen) können durch hohe und niedrige Dosen hervorgerufen werden und als statistisch nachweisbare Erhöhung der Inzidenz dieser Wirkungen lange Zeit nach der Exposition beobachtet werden.

(29) Das System des Strahlenschutzes der Kommission ist vorrangig darauf ausgerichtet, die Gesundheit des Menschen zu schützen. Ihre Gesundheitsziele sind relativ überschaubar: Expositionen durch ionisierende Strahlung sind so zu handhaben und zu kontrollieren, dass deterministische Wirkungen verhindert und die Risiken stochastischer Wirkungen auf ein vernünftigerweise erreichbares Maß reduziert werden.

(30) Im Gegensatz dazu gibt es keine einfache oder einzige, allgemein gültige Definition des „Umweltschutzes“, vielmehr unterscheidet sich das Konzept von Land zu Land ebenso wie von einer Gegebenheit zur nächsten. Für die Betrachtung von Strahlenwirkungen bei nicht-humanen Spezies werden sich daher wahrscheinlich andere Methoden der Bewertung als nützlich erweisen – wie diejenigen (Strahlenwirkungen), die Frühmortalität oder -morbidity oder verringerte Fortpflanzungserfolge hervorrufen. Das Ziel der Kommission besteht nun darin, schädliche Strahlenwirkungen zu verhindern oder ihre Häufigkeit auf ein Ausmaß zu begrenzen, bei dem Auswirkungen auf die Erhaltung der biologischen Vielfalt, den Artenschutz oder die Gesundheit und den Status natürlicher Habitats, Gemeinschaften und Ökosysteme vernachlässigbar wären. Bei der Verwirklichung dieses Ziels erkennt die Kommission jedoch, dass Strahlenexposition lediglich ein Faktor ist, den es zu berücksichtigen gilt, darüber hinaus ein Faktor, der wahrscheinlich häufig von geringerer Bedeutung ist. Die Kommission möchte Anleitungen und Empfehlungen geben um sicherzustellen, dass ihr Ansatz zur Höhe des Risikos angemessen und mit den Bemühungen

vereinbar ist, die zum Schutz der Umwelt vor den Auswirkungen anderer menschlicher Aktivitäten unternommen werden.

2.2 Grundlage und Struktur des Schutzsystems

(31) Wegen der Vielfalt von Strahlenexpositionssituationen und der Notwendigkeit, über einen breiten Anwendungsbereich Konsistenz zu erzielen, hat die Kommission ein formales System des Strahlenschutzes eingeführt, das die Unterstützung eines praktikablen und strukturierten Vorgehens zum Ziel hat. Das System muss sich mit einer Reihe von Expositionsquellen befassen, von denen einige bereits vorhanden sind, während andere entweder durch Wahl der Gesellschaft eingeführt werden können oder als Ergebnis von Notfällen vorkommen können. Diese Quellen sind durch eine Vielzahl in sich zusammenhängender Abläufe und Situationen verbunden, die sowohl gegenwärtig als auch in der Zukunft zur Exposition von Personen, Gruppen oder ganzen Bevölkerungen führen. Das Schutzsystem wurde entwickelt, um die Bearbeitung dieses komplexen Netzwerks mittels einer logischen Struktur zu ermöglichen.

(31) Wegen der Vielfalt von Strahlenexpositionssituationen und der Notwendigkeit, über einen breiten Anwendungsbereich Konsistenz zu erzielen, hat die Kommission ein formales System des Strahlenschutzes eingeführt, das die Unterstützung eines praktikablen und strukturierten Vorgehens zum Ziel hat. Das System muss sich mit einer Reihe von Expositionsquellen befassen, von denen einige bereits vorhanden sind, während andere entweder durch Wahl der Gesellschaft eingeführt werden können oder als Ergebnis von Notfällen vorkommen können. Diese Quellen sind durch eine Vielzahl in sich zusammenhängender Abläufe und Situationen verbunden, die sowohl gegenwärtig als auch in der Zukunft zur Exposition von Personen, Gruppen oder ganzen Bevölkerungen führen. Das Schutzsystem wurde entwickelt, um die Bearbeitung dieses komplexen Netzwerks mittels einer logischen Struktur zu ermöglichen.

(32) Das Schutzsystem für den Menschen beruht auf der Verwendung von a) anatomischen und physiologischen Referenzmodellen des Menschen für die Abschätzung von Strahlendosen sowie Daten aus b) Studien auf molekularer und zellulärer Ebene, c) Tierversuchen und d) epidemiologischen Studien. Die Verwendung von Modellen führt zur Ableitung von tabellierten, standardisierten Daten für die „Folgedosis pro Zufuhr“ verschiedener Radionuklide bei internen Expositionen und für die „Dosis pro Luftkerma oder Fluenz“ bei externen Expositionen von Beschäftigten, Patienten und der Bevölkerung. Epidemiologische und experimentelle Studien führten zur Abschätzung von Risiken im Zusammenhang mit externen und internen Strahlenexpositionen. Für biologische Wirkungen stammen die Daten von Erfahrungen am Menschen, die durch experimentelle Biologie gestützt werden. Für Krebs und vererbare Wirkungen sind die Ergebnisse epidemiologischer Studien und Daten aus genetischen Studien bei Tieren und Menschen Ausgangspunkte für die Kommission. Diese werden ergänzt durch Daten aus Tierversuchen über die Mechanismen der Karzinogenese und Vererbung, um Risikoabschätzungen bei den für den Strahlenschutz relevanten niedrigen Dosiswerten durchführen zu können.

(33) In Anbetracht der Unsicherheiten, die im Bereich der Zahlenwerte der Gewebewichtungsfaktoren und der Abschätzung des Detriments bestehen, hält die Kommission es für zweckmäßig für den Strahlenschutz, alters- und geschlechtsgemittelte Gewebewichtungsfaktoren und numerische Risikoabschätzungen zu verwenden. Das Schutzsystem ist hinreichend robust, um einen angemessenen Schutz für beide Geschlechter zu erzielen. Außerdem wird damit die Forderung nach geschlechts- und altersspezifischer Strahlenschutzkriterien umgangen, die sich als unnötig diskriminierend erweisen könnten. Allerdings ist es für die Zwecke einer retrospektiven Abschätzung strahlenbezogener Risiken

wie z.B. in epidemiologischen Studien angemessen, geschlechts- und altersspezifische Daten zu verwenden und geschlechts- und altersspezifische Risiken zu berechnen. Die Einzelheiten der Methoden der Kommission zur Berechnung des Detriments werden in den Anhängen A und B erörtert.

(34) Die Risikoabschätzungen der Kommission werden als „nominell“ bezeichnet, weil sie sich auf die Exposition einer nominellen Population weiblicher und männlicher Personen mit einer typischen Altersverteilung beziehen und durch Mittelwertbildung über Altersgruppen und beide Geschlechter berechnet werden. Die für den Strahlenschutz empfohlene dosimetrische Größe „effektive Dosis“, wird ebenfalls durch Alters- und Geschlechts-Mittelwertbildung berechnet. Die Festlegung nomineller Faktoren zur Abschätzung der effektiven Dosis ist mit vielen Unsicherheiten behaftet. Die Abschätzungen der Letalitäts- und Detrimentkoeffizienten sind für Strahlenschutz Zwecke angemessen, jedoch gelten nominelle Risiko-Koeffizienten – wie alle epidemiologisch hergeleiteten Abschätzungen – nicht für bestimmte Individuen. Um die wahrscheinlichen Folgen einer Exposition einer Person oder einer bekannten Population abzuschätzen, ist es notwendig, spezifische Daten zu verwenden, die sich auf die exponierte Person beziehen.

(35) Situationen, in denen die Dosis-Schwellenwerte für deterministische Wirkungen in relevanten Organen überschritten werden könnten, sollen unter nahezu allen Umständen Schutzmaßnahmen unterworfen werden, wie bereits von der Kommission empfohlen (ICRP, 1999a). Bei den gegenwärtigen Abschätzungen von Schwellendosen für deterministische Wirkungen sind Unsicherheiten zu berücksichtigen, insbesondere in Situationen, die mit Langzeitexpositionen verbunden sind. Folglich ist bei Jahresdosen, die in den Bereich 100 mSv ansteigen, die Einführung von Schutzmaßnahmen nahezu immer gerechtfertigt.

(36) Bei Strahlendosen unterhalb von etwa 100 mSv im Jahr wird von der Kommission angenommen, dass die Zunahme der Inzidenz stochastischer Wirkungen mit einer geringen Wahrscheinlichkeit und proportional zur Erhöhung der Strahlendosis über die Dosis aus natürlicher Strahlung auftritt. Die Verwendung dieses sogenannten linearen Modells ohne Schwellendosis („linear-non-threshold“ (LNT) model) stellt nach Ansicht der Kommission den besten praktischen Ansatz zur Regulation des Risikos durch Strahlenexposition dar und ist dem Vorsorgeprinzip (UNESCO, 2005) angemessen. Die Kommission ist der Ansicht, dass das LNT-Modell nach wie vor eine konservative Grundlage für den Strahlenschutz in Bereichen niedriger Dosis und Dosisleistung ist (ICRP, 2005d).

(37) Da auch innerhalb einzelner Expositionskategorien eine Person durch verschiedene Quellen strahlenexponiert sein kann, muss eine Abschätzung der gesamten Exposition versucht werden. Diese Abschätzung wird als „personenbezogen“ bezeichnet. Es ist ebenfalls notwendig, die Exposition aller Personen zu betrachten, die einer Quelle oder einer Gruppe von Quellen ausgesetzt sind. Dieses Verfahren wird als „quellenbezogene“ Abschätzung bezeichnet. Die Kommission betont die vorrangige Bedeutung der quellenbezogenen Abschätzungen, da Maßnahmen für eine Quelle getroffen werden können, um den Schutz von Personen vor dieser Quelle zu gewährleisten.

(38) Die probabilistische Eigenschaft stochastischer Wirkungen und die Eigenschaften des LNT-Modells machen es unmöglich, eine klare Unterscheidung zwischen „sicher“ und „gefährlich“ vorzunehmen. Dadurch ergeben sich einige Schwierigkeiten, die Kontrolle von bzw. den Schutz vor Strahlenrisiken zu erklären. Die größere Auswirkung und Problematik des LNT-Modells liegt darin, dass ein bestimmtes endliches, wenn auch niedriges Risiko angenommen werden muss und ein als annehmbar erachtetes Niveau des Schutzes herzustellen ist. Dies führt zu dem Schutzsystem der Kommission mit seinen drei Grundsätzen des Schutzes:

- Rechtfertigung

- Optimierung des Schutzes
- Anwendung von Dosisgrenzwerten.

Diese Grundsätze werden im Kapitel 5.6. eingehend erörtert.

(39) Maßgeblich für den Schutz von Personen vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung ist die Kontrolle (im Sinne von Beschränkung) von Strahlendosen, ungeachtet der Art der Quelle.

(40) Die Hauptbestandteile des Strahlenschutzsystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Charakterisierung der möglichen Situationen, in denen eine Strahlenexposition auftreten kann (geplante, Notfall- und bestehende Expositionssituationen).
- Klassifizierung der Expositionsarten (diejenigen die mit Sicherheit auftreten und potenzielle Expositionen, ebenso wie berufliche Strahlenexposition, Exposition von Patienten in der Medizin und Exposition der Bevölkerung).
- Identifizierung der exponierten Personen (Beschäftigte, Patienten, Bevölkerung)
- Einstufung/Klassifizierung der Art der Abschätzung (quellenbezogen oder personenbezogen).
- Genaue Formulierung der Grundsätze des Schutzes: Rechtfertigung, Optimierung des Schutzes und Anwendung von Dosisgrenzwerten.
- Beschreibung der Bereiche der Dosiswerte, die Schutzmaßnahmen oder Abschätzungen erfordern (Dosisgrenzwerte, Dosisrichtwerte und Referenzwerte)
- Genaue Darstellung der Bedingungen für die Sicherheit von Strahlenquellen, einschließlich ihrer Sicherung und der Anforderungen für Notfallvorsorge und -schutz.

(41) Die Umsetzung des in diesen Empfehlungen beschriebenen und vorstehend zusammengefassten Strahlenschutzsystems soll überwacht und bewertet werden. Regelmäßige Überprüfungen sind wichtig im Hinblick auf Lernen aus Erfahrung und Erkennung verbesserungswürdiger Bereiche.

(42) In diesen Empfehlungen verwendet die Kommission denselben konzeptionellen Ansatz für den quellenbezogenen Schutz und betont die Optimierung des Schutzes ungeachtet der Art der Quelle, der Expositionssituation oder der exponierten Person. Quellenbezogene Beschränkungen von Dosen oder Risiken werden bei der Optimierung des Schutzes angewendet. Grundsätzlich sollen Schutzoptionen, die mit Dosiswerten oberhalb solcher Beschränkungen verbunden sind, verworfen werden. Die Kommission hat bisher den Begriff „constraint“ (Richtwert^B) für diese Beschränkungen von Tätigkeiten verwendet. Aus Gründen der Schlüssigkeit wird die Kommission diesen Begriff im Zusammenhang mit geplanten Expositionssituationen weiterhin verwenden, da solche Situationen die normale Durchführung von Tätigkeiten umfassen. Die Kommission erkennt jedoch an, dass das Wort „constraint“ in vielen Sprachen als strenger Grenzwert ausgelegt wird. Eine solche Bedeutung war von der Kommission nie beabsichtigt, da die Anwendung des Begriffs von lokalen Gegebenheiten abhängt.

(43) Werte für Schutzmaßnahmen können auf der Grundlage von allgemeinen Betrachtungen, einschließlich der allgemeinen Empfehlungen der Kommission (s. Tabelle 8, Abschnitt 6.5) oder der jeweils besten Vorgehensweise gewählt werden. Unter bestimmten Umständen, insbesondere in Notfall- oder bestehenden Expositionssituationen, könnte es

^B „Constraint“ wurde in der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Schranke“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen das Äquivalent „Richtwert“ verwendet. Der Ausdruck „Richtwert“ als Übersetzung von „constraint“ ist nicht zu verwechseln mit dem im Deutschen Recht benutzten Begriff „Richtwert“. A. d. Ü.

sein, dass keine praktikable Schutzoption dem ausgewählten Schutzgrad unmittelbar genügen kann. Die Auslegung eines Dosisrichtwertes im Sinne eines strikten Grenzwerts könnte daher das Ergebnis eines Optimierungsverfahrens erheblich und nachteilig verzerren. Aus diesem Grund schlägt die Kommission für Notfall- und bestehende Expositionssituationen vor, den Begriff Referenzwert für die Beschränkung der Dosis oder des Risikos zu verwenden, oberhalb dessen eine Planung von möglichen Expositionen nicht erlaubt ist und unterhalb dessen eine Optimierung des Schutzes durchgeführt werden soll. Die Kommission möchte jedoch betonen, dass der durch die verschiedenen Bezeichnungen gegebene Unterschied zwischen geplanten Expositionssituationen und den anderen beiden Expositionssituationen keinen grundlegenden Unterschied in der Anwendung des Schutzsystems bedeutet. Weitere Anleitung zur Anwendung des Optimierungsgrundsatzes bei geplanten Expositionssituationen, Notfall-Expositionssituationen und bestehenden Expositionssituationen wird im Kapitel 6 gegeben.

2.3 Anwendungsbereich der Empfehlungen

(44) Das Strahlenschutzsystem der Kommission gilt für alle Strahlenexpositionen aus jeder Quelle, unabhängig von deren Größe und Ursprung. Mit dem Begriff Strahlung ist ionisierende Strahlung gemeint. Der Begriff Strahlenexposition (oder kurz Exposition) wird von der Kommission seit jeher in einem verallgemeinerten Sinn verwendet und bedeutet, Strahlung oder Radionukliden ausgesetzt zu werden, wobei die Bedeutung der Exposition durch die resultierende Strahlendosis bestimmt wird (ICRP, 1991b). Mit dem Begriff „Quelle“ wird die Ursache einer Exposition, nicht notwendigerweise eine physikalische Strahlenquelle (siehe Abschnitt 5.1), bezeichnet. Im Allgemeinen ist eine Quelle für die Zwecke der Anwendung der Empfehlungen ein Objekt, für das der Strahlenschutz als integrales Ganzes optimiert werden kann.

(45) Die Kommission strebt eine möglichst breite und konsistente Anwendbarkeit ihrer Empfehlungen an. Insbesondere umfassen die Empfehlungen der Kommission Expositionen sowohl durch natürliche als auch durch zivilisatorische Quellen. Die Empfehlungen können in ihrer Gesamtheit nur für solche Situationen gelten, in denen entweder die Quelle der Exposition oder die Pfade, die zur Exposition von Personen führen, durch bestimmte Maßnahmen kontrolliert werden können. Quellen in derartigen Situationen werden als kontrollierbare Quellen bezeichnet.

(46) Es kann viele Quellen geben und einige Personen können durch Strahlung aus mehr als einer dieser Quellen exponiert werden. Sofern die Dosen unterhalb der Schwelle für deterministische Wirkungen (schädliche Gewebereaktionen) bleiben, besteht aufgrund der angenommenen proportionalen Beziehung zwischen den zusätzlichen Dosen, die der Situation zuzuschreiben sind, und der entsprechenden Erhöhung der Wahrscheinlichkeit stochastischer Wirkungen die Möglichkeit, die einzelnen Komponenten der gesamten Exposition unabhängig zu behandeln und diejenigen Komponenten auszuwählen, die für den Strahlenschutz entscheidend sind. Darüber hinaus ist es möglich, diese Komponenten in Gruppen aufzuteilen, die für verschiedene Zwecke relevant sind.

(47) Die Kommission hat bisher unterschieden zwischen „practices“ (Tätigkeiten oder Arbeiten), die Dosen erhöhen und Interventionen, die Dosen verringern (ICRP, 1991b). Nun verwendet die Kommission einen situationsbezogenen Ansatz, um die möglichen Situationen, in denen Strahlenexposition auftreten können, als geplante, Notfall- oder bestehende Expositionssituationen zu kennzeichnen, und wendet einen Satz von Grundprinzipien auf alle diese Situationen an (siehe Abschnitt 5.6).

(48) Da jedoch der Begriff „practices“ (Tätigkeiten oder Arbeiten) im Strahlenschutz weit verbreitet ist, wird die Kommission diesen weiterhin verwenden, um eine Aktivität zu

bezeichnen, die eine Erhöhung der Strahlenexposition oder des Risikos einer Strahlenexposition verursacht.

(49) „Practices“ (Tätigkeiten oder Arbeiten) können Aktivitäten sein wie ein Betrieb, Handel, Industrie oder jede andere produktive Aktivität. Es kann auch ein staatliches Unternehmen oder eine gemeinnützige Tätigkeit sein. Das Konzept „practice“ (Tätigkeit oder Arbeit) impliziert, dass die dadurch eingeführten oder beibehaltenen Strahlenquellen direkt durch Einwirkung auf die Quelle kontrolliert werden können.

(50) „Intervention“ ist inzwischen ebenfalls ein weit verbreiteter Begriff im Strahlenschutz geworden, der in nationale und internationale Normen aufgenommen wurde, um Situationen zu bezeichnen, in denen Maßnahmen zur Verringerung von Expositionen getroffen werden. Die Kommission glaubt, dass es angemessener ist, die Verwendung dieses Begriffes auf die Beschreibung von Schutzmaßnahmen zur Expositionsverringerung zu beschränken, während die Begriffe „Notfall-Exposition“ bzw. „bestehende Exposition“ verwendet werden, um Strahlenexpositionssituationen zu bezeichnen, in denen solche Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Exposition erforderlich sind.

2.4 Ausschluss und Befreiung

(51) Die Tatsache, dass die Empfehlungen der Kommission sich mit Strahlenexpositionen jeder Art und Höhe befassen, bedeutet nicht, dass alle Expositionen, alle Quellen und alle Handlungen bei der Festlegung gesetzlicher und regulatorischer Systeme für ihre Anwendung gleichermaßen betrachtet werden können oder müssen. Vielmehr müssen abgestufte Auflagen vorgesehen werden, die sich jeweils auf die Zugänglichkeit der betreffenden Quelle oder Expositionssituation für die regulierende Kontrolle und auf das mit dieser Quelle oder Situation verbundene Niveau der Exposition / des Risikos beziehen.

(52) Es gibt zwei unterschiedliche Konzepte, die das Maß der Kontrolle des Strahlenschutzes beschreiben:

- Der Ausschluss bestimmter Expositionssituationen von der Strahlenschutz-Gesetzgebung, gewöhnlich auf der Grundlage, dass sie der Überwachung mit regulierenden Maßnahmen nicht zugänglich sind (können nicht reguliert werden)
- die Befreiung von einigen oder allen Strahlenschutz-Bestimmungen für Situationen, in denen die Kontrolle als ungerechtfertigt betrachtet wird, häufig auf der Grundlage, dass der Überwachungs-Aufwand als zu hoch im Vergleich zu dem damit verbundenen Risiko erachtet wird (müssen nicht reguliert werden).

Ein gesetzgebendes System für den Strahlenschutz soll zunächst festlegen, was sich innerhalb seines Geltungsbereiches befindet und was jenseits davon liegt und daher vom Gesetz und seinen Bestimmungen ausgeschlossen ist. Zweitens soll das System auch festlegen, wofür eine Befreiung von einigen oder allen regulierenden Erfordernissen gelten kann, weil eine regulierende Maßnahme nicht vertretbar ist. Zu diesem Zweck soll der gesetzliche Rahmen es den regulierenden Aufsichtsbehörden ermöglichen, für bestimmte Situationen eine Befreiung von den regulierenden Bestimmungen zu verfügen, insbesondere von denjenigen administrativer Natur, wie Anzeige und Genehmigung oder Expositionsermittlung und Inspektion. Der Ausschluss ist zwar direkt gekoppelt an die Definition des Anwendungsbereichs des Überwachungssystems, er kann jedoch nicht genügen, da er lediglich ein Mechanismus ist. Die Befreiung hingegen bezieht sich auf die Befugnis von Aufsichtsbehörden zu bestimmen, dass eine Quelle oder „practice“ (Tätigkeit oder Arbeit) nicht einigen oder allen Gesichtspunkten der behördlichen Kontrolle unterworfen werden muss. Die Unterscheidung zwischen Ausschluss und Befreiung ist nicht absolut, Aufsichtsbehörden verschiedener Länder können unterschiedlich darüber entscheiden, ob eine spezifische Quelle oder Situation auszuschließen oder zu befreien ist.

(53) Zu Expositionen, die von der Strahlenschutz-Gesetzgebung ausgeschlossen werden können, gehören nicht kontrollierbare Expositionen und Expositionen, die im Wesentlichen der Kontrolle nicht zugänglich sind, ungeachtet ihrer Größenordnung. Nicht kontrollierbare Expositionen sind solche, die durch regulatorische Maßnahmen grundsätzlich nicht beschränkt werden können, wie z.B. Exposition durch das im menschlichen Körper befindliche Radionuklid Kalium-40. Zu den Expositionen, die der Kontrolle grundsätzlich nicht zugänglich sind, gehören z.B. Expositionen durch kosmische Strahlung in Bodenhöhe. Die Entscheidung darüber, welche Expositionen der Kontrolle nicht zugänglich sind, erfordert eine Beurteilung durch den Gesetzgeber, die durch kulturelle Auffassungen beeinflusst werden kann. So sind z. B die nationalen Einstellungen zur Regulierung von Expositionen durch natürlich vorkommende radioaktive Stoffe extrem unterschiedlich.

(54) Ausschluss und Befreiung werden in der Veröffentlichung 104, (ICRP, 2007a) eingehend erörtert.

2.5 Literatur

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993

ICRP. 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1-2).

ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann. ICRP 35 (4).

ICRP, 2007a. Scope of radiological protection control measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).

UNESCO, 2005. The Precautionary Principle. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

3. Biologische Gesichtspunkte des Strahlenschutzes

(55) Die meisten schädigenden gesundheitlichen Wirkungen einer Strahlenexposition lassen sich in zwei Hauptkategorien unterteilen:

- deterministische Wirkungen (schädliche Gewebereaktionen), die überwiegend durch Abtötung/-Fehlfunktionen von Zellen nach hohen Dosen bzw. auftreten, und
- stochastische Wirkungen wie Krebs und vererbare Wirkungen, die entweder, wie im Fall der Krebsentstehung, durch Mutationen in somatischen Zellen bei exponierten Personen oder, wie im Fall von Erbkrankheiten, bei deren Nachkommen, bedingt durch Mutationen in reproduktiven Zellen (Keimzellen) entstehen.

Wirkungen auf den Embryo und Fötus sowie andere Krankheiten als Krebs werden ebenfalls betrachtet.

(56) In ICRP 60 (1991b) hat die Kommission Strahlenwirkungen, die auf Gewebereaktionen beruhen, als deterministische Wirkungen eingestuft, und den Begriff stochastische Wirkungen für strahleninduzierten Krebs und vererbare Erkrankungen verwendet. Durch Schädigung von Zellpopulationen hervorgerufene Wirkungen wurden in ICRP 41 als nicht-stochastisch bezeichnet (ICRP 1984). Dieser Begriff wurde in ICRP 60 (1991b) durch „deterministisch“ im Sinne von „kausal durch vorhergehende Ereignisse determiniert“ ersetzt. Die generischen Begriffe „deterministische“ bzw. „stochastische Wirkungen“, sind nicht jedem außerhalb des Strahlenschutzbereiches vertraut. Aus diesem Grund und aus weiteren Erwägungen (die im Anhang A ausgeführt werden), werden in Kapitel 3 und in Anhang A auch die unmittelbar beschreibenden Begriffe „Gewebereaktionen“ bzw. „Krebs/vererbare Wirkungen“ verwendet. Der Kommission ist jedoch bewusst, dass in ihrem Schutzsystem für die generischen Begriffe „deterministische“ und „stochastische“ Wirkungen eine festgelegte, sehr gebräuchliche Sprachregelung für den Strahlenschutz besteht. Sie wird die generischen bzw. direkt beschreibenden Begriffe je nach Kontext synonym verwenden.

(57) In diesem Zusammenhang merkt die Kommission an, dass weitere mit Strahlung verbundene Wirkungen auf die Gesundheit, insbesondere einige nichtkanzerogene Wirkungen (siehe Abschnitt 3.3), noch nicht hinreichend verstanden werden, um sie einer dieser generischen Kategorien zuzuordnen. Seit 1990 hat die Kommission viele Aspekte der biologischen Strahlenwirkungen in Betracht gezogen. Ihre erarbeiteten Ansichten werden im vorliegenden Kapitel zusammengefasst unter der besonderen Berücksichtigung von effektiven Dosen von bis zu 100 mSv (bzw. Energiedosen von bis zu 100 mGy bei Strahlung mit niedrigem LET), die als Einzeldosis verabreicht oder jährlich akkumuliert werden. Eine detaillierte Zusammenfassung der Entwicklungen in der Strahlenbiologie und Epidemiologie seit 1990 befindet sich im Anhang A und in ICRP 99 (2005d) zusammen mit Erläuterungen der Bewertungen, die die Empfehlungen des vorliegenden Kapitels untermauern.

3.1 Induktion deterministischer Wirkungen (schädlicher Gewebereaktionen)

(58) Die Induktion von Gewebereaktionen ist generell durch eine Schwellendosis gekennzeichnet. Der Grund dafür ist, dass erst eine kritische Population von Zellen in einem gegebenen Gewebe dauerhaft durch Strahlen geschädigt werden muss (schwere Fehlfunktionen oder Tod), bevor sich ein Strahlenschaden in klinisch relevanter Form manifestiert. Oberhalb der Schwellendosis ergibt sich eine dosisabhängige Zunahme im Schweregrad des Schadens und eine Abnahme der Fähigkeit zur Gewebeerholung.

(59) Frühe strahlenbedingte Gewebereaktionen (innerhalb von Tagen oder Wochen) nach einer Überschreitung der Schwellendosis können vom Entzündungstyp sein, der aus der Freisetzung zellulärer Faktoren resultiert, oder Gewebereaktionen ergeben sich aus

Zellverlust (ICRP 59, 1991a). Späte Gewebereaktionen (innerhalb von Monaten oder Jahren) können generischer Art sein, wenn sie direkt aus der Schädigung des betreffenden Gewebes resultieren. Andere Spätreaktionen dagegen können Folgereaktionen sein, wenn sie sich als Konsequenz früher Zellschädigungen ergeben (Dörr und Hendry, 2001). Beispiele für diese strahleninduzierten Gewebereaktionen werden im Anhang A angegeben.

(60) Aufgrund der Überprüfung biologischer und klinischer Daten hat die Kommission ihre Bewertung von Zell- und Gewebemechanismen weiterentwickelt, die Gewebereaktionen und den Schwellendosen der wichtigsten Organe und Gewebe zu Grunde liegen. Es wird angenommen, dass im Dosisbereich bis zu etwa 100 mGy (niedriger LET oder hoher LET) kein Gewebe klinisch relevante funktionelle Beeinträchtigungen zeigt. Diese Einschätzung gilt sowohl für akute Einzeldosen als auch für Situationen, in denen diese niedrigen Dosen in protrahierter Form als wiederholte jährliche Expositionen auftreten.

(61) Auf den aktuellen Stand gebrachte Informationen über Dosis-schwellen (entsprechend den Dosiswerten, die zu etwa 1% Inzidenz führen) für verschiedene Organe und Gewebe sind dem Anhang A zu entnehmen. Auf der Grundlage der gegenwärtig vorliegenden Daten kommt die Kommission zu der Einschätzung, dass die in ICRP 60 (1991b) angegebenen Dosisgrenzwerte für Beschäftigte und für die Bevölkerung, einschließlich der Grenzwerte der Organdosis für Haut, Hände/Füße und Augen, weiterhin anzuwenden sind, um das Auftreten deterministischer Wirkungen (Gewebereaktionen) zu vermeiden (wie im Abschnitt 5.10 ausgeführt und aus der Tabelle 6 ersichtlich). Es werden jedoch neue Daten zur Strahlenempfindlichkeit der Augen erwartet, die die Kommission bei Verfügbarkeit sorgfältig prüfen wird. Zusätzlich wird im Anhang A auf die klinischen Kriterien Bezug genommen, die für Grenzwerte der Organdosis der Haut gelten.

3.2 Induktion stochastischer Wirkungen

(62) Durch epidemiologische Studien und experimentelle Untersuchungen ist ein Strahlenrisiko für Krebs belegt. Für Dosen von etwa 100 mSv oder weniger ist dies jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Für vererbare Erkrankungen gibt es zwar keine direkten Hinweise auf Strahlenrisiken für den Menschen, aber Beobachtungen aus experimentellen Untersuchungen legen plausibel dar, dass solche Risiken für künftige Generationen in das System des Strahlenschutzes einbezogen werden sollten.

3.2.1 Krebsrisiko

(63) Seit 1990 hat die Ansammlung von Zellkultur- und Tierversuchsdaten zur Strahlenkarzinogenese die Ansicht bestätigt, dass DNA-Schaden-Reaktions-Prozesse einer einzelnen Zelle kritisch sind für die Krebsentstehung nach einer Strahlenexposition. Aufgrund dieser Daten und der fortschreitenden Erkenntnisse über Prozesse der Krebsentstehung im Allgemeinen ist zu erwarten, dass detaillierte Informationen über die DNA-Schädigungsreaktion /-reparatur und über die Induktion von Gen- sowie Chromosomen-Mutationen entscheidend zu Einschätzungen über die mit Strahlung verbundene Erhöhung der Krebsinzidenz bei niedrigen Dosen beitragen können. Dieses Wissen beeinflusst auch die Bewertungen hinsichtlich der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW), der Strahlungswichtungsfaktoren und der Dosis- sowie Dosisleistungswirkungen. Von besonderer Bedeutung sind hier die Fortschritte bei den Erkenntnissen über Strahlenwirkungen auf die DNA, wie etwa die Induktion komplexer Formen von DNA-Doppelstrangbrüchen, über die Probleme, die Zellen bei der korrekten Reparatur dieser komplexen Formen der DNA-Schädigung haben, und das daraus resultierende Auftreten von Gen- sowie Chromosomenmutationen. Fortschritte in der Mikrodosimetrie über die Aspekte strahleninduzierter

DNA-Schädigung haben ebenfalls beträchtlich zum Verständnis beigetragen (siehe Anhänge A und B).

(64) Obgleich Ausnahmen bekannt sind, kommt die Kommission für die Zwecke des Strahlenschutzes zu der allgemeinen Einschätzung, dass auf Grund der Erkenntnisse der grundlegenden zellulären Prozesse in Verbindung mit Daten zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen die Auffassung nachdrücklich unterstützt wird, dass es im Bereich kleiner Dosen unterhalb von etwa 100 mSv wissenschaftlich plausibel ist anzunehmen, dass die Inzidenz von Krebs oder von vererbaren Wirkungen direkt proportional zur Erhöhung der Organdosis in den relevanten Organen oder Geweben ansteigt.

(65) Daher wird das von der Kommission empfohlene praktische System des Strahlenschutzes weiterhin auf der Annahme beruhen, dass bei Dosen unterhalb von etwa 100 mSv eine gegebene Dosiserhöhung zu einer direkt proportionalen Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von Krebs oder von vererbaren Wirkungen führt, die auf Strahlung zurückzuführen sind. Dieses Dosis-Wirkungs-Modell ist allgemein bekannt als lineares Modell ohne Schwellenwert („linear-non-threshold model“) oder LNT-Modell. Diese Auffassung stimmt überein mit derjenigen von UNSCEAR (2000). Weitere Abschätzungen wurden von verschiedenen nationalen Organisationen gegeben, einige in Übereinstimmung mit der UNSCEAR-Sicht (z. B. NCRP, 2001, NAS/NRC, 2006), während ein Bericht der Französischen Akademie der Wissenschaften (2005) sich für eine praktische Schwelle für das Risiko von strahleninduziertem Krebs ausspricht. Die Kommission dagegen kommt aufgrund einer von ihr durchgeführten Analyse (ICRP 99, 2005d) zu der Überzeugung, dass die Annahme des LNT-Modells in Verbindung mit einem begründeten Dosis- und Dosisraten-Effektivitätsfaktor (DDREF) eine belastbare Grundlage für die praktischen Zwecke des Strahlenschutzes darstellt, d. h. das Management von Risiken durch Strahlenexpositionen im Bereich kleiner Dosen.

(66) Die Kommission betont, dass es, obgleich das LNT-Modell ein wissenschaftlich plausibles Element ihres praktischen Strahlenschutzsystems bleibt, unwahrscheinlich ist, dass in naher Zukunft biologische/epidemiologische Daten verfügbar werden, die diese Hypothese eindeutig bestätigen könnten (siehe auch UNSCEAR, 2000, NCRP 2001). Wegen dieser Unsicherheit der gesundheitlichen Wirkungen nach niedrigen Dosen kommt die Kommission zu der Einschätzung, dass es nicht sinnvoll ist, für Zwecke der allgemeinen Gesundheitsplanung, die hypothetische Zahl von Krebsfällen und von vererbaren Erkrankungen, die mit sehr niedrigen Strahlendosen assoziiert sein können, die viele Menschen über sehr lange Zeitspannen erhalten können, zu berechnen (siehe auch Abschnitte 4.4.7 und 5.8).

(67) Während der Erarbeitung ihrer pragmatischen Einschätzung zum LNT-Modell hat die Kommission sich mit potenziellen Herausforderungen im Zusammenhang mit Erkenntnissen über zelluläre Anpassungsprozesse („adaptive Response“), das relativ große Ausmaß spontan auftretender und durch niedrige Dosen induzierter DNA-Schädigungen und die Existenz der nach Bestrahlung auftretenden zellulären Phänomene wie der induzierten genomischen Instabilität und dem Bystander-Effekt befasst (ICRP 99, 2005d). Die Kommission erkennt an, dass diese biologischen Faktoren, zusammen mit möglichen Krebs promovierenden Wirkungen protrahierter Bestrahlung und immunologischen Phänomenen, das Strahlenkrebsrisiko beeinflussen können (Streffer et al., 2004), dass jedoch bestehende Unsicherheiten hinsichtlich der Mechanismen und kanzerogenen Wirkungen der oben genannten Prozesse zu groß sind, um für die Praxis relevante Abschätzungen entwickeln zu können. Eine Übersicht ist in ICRP 99 und in UNSCEAR (2008) gegeben. Die Kommission merkt an, dass die Abschätzung nomineller Koeffizienten des Krebsrisikos auf direkten epidemiologischen Daten an Menschen beruht und somit jeder Beitrag dieser biologischen Mechanismen in der Abschätzung bereits berücksichtigt wurde. Die Unsicherheit hinsicht-

lich der Bedeutung dieser Prozesse für das Krebsrisiko wird bestehen bleiben, bis ihre Relevanz für die Krebsentstehung in vivo nachgewiesen ist und Erkenntnisse über die Dosisabhängigkeit der beteiligten zellulären Mechanismen vorliegen.

(68) Seit 1990 sind weitere epidemiologische Daten über das Risiko organspezifischer Krebserkrankungen nach Strahlenexposition verfügbar geworden. Viele dieser neuen Daten sind Ergebnisse des fortlaufenden Follow-up von Überlebenden der Atombombenexplosionen in Japan von 1945 im Rahmen der Lebenszeitstudie („Life Span Study“, LSS). Für Krebsmortalität (Preston et al., 2003) umfaßt der Follow-up-Zeitraum 47 Jahre (Oktober 1950 – Dezember 1997); für Krebsinzidenz (Preston et al., 2007) 41 Jahre (Januar 1958 – Dezember 1998). Diese letzteren, 1990 noch nicht verfügbaren Daten können zuverlässigere Abschätzungen des Risikos liefern, da die Daten zur Krebsinzidenz eine genauere Diagnose erlauben. Die Kommission hat daher für ihre vorliegenden Empfehlungen den Schwerpunkt auf Inzidenzdaten gelegt. Darüber hinaus geben epidemiologische Daten aus der LSS weiteren Aufschluss über den zeitlichen und altersabhängigen Verlauf des Strahlenkrebsrisikos, insbesondere durch die Abschätzung des Risikos bei denjenigen, die in jungen Jahren exponiert wurden. Insgesamt zeigt sich, dass die aus der LSS abgeleiteten aktuellen Schätzwerte des Krebsrisikos sich nicht wesentlich von denen von 1990 unterscheiden. Die Einbeziehung der Krebsinzidenz-Daten bildet jedoch eine stabilere Grundlage für die im Anhang A beschriebene Modellierung des Krebsrisikos.

(69) Die LSS ist indessen nicht die einzige Quelle von Daten über das Strahlenkrebsrisiko; vielmehr hat die Kommission auch Daten aus medizinischen, beschäftigungs- und umweltbezogenen Studien berücksichtigt (UNSCEAR, 2000, NAS/NRC, 2006). Für Krebserkrankungen einiger Lokalisationen besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den Daten der LSS und denen anderer Quellen. Für eine Reihe von Organ-/Gewebe-Risiken und für das Gesamtrisiko hingegen erkennt die Kommission Unterschiede im abgeschätzten Strahlenrisiko, die sich aufgrund verschiedener Datensätze ergeben. Den meisten Studien über umweltbezogene Strahlenexpositionen mangelt es gegenwärtig noch an zuverlässigen Daten zur Dosimetrie und zur Tumorerfassung, um zur Risikoabschätzung durch die Kommission direkt beitragen zu können. In der Zukunft können aber derartige Studien möglicherweise eine wertvolle Datenquelle sein.

(70) UNSCEAR verwendete einen Dosis- und Dosisraten-Effektivitätsfaktor (DDREF), um die bei hohen Dosen und Dosisleistungen ermittelten Werte des Krebsrisikos auf die Risiken zu projizieren, die bei niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen gelten würden. Im Allgemeinen wird, ausgehend von einer Kombination von Daten aus epidemiologischen Studien, Tierversuchen und zellulären Untersuchungen angenommen, dass das Krebsrisiko bei diesen niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen um den Wert des DDREF verringert wird. In ihren Empfehlungen von 1990 kam die Kommission zu der allgemeinen Einschätzung, dass ein DDREF von 2 für die Zwecke des angewandten Strahlenschutzes verwendet werden sollte.

(71) Im Prinzip sollten epidemiologische Daten zur protrahierten Exposition, wie z.B. diejenigen aus Studien zu Expositionen aus Umwelt und Arbeitswelt, direkten Aufschluss geben können über eine Abschätzung des DDREF. Eine genaue Abschätzung des DDREF ist jedoch gegenwärtig nicht möglich, bedingt durch die erreichbare statistische Präzision dieser Studien sowie anderer Unsicherheiten, die mit dem Problem einhergehen, Störgrößen in epidemiologischen Studien ausreichend zu kontrollieren (siehe Anhang A). Dementsprechend hat die Kommission beschlossen, für den DDREF weiterhin eine breite, allgemeine Einschätzung anzuwenden, gestützt auf Dosis-Wirkungs-Beziehungen aus Daten von Tierversuchen, der LSS und den Ergebnissen probabilistischer Unsicherheitsanalysen, die von Dritten durchgeführt wurden (NCRP, 1997, EPA, 1999, NCI/CDC, 2003, Anhang A).

(72) Das BEIR VII Komitee (NAS/NRC, 2006) verband hinsichtlich des DDREF kürzlich Daten aus strahlenbiologischen und epidemiologischen Studien mittels einer Bayes'schen statistischen Analyse. Die verwendeten Datensätze waren a) solide Krebserkrankungen der LSS; and b) Krebs und Lebenszeitverkürzung bei Tieren. Diese Analysen ergaben einen Modalwert des DDREF von 1,5 mit einem Bereich von 1,1 bis 2,3. Das BEIR VII Komitee entschied sich zur Verwendung des Wertes 1,5. Das BEIR VII Komitee anerkannte die subjektiven und probabilistischen Unsicherheiten, die ihrer spezifischen Wahl zugrunde liegen. Ein DDREF von 2 ist mit den verwendeten Daten und durchgeführten Analysen kompatibel. Darüber hinausgehend merkt die Kommission an (siehe Anhang A), dass für die Induktion von genetischen und chromosomalen Mutationen im Allgemeinen die Werte für den DDREF im Bereich von 2-4 liegen, für Krebsinduktion bei Tieren sowie Lebenszeitverkürzung bei Tieren im Bereich von 2-3.

(73) In Anbetracht aller oben genannten Daten und unter Berücksichtigung des weiten Bereichs von Daten aus Tierversuchen, die eine Verringerung karzinogener Wirksamkeit und lebensverkürzender Wirkungen nach protrahierten Expositionen zeigen, sieht die Kommission keinen zwingenden Grund, ihre Empfehlungen eines DDREF von 2 aus dem Jahr 1990 zu verändern. Die Kommission betont jedoch, dass dies nach wie vor eine grobe allgemeine Schätzung für die Zwecke des praktischen Strahlenschutzes ist, die daher ganzahlig angegeben wird und die Unsicherheiten enthält. Der DDREF von 2 wird von der Kommission verwendet, um die nominellen Risikoeffizienten für alle in Tabelle 1 (siehe Seite 53) angegebenen Krebserkrankungen herzuleiten, wobei die Kommission jedoch anerkennt, dass in Wirklichkeit verschiedene Dosis- und Dosisleistungswirkungen für verschiedene Organe und Gewebe zutreffen können.

3.2.2 Risiko vererbbarer Wirkungen

(74) Nach wie vor gibt es keine direkten Belege dafür, dass durch Strahlenexposition von Eltern zusätzliche vererbare Erkrankungen bei den Nachkommen ausgelöst werden. Die Kommission ist jedoch der Ansicht, dass es zwingende Beweise dafür gibt, dass Strahlung vererbare Wirkungen bei Versuchstieren hervorruft. Daher bleibt die Kommission aus Gründen der Vorsicht dabei, das Risiko vererbbarer Wirkungen in ihrem Strahlenschutzsystem zu berücksichtigen.

(75) Die Kommission nimmt ebenfalls Berichte zur Kenntnis (überprüft in UNSCEAR, 2001), die – gestützt auf Daten von Atombomben-Überlebenden und von genetischen Studien an Mäusen – argumentieren, dass das Risiko vererbbarer Erkrankungen in der Vergangenheit eher überschätzt worden sei. Aus der Zeit nach 1990 liegen einige Daten vom Menschen und aus Tierversuchen über quantitative Gesichtspunkte strahleninduzierter Keimzellenmutationen vor, die die Bewertung der Kommission hinsichtlich des Risikos der Induktion genetischer Erkrankungen in künftigen Generationen beeinflussen. Auch weiß man inzwischen erheblich mehr über die Grundlagen humangenetischer Erkrankungen und den Prozess der Mutagenese in der Keimbahn, einschließlich entsprechender Prozesse nach Strahlenexposition. Die Kommission hat die in ICRP 60 zur Abschätzung vererbbarer Risiken einschließlich der Risiken multifaktorieller Erkrankungen verwendete Methodik überprüft (ICRP 83, 1999b).

(76) Die Kommission hat nun einen neuen Rahmen für die Abschätzung vererbbarer Risiken angenommen, der Daten vom Menschen und aus Versuchen an Mäusen (UNSCEAR, 2001, NAS/NRC, 2006) verwendet. Ebenso wurde erstmals eine wissenschaftlich fundierte Methode für die Abschätzung des Risikos multifaktorieller Erkrankungen einbezogen. Versuche an Mäusen werden weiterhin für die Abschätzung genetischer Risiken verwendet, weil für den Menschen eindeutige Belege fehlen, dass strahlenbedingte

Keimbahnmutationen zu nachweisbaren genetischen Wirkungen bei den Nachkommen führen.

(77) Der neue Ansatz zur Bewertung vererbbarer Risiken beruht weiterhin auf dem Konzept der Verdoppelungsdosis (DD) für krankheits-assoziierte Mutationen, wie sie in ICRP 60 verwendet wurden. Die Methodik unterscheidet sich jedoch darin, dass die Erholung von Mutationen bei Lebendgeborenen bei der Abschätzung der DD berücksichtigt wird. Ein weiterer Unterschied besteht in der Verwendung direkter Daten über spontane Mutationsraten beim Menschen in Verbindung mit strahleninduzierten Mutationsraten, die von Versuchen an Mäusen abgeleitet wurden. Diese neue Methodik (siehe Anhang A, Kasten A.2) beruht auf dem UNSCEAR-Bericht von 2001 und wurde ebenfalls kürzlich durch NAS/NRC (2006) verwendet. In ICRP 60 wurden genetische Risiken für den Zeitpunkt des theoretischen Gleichgewichts zwischen Mutation und Selektion dargestellt. Angesichts fortgeschrittener Erkenntnisse ist die Kommission der Auffassung, dass viele der Annahmen, die solchen Berechnungen zugrunde liegen, nicht mehr haltbar sind. Diese Auffassung wird auch von UNSCEAR (2001) and NAS/NRC (2006) vertreten. Dem entsprechend gibt die Kommission genetische Risiken nur noch bis zur zweiten Generation an.

(78) Die Kommission ist der Auffassung, dass dieses Verfahren nicht zu einer signifikanten Unterschätzung vererbbarer Wirkungen führen wird. Diese Frage wird in UNSCEAR (2001) sowie eingehend im Anhang A erörtert, wo geltend gemacht wird, dass zwischen genetischen Risiken, die nach zwei oder zehn Generationen manifest werden, keine bedeutsamen Unterschiede bestehen.

(79) Die gegenwärtige Abschätzung genetischer Risiken bis zur zweiten Generation von etwa 0,2% pro Gy entspricht im Wesentlichen den Angaben von UNSCEAR (2001) (siehe Anhang A and UNSCEAR 2001, Tabelle 46). In Anbetracht der bedeutenden methodischen Änderungen ist jedoch die Ähnlichkeit des gegenwärtig bis in die zweite Generation geschätzten Risikos mit den Angaben in ICRP 60 zufällig. Der gegenwärtige Wert bezieht sich auf kontinuierliche Expositionen im niedrigen Dosisleistungsbereich über diese zwei Generationen.

3.2.3 Detriment-adjustierte nominelle Risikoeffizienten für Krebs und vererbare Wirkungen

(80) Um nominelle Risikoeffizienten gemittelt über beide Geschlechter abzuschätzen, wurden neue Daten zu Risiken bei strahlenbedingtem Krebs und vererbaren Wirkungen für die Risikomodelle und die Berechnung des Schadensmaßes benutzt.

(81) Die Kommission bleibt bei ihrem Grundsatz, dass die empfohlenen nominellen Risikoeffizienten auf ganze Bevölkerungen und nicht auf einzelne Personen anzuwenden sind. Die Kommission ist der Meinung, dass dieser Grundsatz ein allgemeines Schutzsystem ermöglicht, das einfach und hinreichend robust ist. Bei der Beibehaltung dieses Grundsatzes ist die Kommission sich dessen bewusst, dass beträchtliche Unterschiede in den Risiken für männliche und weibliche Personen bestehen (insbesondere für die Brust), und in Bezug auf das Alter zum Zeitpunkt der Exposition. Anhang A gibt Daten und Berechnungen in Bezug auf diese Unterschiede an.

(82) Die Berechnung von geschlechtsgemittelten nominellen Risikoeffizienten für Krebs schließt die Abschätzung nomineller Risiken für verschiedene Organe und Gewebe, die Berücksichtigung des DDREF, der Sterblichkeit und der Lebensqualität ein. Schließlich wird auch die Ableitung einer Reihe von organ- und gewebespezifischen Werten des relativen Detriments, einschließlich von vererbaren Wirkungen durch Expositionen der Keimdrüsen einbezogen. Diese relativen Werte des Schadensmaßes bilden die Grundlage für das System der Gewebewichtung durch die Kommission, das im Anhang A (Kasten Box A1) erörtert und im Kapitel 4 zusammengefasst wird.

(83) Auf der Grundlage dieser Berechnungen schlägt die Kommission nominelle Wahrscheinlichkeitskoeffizienten für detriment-adjustierte Krebsrisiken in Höhe von $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ für die gesamte Bevölkerung und $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ für erwachsene Beschäftigte vor. Für vererbare Wirkungen wird das detriment-adjustierte nominelle Risiko für die gesamte Bevölkerung auf $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ and für erwachsene Beschäftigte auf $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ geschätzt. Die wichtigste Änderung gegenüber ICRP 60 ist die 6-8 fache Verringerung des nominellen Risikokoeffizienten für vererbare Wirkungen. Diese Schätzungen werden in der Tabelle 1 angegeben und mit den Abschätzungen des Detriments verglichen, die in den Empfehlungen von 1990 in ICRP 60 (1991b) verwendet wurden. Die geänderte Abschätzung des genetischen Risikos führt zu einer wesentlichen Verminderung des abgeschätzten Werts des Gewebe-Wichtungsfaktors für die Keimdrüsen (siehe Kapitel 4 sowie eingehende Erörterungen im Anhang A). Die Kommission betont jedoch, dass diese Verringerung des Gewebe-Wichtungsfaktors für Keimdrüsen keine Erhöhung der kontrollierbaren Keimdrüsen-Expositionen rechtfertigt.

(84) Die gegenwärtigen nominellen Wahrscheinlichkeitskoeffizienten für Krebs in der Tabelle 1 wurden auf andere Weise errechnet als diejenigen der ICRP 60. Die gegenwärtige Abschätzung beruht auf Daten zur Krebsinzidenz, die hinsichtlich Sterblichkeit und Beeinträchtigung der Lebensqualität gewichtet worden sind. Das Detriment in ICRP 60 hingegen beruhte auf dem tödlichen Krebserkrankungsrisiko, gewichtet für nicht-tödliche Krebserkrankungen, dem relativen Verlust an Lebenszeit durch tödlich verlaufende Krebserkrankungen und auf der Beeinträchtigung der Lebensqualität durch nicht-tödliche Krebserkrankungen.

Tabelle 1: Detriment-adjustierte nominelle Risikokoeffizienten für stochastische Wirkungen nach Strahlenexposition bei niedriger Dosisleistung (10^{-2} Sv^{-1})

Exponierte Bevölkerung	Krebs		vererbare Defekte		Gesamt	
	Aktuell ^a	ICRP 60	Aktuell	ICRP 60	Aktuell	ICRP 60
Gesamt	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
Erwachsene	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6

^a Werte aus Anhang A

(85) Man beachte: Obwohl alle Koeffizienten in der Tabelle 1 mit einer Dezimalstelle angegeben sind, wird diese Darstellung lediglich im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit Anhang A verwendet und beinhaltet keinen Hinweis auf die Genauigkeit der Abschätzung (siehe Absätze 81 und 82).

(86) Trotz der Änderungen bei den Daten für das Krebsrisiko und ungeachtet der Fortschritte bei der Krebsbehandlung sind die gegenwärtigen nominellen Risikokoeffizienten im Großen und Ganzen kompatibel mit denen, die von der Kommission in der ICRP 60 vorgelegt wurden (1991b). Angesichts der Unsicherheiten, die im Anhang A erörtert werden, ist die Kommission der Ansicht, dass dem geringfügigen Unterschied in der Abschätzung des nominellen Risikos seit 1990 keinerlei praktische Bedeutung zukommt.

(87) Die Kommission empfiehlt daher, den genäherten und gerundeten Risikokoeffizienten für die Gesamtsterblichkeit von 5% pro Sv, auf dem die aktuellen internationalen Strahlenschutznormen beruhen, weiterhin als geeignet für die Zwecke des Strahlenschutzes zu betrachten.

3.2.4 Genetisch bedingte Empfindlichkeit für Krebs

(88) Die Frage individueller genetischer Unterschiede in der Empfindlichkeit für strahleninduzierten Krebs wurde in ICRP 60 angesprochen und in ICRP 79 neu bewertet (1998a).

Seit dem Jahr 1990 hat es einen bemerkenswerten Erkenntniszuwachs bei verschiedenen genetischen Erkrankungen des Menschen gegeben, die auf Störungen in nur einem Gen zurückzuführen sind (monogenetische Erkrankungen). Dabei wird eine erhöhte Spontanrate an Krebserkrankungen bei einem hohen Anteil der Träger beobachtet. Insbesondere bei diesen Genen mit hoher Penetranz zeigt sich deren Wirkung in einem deutlichen Anstieg an Krebserkrankungen. Studien mit humanen Zellen in Kultur und mit genetisch veränderten Nagern haben ebenfalls viele Erkenntnisse gebracht und legen, bei begrenzten epidemiologischen und klinischen Daten nahe, dass die meisten der seltenen Fälle monogenetischer Krebsanfälligkeit auch eine erhöhte Empfindlichkeit für kanzerogene Strahlenwirkungen besitzen.

(89) Ebenso bestätigt sich zunehmend, gestützt auf einige begrenzte Daten, dass Genvarianten mit niedrigerer Penetranz durch Gen-Gen- und Gen-Umwelt-Interaktionen zu einer hohen Variabilität der Manifestation von Krebs nach Strahlenexposition führen können.

(90) Auf der Grundlage der Daten und Einschätzungen, die in ICRP 79 entwickelt wurden sowie weiterer Informationen, die in den Berichten von UNSCEAR (2000, 2001) und NAS/NRC (2006) überprüft wurden, ist die Kommission davon überzeugt, dass Krebsgene mit hoher Penetranz zu selten vorkommen, um eine maßgebliche Verzerrung bevölkerungsbasierter Abschätzungen des Krebsrisikos bei niedrigen Strahlendosen hervorzurufen. Obgleich die Kommission anerkennt, dass Krebsgenvarianten niedriger Penetranz im Prinzip hinreichend verbreitet sind, um sich auf bevölkerungsbasierte Abschätzungen des Strahlenrisikos auszuwirken, reichen die verfügbaren Daten nicht aus, um eine aussagefähige quantitative Einschätzung dieses Themas zu gestatten.

3.3 Induktion von anderen Erkrankungen als Krebs

(91) Seit 1990 gibt es vermehrte Hinweise auf eine erhöhte Häufigkeit von Nicht-Krebs-Erkrankungen bei einigen strahlenexponierten Populationen. Die belastbarsten statistischen Belege für die Induktion dieser nicht Nicht-Krebs-Wirkungen bei effektiven Dosen in der Größenordnung von 1 Sv stammen von den aktuellsten Mortalitätsanalysen der japanische Atombomben-Überlebenden, die nach 1968 untersucht wurden (Preston et al., 2003). Diese Studie hat die statistische Evidenz für einen Zusammenhang mit der Dosis – insbesondere für Erkrankungen des Herzens, Schlaganfall, Erkrankungen der Verdauungsorgane und der Atemwege – verstärkt. Allerdings erkennt die Kommission gegenwärtige Unsicherheiten für den Verlauf der Dosis-Wirkungskurve bei niedrigen Dosen und merkt an, dass die LSS-Daten sowohl damit übereinstimmen, dass es keine Schwelle für Risiken der Sterblichkeit infolge dieser Erkrankung gibt als auch damit, dass es eine Schwellendosis von etwa 0,5 Sv gibt. Weitere Belege für nicht kanzerogene Strahlenwirkungen, wenn auch bei hohen Dosen, kommen von Untersuchungen an Krebspatienten nach Strahlentherapie, aber diese Daten klären nicht die Frage einer möglichen Dosischwelle (Anhang A). Es ist ebenfalls unklar, welche Mechanismen in den Zellen und Geweben derart mannigfaltigen Arten von Nicht-Krebs-Erkrankungen zugrunde liegen.

(92) Die Kommission erkennt zwar die mögliche Bedeutung der Beobachtungen über Nicht-Krebs-Erkrankungen an, sie ist jedoch der Ansicht, dass die verfügbaren Daten es nicht erlauben, diese Erkrankungen in die Abschätzung des Schadensmaßes nach Strahlenexposition im Bereich kleiner Dosen von weniger als etwa 100 mSv einzubeziehen. Diese Einschätzung stimmt mit den Schlussfolgerungen von UNSCEAR (2008) überein, wonach wenige Anhaltspunkte für ein zusätzliches Risiko (bei Dosen) unter 1 Gy zu finden sind.

3.4 Strahlenwirkungen beim Embryo und Fötus

(93) Die Risiken von Gewebereaktionen und Fehlbildungen beim strahlenexponierten Embryo und Fötus wurden in ICRP 90 (2003a) überprüft. Im Wesentlichen wurden durch diese bewertende Übersicht die in ICRP 60 angegebenen Einschätzungen hinsichtlich der Risiken in utero bestätigt, obgleich einige neue Daten vorliegen, die eine Klärung der Einschätzungen ermöglichen. Auf der Grundlage der ICRP 90 hat die Kommission folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Risiken von Gewebeschädigungen und Fehlbildungen in utero bei Dosen niedriger LET-Strahlung unter 100 mGy gezogen.:

(94) Die neuen Daten bestätigen die Empfindlichkeit von Embryonen für tödliche Strahlenwirkungen in der Präimplantationsphase der embryonalen Entwicklung. Bei Dosen unter 100 mGy sind solche letalen Wirkungen sehr selten.

(95) Im Hinblick auf die Induktion von Fehlbildungen wird durch die neuen Daten die Ansicht bestätigt, dass es ein vom Schwangerschaftsalter abhängiges Muster der Strahlenempfindlichkeit in utero gibt, wobei eine maximale Empfindlichkeit während der Hauptphase der Organentwicklung besteht. Auf der Grundlage von Daten aus Tierversuchen wird geurteilt, dass es eine wirkliche Dosisschwelle von etwa 100 mGy für die Induktion von Fehlbildungen gibt. Die Kommission kommt daher für Zwecke der Praxis zu der Einschätzung, dass Risiken von Fehlbildungen nach Exposition in utero durch Dosen, die deutlich unter 100 mGy liegen, nicht erwartet werden.

(96) Die Überprüfung der Daten von den Atombomben-Überlebenden über die Induktion schwerer mentaler Retardierung nach Bestrahlung in der empfindlichsten pränatalen Phase (8–15 Wochen nach Konzeption) in ICRP 90 (2003a), bestätigt eine Dosisschwelle von mindestens 300 mGy für diese Wirkung und damit das Fehlen von solchen Risiken bei niedrigen Dosen. Die zugehörigen Daten über die Abnahme der IQ-Werte, die auf etwa 25 Punkte pro Gy geschätzt werden, sind schwieriger zu interpretieren, und die Möglichkeit einer Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis kann nicht ausgeschlossen werden. Jedoch hätten selbst beim Fehlen einer ausgeprägten Dosisschwelle sämtliche Wirkungen auf den IQ nach in-utero-Dosen unter 100 mGy keinerlei praktische Relevanz. Diese Einschätzung ist in Übereinstimmung mit der Abschätzung in ICRP 60 (1991b).

(97) Auch über Daten zum Krebsrisiko nach Bestrahlung in utero gibt ICRP 90 einen Überblick. Die umfangreichsten Fall-Kontroll-Studien von medizinisch indizierten Strahlenexpositionen in utero erbrachten den Nachweis erhöhter Inzidenz aller Arten von Krebserkrankungen im Kindesalter. Die Kommission erkennt an, dass besondere Unsicherheiten in Bezug auf das Risiko strahleninduzierter solider Krebserkrankungen nach Exposition in utero bestehen. Nach Ansicht der Kommission ist man mit der Annahme, dass das Lebenszeit-Krebsrisiko nach Exposition in utero dem nach Bestrahlung in der frühen Kindheit vergleichbar ist, d.h. maximal bis zu dreimal so hoch ist wie das der gesamten Bevölkerung, auf der sicheren Seite.

3.5 Einschätzungen und Unsicherheiten

(98) Die mögliche Bedeutung synergetischer Effekte von Strahlung und anderen Wirkstoffen wird zwar von der Kommission anerkannt, jedoch gibt es bisher keine belastbaren Hinweise auf derartige Wechselwirkungen bei niedrigen Dosen, die eine Modifizierung bestehender Abschätzungen des Strahlenrisikos rechtfertigen würden (UNSCEAR, 2000).

(99) Unter Berücksichtigung der in diesem Abschnitt erörterten Daten beruht das von der Kommission empfohlene praktische System des Strahlenschutzes weiterhin auf der Annahme, dass bei Dosen unter 100 mSv eine gegebene Steigerung der Dosis eine direkt proportionale Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von auf Strahlung zurückzuführenden

Krebserkrankungen oder vererbbarer Wirkungen hervorruft. Nach Ansicht der Kommission bietet die weitere Anwendung des LNT-Modelles in Verbindung mit einem abgeschätzten Wert des DDREF eine sorgfältig bedachte Grundlage für die praktischen Zwecke des Strahlenschutzes, d.h. für das Risiko-Management von Strahlenexpositionen im Bereich kleiner Dosen in planbaren Situationen.

3.6 Literatur

- Dörr, W., Hendry, J.H., 2001. Consequential late effects in normal tissue. *Radiother. Oncol.* 61, 223–231.
- EPA, 1999. Estimating Radiogenic Cancer Risks. Addendum: Uncertainty Analysis. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- French Academies Report, 2005. La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants. (http://www.academie-sciences.fr/publications/rapports/pdf/dose_effet_07_04_05.pdf).
- ICRP, 1984. Non-stochastic effects of ionising radiation. ICRP Publication 41. *Ann. ICRP* 14 (3).
- ICRP, 1991a. The biological basis for dose limitation in the skin. ICRP Publication 59. *Ann. ICRP* 22 (2).
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP* 21(1–3).
- deutsch:
Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993
- ICRP, 1998a. Genetic susceptibility to cancer. ICRP Publication 79. *Ann. ICRP* 28 (1–2).
- ICRP, 1999b. Risk estimation for multifactorial diseases. ICRP Publication 83. *Ann. ICRP* 29 (3–4).
- ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. *Ann. ICRP* 33 (1/2).
- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. *Ann. ICRP* 35(4).
- NAS/NRC, 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. National Research Council of the National Academies, Washington, D.C.
- NCI/CDC, 2003. Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 NIH Radioepidemiological Tables. NIH Publication No. 03–5387. National Cancer Institute, Bethesda, MD.
- NCRP, 1997. Uncertainties in Fatal Cancer Risk Estimates used in Radiation Protection. NCRP Report 126. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda MD.
- NCRP, 2001. Evaluation of the Linear-Non threshold Dose-Response Model for Ionizing Radiation. NCRP Report No. 136. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda MD.
- Preston, D.L., Shimizu, Y., Pierce, D.A., et al., 2003. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality 1950–1997. *Radiat. Res.* 160, 381–407.
- Preston, D.L., Ron, E., Tokuoka, S., et al., 2007. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat. Res.* 168, 1–64.
- Streffer, C., Bolt, H., Follesdal, D., et al., 2004. Low Dose Exposures in the Environment: Dose-Effect Relations and Risk Evaluation. *Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung*, Band 23. Springer, Berlin, Germany.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II: Effects. United Nations, New York, NY.
- UNSCEAR, 2001. Hereditary Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.
- UNSCEAR, 2008. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

4. Im Strahlenschutz verwendete Größen

4.1 Einführung

(100) Für die Abschätzung der Dosis durch Strahlenexposition wurden spezielle dosimetrische Größen entwickelt. Die von der Kommission angenommenen grundlegenden Größen für den Strahlenschutz beruhen auf Messwerten der auf Organe und Gewebe des menschlichen Körpers übertragenen Energie. Um die Strahlendosis auf das Strahlenrisiko (Schadensmaß) zu beziehen, ist es notwendig, Unterschiede in der biologischen Wirksamkeit von Strahlungen verschiedener Qualität zu berücksichtigen und der unterschiedlichen Empfindlichkeit von Organen und Geweben für ionisierende Strahlung Rechnung zu tragen.

(101) In ICRP 26 (1977) wurden die Strahlenschutzgrößen (Körperdosisgrößen) „Äquivalentdosis“ für Organe und Gewebe des menschlichen Körpers und „effektive Äquivalentdosis“ eingeführt. Die Definition und Methode der Berechnung dieser Größen wurden in ICRP 60 (1991b) modifiziert, sodass nunmehr die Größen „Organdosis“ und „effektive Dosis“ maßgeblich sind. Mit der Entwicklung der Größen „effektive Äquivalentdosis“ und „effektive Dosis“ wurde ein bedeutender Beitrag zum Strahlenschutz geleistet, da es damit möglich wurde, Dosen aus Ganzkörper- und Teilkörper-Exposition von außen durch verschiedene Strahlenarten und durch Zufuhr von Radionukliden zu summieren.

(102) Die Organdosis und die effektive Dosis können nicht durch direkte Messung im Körpergewebe ermittelt werden. Das Schutzsystem beinhaltet daher operationelle Größen (Messgrößen), die messbar sind und mit denen die Organdosis und die effektive Dosis abgeschätzt werden können.

(103) Die allgemeine Akzeptanz der effektiven Dosis und der Nachweis ihrer Nützlichkeit für den Strahlenschutz sind wichtige Gründe für ihre Beibehaltung als zentrale Größe für Dosisabschätzungen im Strahlenschutz. Es gibt jedoch eine Reihe von Gesichtspunkten des in ICRP 60 gegebenen Dosimetriesystems, die angesprochen und geklärt werden müssen, wie im folgenden zusammenfassend und im Anhang B eingehend erörtert wird. Ebenso erfordert die Beschreibung derjenigen Situationen, in denen die effektive Dosis verwendet bzw. nicht verwendet werden soll, große Sorgfalt. In einigen Situationen sind die Größen „Energiedosis im Gewebe“ und „Organdosis“ besser geeignet.

4.2 Gesichtspunkte gesundheitlicher Auswirkungen

(104) Strahlenschutz im niedrigen Dosisbereich betrifft hauptsächlich den Schutz vor strahleninduziertem Krebs und vererbaren Erkrankungen. Von diesen Wirkungen wird angenommen, dass sie probabilistischer Natur sind, keine Dosischwelle existiert und sie in ihrer Häufigkeit proportional zur Strahlendosis zunehmen (siehe Kapitel 3 und Anhang A). Bei der Definition und Ermittlung der effektiven Dosis berücksichtigen die empfohlenen Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R die Unterschiede in der Wirkung verschiedener Strahlenarten hinsichtlich der Verursachung stochastischer Wirkungen, während die Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T die Unterschiede in der Strahlenempfindlichkeit verschiedener Organe und Gewebe für die Induktion stochastischer Wirkungen berücksichtigen (siehe Abschnitt 4.3.4 und Anhang B). Die Strahlungs-Wichtungsfaktoren für Strahlungen, die durch ein hohes lineares Energieübertragungsvermögen gekennzeichnet sind und als Strahlung mit hohem LET bezeichnet werden (siehe Abschnitt 4.3.3), wurden für stochastische Wirkungen bei niedrigen Dosen abgeleitet.

(105) Bei hohen Dosen, insbesondere in Notfallsituationen, können Strahlenexpositionen deterministische Wirkungen hervorrufen (Gewebereaktion). Derartige klinisch beobachtbare Schädigungen treten oberhalb von Schwellendosen auf. Das Ausmaß der

Schädigung ist abhängig von der Energiedosis und der Dosisleistung sowie von der Strahlenqualität (siehe Anhänge A und B) und der Empfindlichkeit des Gewebes. Im Allgemeinen werden für Gewebereaktionen, die durch Strahlungen mit hohem LET hervorgerufen werden, niedrigere Werte der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) festgestellt als für stochastische Wirkungen bei niedrigen Dosen, und die relative Empfindlichkeit der Gewebe ist ebenfalls unterschiedlich. Die Größen Organdosis und effektive Dosis sollen weder zur Quantifizierung höherer Strahlendosen noch zur Entscheidung über die Notwendigkeit der Behandlung von Gewebereaktionen verwendet werden. In derartigen Fällen sollen die Energiedosen angegeben werden (in Gray, Gy) bzw., sofern Strahlungen mit hohem LET (z.B. Neutronen oder Alphateilchen) beteiligt sind, die mit dem geeigneten RBW gewichtete Energiedosis (siehe Anhang B).

4.3 Dosisgrößen

(106) Das von der Kommission eingeführte Verfahren zur Bewertung der effektiven Dosis besteht darin, die Energiedosis als physikalische Basisgröße zu verwenden, sie über festgelegte Körperorgane und Gewebe zu mitteln und passende Wichtungsfaktoren zu verwenden, um bei der Angabe der Organdosis den Unterschieden in der biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlungsarten Rechnung zu tragen und um Unterschiede in den Empfindlichkeiten verschiedener Organe und Gewebe in Bezug auf stochastische gesundheitliche Schäden zu berücksichtigen. Die Werte der Organdosis werden dann entsprechend der Strahlungsempfindlichkeit dieser Organe und Gewebe gewichtet und addiert, um die effektive Dosis zu ermitteln. Diese Größe berücksichtigt somit die Exposition durch externe Strahlungsfelder und durch inkorporierte Radionuklide sowie die primären physikalischen Wechselwirkungen in menschlichem Gewebe und Bewertungen der biologischen Reaktionen, die zu stochastischen gesundheitlichen Schäden führen (Anhang B).

4.3.1 Energiedosis

(107) In der Strahlenbiologie, in der klinischen Radiologie und im Strahlenschutz ist die Energiedosis D die physikalische Basisgröße. Sie wird für alle Arten von ionisierender Strahlung und bei allen Bestrahlungsgeometrien verwendet. Sie ist als Quotient von $d\bar{\varepsilon}$ durch dm definiert, wobei $d\bar{\varepsilon}$ die mittlere Energie ist, die an eine Materie mit der Masse dm durch ionisierende Strahlung abgegeben wird, d. h.

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (4.1)$$

(108) Die SI-Einheit der Energiedosis ist Jkg^{-1} , ihr besonderer Name ist Gray (Gy). Die Energiedosis wird vom Mittelwert der stochastischen Größe der übertragenen Energie ε abgeleitet und gibt die statistischen Schwankungen der Wechselwirkungsereignisse im Gewebe nicht wieder. Während sie an jedem beliebigen Punkt in Materie definiert ist, wird ihr Wert als Mittelwert über ein Masseelement dm , und damit über viele Atome oder Moleküle, ermittelt. Die Energiedosis ist eine messbare Größe, und es sind Primärnormale vorhanden, um ihren Wert zu bestimmen. Die Größe Energiedosis ist wissenschaftlich gut begründet und entspricht den Anforderungen einer physikalischen Basisgröße (Anhang B).

4.3.2 Mittelung der Dosis

(109) Wird die Größe „Energiedosis“ im praktischen Strahlenschutz angewendet, so werden die Dosen über Gewebevolumen gemittelt. Man geht davon aus, dass für niedrige

Energiedosen der über ein spezifisches Organ oder Gewebe gemittelte Wert der Energiedosis mit den Strahlenschäden für stochastische Wirkungen in diesem Gewebe mit einer für Strahlenschutz Zwecke ausreichenden Genauigkeit korreliert ist. Die Mittelung von Energiedosen in Geweben oder Organen und das Addieren von gewichteten mittleren Dosen in verschiedenen Organen und Geweben des menschlichen Körpers bilden die Grundlage für die Definition der Strahlenschutzgrößen, die verwendet werden, um stochastische Wirkungen bei niedrigen Dosen zu begrenzen. Dieser Ansatz basiert auf dem LNT-Modell und ermöglicht daher auch das Addieren von Dosen, die von externer und interner Exposition stammen.

(110) Der Mittelung der Energiedosis erfolgt über die Masse eines spezifischen Organs (z.B. der Leber) oder Gewebes (z.B. der Muskeln) oder der empfindlichen Region eines Gewebes (z.B. Flächen des Skeletts). Die Repräsentativität des gemittelten Dosiswerts für die Energiedosis in allen Regionen der Organe, Gewebe oder Geweberegionen ist – bei externer Bestrahlung – von der Homogenität der Bestrahlung und von der Reichweite der auf den Körper einwirkenden Bestrahlung abhängig. Die Homogenität der Dosisverteilung im niedrigen Dosisbereich hängt auch von mikrodosimetrischen Eigenschaften ab. Bei Strahlungen mit niedrigem Eindringvermögen oder kurzer Reichweite (z.B. niederenergetische Photonen oder geladene Teilchen) sowie bei großflächigen Geweben oder Organen (z.B. rotem Knochenmark, Lymphknoten oder Haut) ist die Verteilung der Energiedosis innerhalb des festgelegten Organs oder Gewebes noch heterogener. In Fällen extremer Teilkörperbestrahlung kann ein Gewebeschaden auftreten, obwohl die Durchschnittsdosis für das Organ oder Gewebe oder die effektive Dosis unter dem Dosisgrenzwert liegt. Ein spezieller Grenzwert für die örtliche Hautdosis zum Beispiel berücksichtigt diese Situation, falls eine Bestrahlung mit einer Strahlung mit niedrigem Eindringvermögen folgt.

(111) Die Verteilung der Energiedosis, die von Strahlungen von in Organen oder Geweben abgelagerten Radionukliden (sogenannte „interne Strahler“) in den Organen verursacht werden, hängt von der Durchdringung und der Reichweite der emittierten Strahlungen ab. Daher kann es sein, dass die Energiedosisverteilung für Radionuklide, die Alphateilchen, weiche Betateilchen, Photonen niedriger Energie oder Auger-Elektronen emittieren, extrem heterogen ist (s. Anhang B). Diese Heterogenität trifft vor allem bei Radionukliden in den Atemwegen, im Verdauungstrakt und im Skelett zu. Spezifische dosimetrische Modelle sind entwickelt worden, um diese Heterogenität bei der Verteilung und der Retention der Aktivität und der empfindlichen Regionen in diesen besonderen Fällen zu berücksichtigen.

4.3.3 Organdosis und Strahlungs-Wichtungsfaktoren

(112) Strahlenschutzgrößen werden verwendet, um Expositionsgrenzwerte festzulegen, die sicherstellen, dass das Auftreten stochastischer Gesundheitswirkungen unterhalb einer akzeptablen Größe bleibt und dass direkte Reaktionen des Gewebes vermieden werden. Die Definition der Strahlenschutzgrößen stützt sich auf die mittlere Energiedosis $D_{T,R}$ im Volumen eines spezifizierten Organs oder Gewebes T (s. Tabelle 3), die durch Strahlung des Typs R (siehe Tabelle 2) verursacht wird. Die Strahlung R ergibt sich aus der Art und der Energie der Strahlung, die auf den Körper auftrifft oder die von Radionukliden innerhalb des Körpers emittiert wird. Die Strahlenschutzgröße Organdosis (equivalent dose) in einem Organ oder Gewebe H_T ist dann wie folgt definiert:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (4.2)$$

wobei w_R der Strahlungs-Wichtungsfaktor für die Strahlung R ist. Die Summierung wird über alle betreffenden Strahlungsarten durchgeführt. Die Einheit der Organdosis ist $J\ kg^{-1}$, und sie trägt den speziellen Namen Sievert (Sv).

(113) In den frühen 1960er Jahren hing die Bewertung der Strahlung bei der Definition von Strahlenschutzgrößen mit dem Qualitätsfaktor Q in Abhängigkeit von LET zusammen und wurde in ICRP 26 (1977) als $Q(L)$ -Funktion angegeben. In ICRP 60 (1991b) wurde die Methode der Strahlungswichtung in der Definition der Strahlenschutzgrößen „Organdosis“ und „effektive Dosis“ geändert. Die Kommission wählte einen Satz von Strahlungs-Wichtungsfaktoren (w_R), die für die Verwendung im Strahlenschutz als geeignet angesehen wurden. Die Werte für w_R wurden im Wesentlichen auf der Grundlage der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) der verschiedenen Strahlungen festgelegt.

(114) In diesen Empfehlungen wurde ein überarbeiteter Satz von w_R -Werten auf der Grundlage einer erneuten Bewertung der vorhandenen Daten übernommen (siehe Anhänge A und B). Die in diesen Empfehlungen angegebenen Werte von w_R für Neutronen und Protonen unterscheiden sich von denen in ICRP 60 (siehe unten und Anhang B). Ebenfalls aufgenommen wurde ein w_R -Wert für geladene Pionen. Der Wert von w_R für Photonen gilt für Röntgen- und Gammastrahlung aller Energien. Die numerischen Werte von w_R beziehen sich auf die Strahlungsart – im Fall von Neutronen auch auf die Energie der Strahlung –, die auf den Körper auftrifft oder die von Radionukliden im Körper ausgestrahlt wird (siehe Tabelle 2). Die Werte von w_R basieren auf Schätzungen auf der Grundlage einer großen Zahl von RBW-Daten bezüglich stochastischer Wirkungen. Die RBW-Werte nehmen mit abnehmender Strahlendosis bis zu einem Maximum (RBW_M) zu (ICRP, 2003c). Die RBW_M -Werte wurden für die Wahl von w_R -Werten herangezogen und für Strahlenschutz Zwecke sind diesen w_R -Faktoren feste Werte zugeordnet.

Tabelle 2: Empfohlene Strahlungs-Wichtungsfaktoren

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen	1
Elektronen ^a und Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente und Schwerionen	20
Neutronen	Eine stetige Funktion der Neutronenenergie (siehe Abb. 1 und Gleichung. 4.3)

Alle Werte beziehen sich auf die Strahlung, die auf den Körper auftrifft oder die – im Falle interner Strahlenquellen – von (einem) innerhalb des Körpers befindlichen Radionuklid(en) abgestrahlt wird.

^a Der Sonderfall der Auger-Elektronen, der unter Punkt 116 und in Abschnitt B.3.3 von Anhang B erläutert wird, ist zu beachten.

(115) **Referenzstrahlung.** Die RBW-Werte, die experimentell ermittelt worden sind, hängen von der gewählten Referenzstrahlung ab. Im Allgemeinen wird Niedrig-LET-Photonenstrahlung als Referenz genommen, wobei keine spezielle Photonenenergie vereinbart wurde. Als für ICRP 60 Strahlungs-Wichtungsfaktoren ausgewählt wurden, wurde eine große Bandbreite an experimentellen RBW-Daten betrachtet, die entweder hochenergetische Röntgenstrahlung größer ca. 200 kV oder Kobalt-60 oder Cäsium-137-Gammastrahlung als Referenzstrahlung benutzten (siehe Anhang B). Dieser Ansatz wird auch in den vorliegenden Empfehlungen verfolgt, obwohl man sich darüber im Klaren sein soll, dass sich je nach Wahl der Referenzstrahlung – Röntgenstrahlung oder hochenergetische Gammastrahlung (z. B. Kobalt-60) – experimentell unterschiedliche RBW-Werte ergeben

können. Solche Unterschiede sind hauptsächlich in Studien mit Zellkulturen festgestellt worden (siehe Anhang B).

Tabelle 3: Empfohlene Gewebe-Wichtungsfaktoren

Gewebe	w_T	w_T
Knochenmark (rot), Kolon, Lunge, Magen, Brust, restliche Gewebe ^a	0,12	0,72
Keimdrüsen	0,08	0,08
Blase, Oesophagus, Leber, Schilddrüse	0,04	0,16
Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüsen, Haut	0,01	0,04
	Gesamt	1,00

^a restliche Gewebe: Nebennieren, Obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata (σ), Dünndarm, Milz, Thymus, Gebärmutter/Gebärmutterhals (\varnothing)

(116) **Photonen, Elektronen und Myonen.** Photonen, Elektronen und Myonen sind Strahlungen mit LET-Werten unter $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$. Für diese Strahlungen galt schon immer ein Strahlungs-Wichtungsfaktor von 1. Es gibt gute Argumente (s. Anhang B), die dafür sprechen, weiterhin einen w_R -Wert von 1 für alle Strahlungen mit niedrigem LET zu verwenden (Anhang B, Tabelle 3). Dies bedeutet jedoch nicht, dass es keinen Unterschied in der Strahlenqualität von Photonen verschiedener Energien gibt. Die vorgeschlagene Vereinfachung ist nur für diesen Anwendungsbereich der Organdosis und der effektiven Dosis ausreichend, z.B. zur Dosisbeschränkung und -bewertung und zur Überwachung der Dosis im niedrigen Dosisbereich. Wenn individuelle retrospektive Risikobewertungen durchgeführt werden müssen, kann es notwendig sein, detailliertere Informationen über das Strahlungsfeld und geeignete RBW-Faktoren in Betracht zu ziehen, falls relevante Daten vorliegen. Auf Grund der Heterogenität der Dosisverteilung innerhalb der Zellen, wie z.B. im Fall von Tritium oder Auger-Strahlern, die in die DNA inkorporiert sind, kann eine spezifische Analyse erforderlich sein (s. Anhang B). Für solche Betrachtungen sind die Organdosis und die effektive Dosis keine geeigneten Größen (s. 4.4.6).

(117) **Neutronen.** Der Strahlungs-Wichtungsfaktor für Neutronen spiegelt deren relative biologische Wirksamkeit bei externer Exposition wieder. Die biologische Wirksamkeit von Neutronen, die auf den menschlichen Körper auftreffen, ist in hohem Maße von der Neutronenenergie abhängig (s. Anhang B).

(118) In ICRP 60 (1991b) wurde der Strahlungs-Wichtungsfaktor für Neutronen durch eine Treppenfunktion definiert. Nun wird empfohlen, den Strahlungs-Wichtungsfaktor für Neutronen durch eine stetige Funktion zu definieren (Abb. 1). Jedoch soll beachtet werden, dass die Verwendung einer stetigen Funktion auf der Überlegung basiert, dass in der Praxis die meisten Neutronenexpositionen Neutronen in einem weiten Energiebereich umfassen. Die Empfehlung der stetigen Funktion beruht nicht auf einer höheren Genauigkeit der Basisdaten. Eine detaillierte Diskussion über die Auswahl der w_R -Funktion für Neutronen kann Anhang B entnommen werden. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zu den Daten in ICRP 60 sind die Abnahme von w_R im Bereich niedriger Energien, die den großen Beitrag von sekundären Photonen zur Energiedosis im menschlichen Körper berücksichtigt, und die Abnahme von w_R bei Neutronenenergien über 100 MeV. Folgende stetige Funktion wird zur Berechnung der Strahlungs-Wichtungsfaktoren für Neutronen empfohlen (E_n in MeV):

$$w_R = \begin{cases} 2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E_n)]^2 / 6} & , E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5,0 + 17,0 e^{-[\ln(2 E_n)]^2 / 6} & , 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04 E_n)]^2 / 6} & , E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases} \quad (4.3)$$

Diese Funktion (s. Gleichung (4.3) und Abb. 1) wurde empirisch abgeleitet und entspricht dem derzeitigen biologischen und physikalischen Wissen (Anhang B).

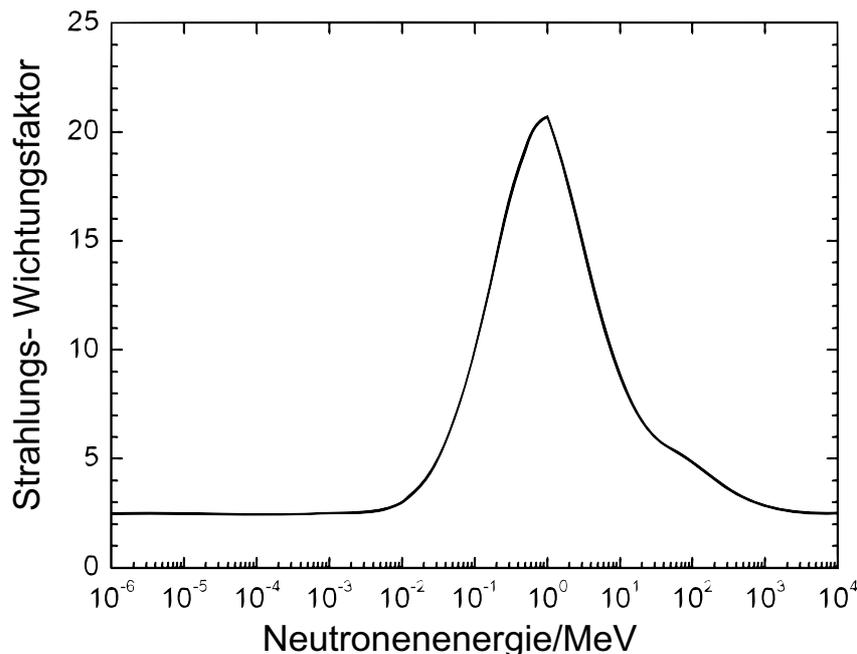


Abb. 1: Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R für Neutronen als Funktion der Neutronenenergie.

(119) **Protonen und Pionen.** Bei der Betrachtung einer Exposition durch Protonen sind für den praktischen Strahlenschutz ausschließlich externe Strahlenquellen von Bedeutung. In den Protonenfeldern der kosmischen Strahlung oder in der Nähe von Hochenergie-Teilchenbeschleunigern überwiegen sehr hochenergetische Protonen. Protonen mit Energien von wenigen MeV sind von geringer Bedeutung für die effektive Dosis, auch wenn ihre erhöhte biologische Wirksamkeit bei niedrigen Energien berücksichtigt wird. Für den Strahlenschutz ist es ausreichend, einen einzigen w_R -Wert für Protonen aller Energien festzulegen, der überwiegend auf radiobiologischen Daten für hochenergetische Protonen über 10 MeV beruht. Die Reichweite von 10 MeV-Protonen in Gewebe beträgt 1,2 mm und nimmt mit niedrigeren Energien ab. Diese Protonen werden in der Haut absorbiert (Anhang B). Für externe Protonenstrahlung wird ein einziger Strahlungs-Wichtungsfaktor von 2 zur allgemeinen Verwendung empfohlen (ICRP, 2003c). Er ersetzt den Wert von 5, der in ICRP 60 empfohlen wurde (1991b).

(120) Pionen sind negativ oder positiv geladene oder neutrale Teilchen, die in Strahlungsfeldern vorkommen, die aus Wechselwirkungen zwischen primärer kosmischer Strahlung und Kernen in großen Höhen in der Atmosphäre entstehen. Diese Teilchen tragen zur Exposition in Flugzeugen bei. Sie kommen auch als Teil der komplexen Strahlungsfelder hinter der Abschirmung von Hochenergie-Teilchenbeschleunigern vor und leisten somit einen Beitrag zur beruflichen Strahlenexposition des dort beschäftigten Personals. Da die

die Energieverteilung von Pionen in Strahlungsfeldern sehr breit ist, wird die Verwendung eines einzigen Wichtungsfaktors von 2 für alle geladenen Pionen empfohlen.

(121) **Alphateilchen.** Menschen können Alphateilchen aus inkorporierten Strahlern, z.B. aus inhalierten Radonzerfallsprodukten oder aufgenommenen alphastrahlenden Radionukliden wie Plutonium-, Polonium-, Radium-, Thorium- und Uranisotopen, ausgesetzt sein. Eine Reihe von epidemiologischen Studien sowie aus Tierversuchen erhaltene Daten geben Aufschluss über die Risiken bei inkorporierten Alphastrahlern. Die Verteilung der Radionuklide in Organen und Gewebe ist jedoch komplex, und die Schätzung der Dosis hängt von den verwendeten Modellen ab. Daher sind die errechneten Dosen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und führen zu einem breiten Bereich von RBW-Werten aus epidemiologischen sowie experimentellen Studien (ICRP, 2003c, und Anhang B).

(122) Trotz erheblicher Unsicherheiten in den Schätzwerten für die Dosis und die durch die Inkorporation alphastrahlender Radionuklide bedingten Risiken zeigen vorliegende Daten aus Menschen- und Tierversuchen, dass die RBW vom betrachteten biologischen Endpunkt abhängig ist. Die begrenzten Daten für den Menschen, die eine Schätzung der RBW von Alphateilchen erlauben, deuten auf Werte um 10 bis 20 für Lungen- und Leberkrebs und niedrigere Werte für Knochenkrebs und Leukämie hin. Die vorhandenen Daten und die Auswahl eines w_R -Werts für Alphateilchen sind in ICRP 92 (2003c) beurteilt worden. Da neuere Daten keinen zwingenden Grund für eine Änderung des Strahlungs-Wichtungsfaktors für Alphateilchen zeigen, wird der w_R -Wert von 20, der in ICRP 60 aufgeführt ist (1991b), beibehalten.

(123) **Spaltfragmente und Schwerionen.** Dosen von Spaltfragmenten sind wichtig im Strahlenschutz – vor allem im Bereich der internen Dosimetrie – und hinsichtlich der Strahlungs-Wichtungsfaktoren ist die Situation ähnlich wie für die Alphateilchen. Die kurzen Reichweiten von Schwerionen und Spaltfragmenten in Organen und Gewebe sowie die daraus resultierende Ionisierungsdichte haben einen großen Einfluss auf ihre biologische Wirksamkeit. Der hierfür empfohlene Strahlungs-Wichtungsfaktor von 20 (s. Tabelle 2) ist der gleiche wie der von Alphateilchen

(124) Schwerionen kommen in externen Strahlungsfeldern in der Luftfahrt in großen Höhen und in der Raumfahrt vor. RBW-Daten für Schwerionen liegen nur in sehr begrenztem Umfang vor und beruhen hauptsächlich auf In-vitro-Experimenten. Die Strahlenqualität von auf den Körper auftreffenden und im menschlichen Körper gestoppten schweren Teilchen verändert sich merklich entlang der Spur der Teilchen im Körper. Die Wahl eines einzigen w_R -Wertes von 20 für alle Arten und Energien von schweren geladenen Teilchen stellt eine konservative Schätzung dar und wird als ausreichende Näherung für allgemeine Anwendungen im Strahlenschutz empfohlen. Für Anwendungen im Weltraum, wo diese Teilchen erheblich zur gesamten im menschlichen Körper absorbierten Dosis beitragen, kann ein realistischerer Ansatz erforderlich sein.

4.3.4 Effektive Dosis und Gewebe-Wichtungsfaktoren

(125) Die effektive Dosis, E , die in ICRP 60 (1991b) eingeführt wurde, ist durch eine gewichtete Summe von Organdosen definiert als:

$$\begin{aligned}
 E &= \sum_T w_T H_T \\
 &= \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

wobei w_T der Wichtungsfaktor für das Gewebe T ist und $\sum w_T = 1$ gilt. Die Summe wird über alle Organe und Gewebe des menschlichen Körpers berechnet, die als empfindlich in

Bezug auf die Induktion stochastischer Effekte gelten. Die w_T -Werte werden so gewählt, dass sie den relativen Beitrag einzelner Organe und Gewebe zu den gesamten, durch stochastische Effekte verursachten Strahlenschäden darstellen. Die Einheit der effektiven Dosis ist $J\ kg^{-1}$ und trägt den besonderen Namen Sievert (Sv). Die Einheit ist dieselbe für die Organdosis und die effektive Dosis sowie für einige operationelle Dosisgrößen (Messgrößen siehe 4.3.7). Deshalb muss darauf geachtet werden, dass die verwendete Größe eindeutig angegeben ist.

(126) Die Organe und Gewebe, für die w_T -Werte festgelegt wurden, sind in Tabelle 3 aufgeführt (s. auch Anhang A).

(127) Ausgehend von epidemiologischen Studien über die Krebsinduktion in exponierten Bevölkerungsgruppen und der Risikobewertung für Erbschäden wurde für die vorliegende Empfehlung eine Reihe von w_T -Werten (Tabelle 3) auf der Grundlage der jeweiligen Werte des relativen Detriments (s. Tabelle 5 in Anhang A) gewählt. Diese stellen Mittelwerte dar, gemittelt über Menschen beider Geschlechter und aller Altersgruppen, und beziehen sich somit nicht auf die Eigenschaften einzelner Personen.

(128) Der w_T -Wert für die restlichen Gewebe (0,12) bezieht sich auf die arithmetische Durchschnittsdosis der 13 Organe und Gewebe, die in der Fußnote zu Tabelle 3 für aufgeführt sind. Die sogenannte "Splittingregel" zur Behandlung der restlichen Gewebe, die in ICRP 60 (1991b) eingeführt wurde, wird nicht mehr verwendet. Daher ist die effektive Dosis nun additiv.

4.3.5 Bestimmung der effektiven Dosis

Referenzphantome

(129) Die Größen „Organdosis“ und „effektive Dosis“ sind nicht praktisch messbar. Bei beruflicher Strahlenexposition werden ihre Werte durch dosimetrische Überwachung unter Verwendung von messbaren Größen gewonnen (s. 4.3.6). Zur Berechnung von Konversionskoeffizienten für die Dosisermittlung bei äußerer Strahlenexposition in unterschiedlichen Strahlungsfeldern werden geometrische Phantome verwendet. Zur Berechnung von Dosiskoeffizienten für die Dosisermittlung bei Inkorporation von Radionukliden werden biokinetische Modelle, physiologische Referenzparameter und anthropomorphe Phantome verwendet (s. Anhang B).

(130) Die Ermittlung von Organdosen für den männlichen und weiblichen Referenzmenschen sowie der effektiven Dosis für die Referenzperson beruht auf dem Einsatz von anthropomorphen Modellen (Phantomen). In der Vergangenheit hat die Kommission keine speziellen Phantome festgelegt, und tatsächlich sind bisher auch unterschiedliche mathematische Phantome wie z.B. die Hermaphroditenmodelle vom Typ MIRD (Snyder et al., 1969), die geschlechtsspezifischen Modelle von Kramer et al. (1982) oder die altersspezifischen Phantome von Cristy und Eckerman (1987) verwendet worden. Heute verwendet die Kommission rechnergestützte Referenzphantome eines erwachsenen männlichen und weiblichen Referenzmenschen zur Berechnung der Organdosen für Organe und Gewebe (Abb. 2). Die Phantome basieren auf Computertomografien (Zankl et al., 2005). Sie sind aus dreidimensionalen Volumenelementen (Voxel) zusammengesetzt. Die Anzahl der Voxel, die bestimmte Organe darstellen, ist so angepasst worden, dass die Massen in etwa den Massen der in ICRP 89 (2002) dem männlichen und weiblichen Referenzmenschen zugewiesenen Organe entsprechen. Um einen praktikablen Ansatz zur Schätzung der Organdosen und der effektiven Dosis zu liefern, werden Konversionskoeffizienten zu physikalischen Größen – wie z.B. der Teilchenfluenz oder der Luftkerma bei äußerer Exposition und der Aktivitätszufuhr bei innerer Exposition – für Standardexpositionsbedingungen der Referenzphantome berechnet.

(131) Diese Phantome sind rechnergestützte Darstellungen des männlichen und weiblichen Referenzmenschen und werden verwendet, um die mittlere Energiedosis D_T in einem Organ oder einem Gewebe T zu berechnen, und zwar in externen Referenzstrahlungsfeldern (außerhalb des Körpers) und beim Zerfall von Radionukliden nach ihrer Inkorporation. Sie werden für die Berechnungen von Dosiskonversionskoeffizienten für externe Strahlungsfelder und Dosiskoeffizienten für inkorporierte Radionuklide verwendet (s. Anhang B). Diese Organ- bzw. Gewebedosen werden dann mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor multipliziert, um die Organdosen in den Geweben und Organen des männlichen und weiblichen Referenzmenschen zu erhalten (s. Abb. 2). Rechnergestützte Referenzphantome sollen in Zukunft auch für Kinder verschiedener Altersstufen sowie für die schwangere Frau und den Fötus entwickelt werden.

Mittelwertbildung für beide Geschlechter bei der effektiven Dosis

(132) Zu Strahlenschutz Zwecken ist es sinnvoll, einen einzigen Wert der effektiven Dosis für beide Geschlechter anzuwenden (s. Abschnitt 33). Die in Tabelle 3 aufgeführten Gewebe-Wichtungsfaktoren sind für alle Organe und Gewebe über Geschlecht und Alter gemittelte Werte – einschließlich der männlichen und weiblichen Brust, der Hoden und der Eierstöcke (Keimdrüsen: karzinogene und vererbare Effekte). Diese Mittelwertbildung impliziert, dass die Anwendung dieses Ansatzes ausschließlich der Bestimmung der effektiven Dosis zu Strahlenschutz Zwecken dient und insbesondere zur individuellen Risikobewertung nicht benutzt werden kann. Die effektive Dosis wird dann aus den für das Organ oder Gewebe T des männlichen und weiblichen Referenzmenschen ermittelten Organdosen (H_T^M bzw. H_T^F) nach folgender Gleichung berechnet (s. auch Anhang B):

$$E = \sum_T w_T \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (4.5)$$

(133) Ähnlich dem Ansatz für andere Organe und Gewebe wird die Organdosis für die restlichen Gewebe separat für den männlichen und weiblichen Referenzmenschen definiert, und diese Werte sind in Gleichung (4.5) enthalten (s. Abb. 2). Die Organdosis für die restlichen Gewebe wird als arithmetischer Mittelwert der Organdosen der in der Fußnote zu Tabelle 3 aufgelisteten Gewebe berechnet. Die Organdosen für die restlichen Gewebe des männlichen Referenzmenschen H_{rmd}^M und des weiblichen Referenzmenschen H_{rmd}^F werden wie folgt berechnet:

$$H_{\text{rmd}}^M = \frac{1}{13} \sum_T H_T^M \quad \text{and} \quad H_{\text{rmd}}^F = \frac{1}{13} \sum_T H_T^F \quad (4.6)$$

wobei T ein Gewebe aus der Fußnote zu Tabelle 3 ist. Die Summierung in Gleichung (4.5) erstreckt sich über die Organdosis für die restlichen Gewebe im männlichen und weiblichen Referenzmenschen (Anhang B).

(134) Die effektive Dosis ist nur für Strahlenschutz Zwecke definiert und basiert auf den mittleren Dosen in Organen oder Geweben des menschlichen Körpers. Diese Größe ist in einer Referenzperson definiert und dafür wird ihr Wert angegeben (s. Abb. 2). Sie liefert somit einen Wert, der die gegebene Expositionssituation, jedoch nicht die individuellen Merkmale einer einzelnen Person berücksichtigt. Vor allem handelt es sich bei den Gewebe-Wichtungsfaktoren um Mittelwerte über zahlreiche Personen beider Geschlechter. Die Organdosen der Organe und Gewebe des männlichen und weiblichen Referenzmenschen werden gemittelt (Gleichung 4.5). Diese Organdosis wird dann mit dem entsprechen-

den Gewebewichtungsfaktor für das Gewebe multipliziert. Die Summe dieser Produkte ergibt dann die (geschlechtergemittelte) effektive Dosis für die Referenzperson (Abb. 2).

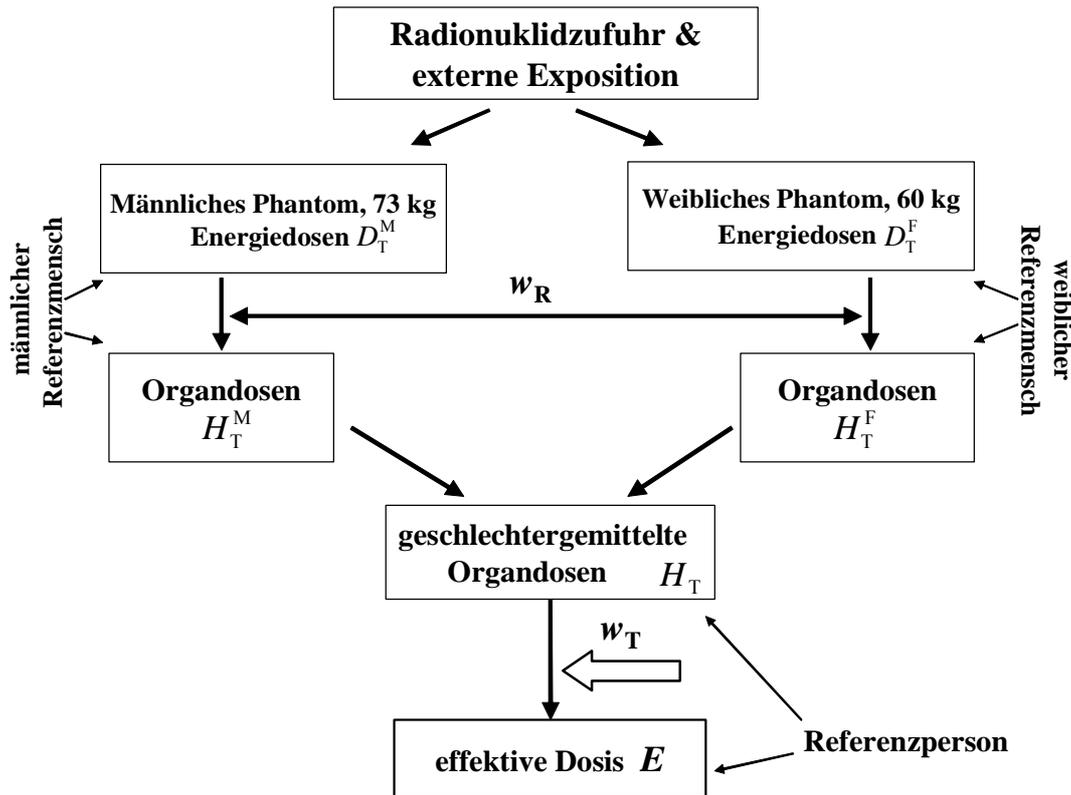


Abb. 2: Mittelung der Geschlechter für die effektive Dosis

4.3.6 Operationelle Größen

(135) Die körperbezogenen Strahlenschutzgrößen „Organdosis“ und „effektive Dosis“ sind in der Praxis nicht messbar. Daher werden operationelle Größen zur Schätzung der effektiven Dosis oder der Organdosen in Geweben und Organen verwendet. Diese Größen zielen darauf ab, unter den meisten Bestrahlungsbedingungen eine konservative Abschätzung der Werte der Strahlenschutzgrößen für eine Exposition oder potenzielle Exposition von Personen zu liefern. Sie werden in der Praxis oft in gesetzlichen Regelungen oder Richtlinien verwendet. Wie unten zusammengefasst, werden unterschiedliche Arten von operationellen Größen für äußere und innere Expositionen verwendet. Weitere Details können Anhang B entnommen werden.

(136) Messgrößen für die Orts- und Personendosis-Überwachung bei äußerer Strahlenexposition wurden von der ICRU definiert (s. Anhang B). Die Messgrößen für die Ortsdosimetrie sind die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07, \Omega)$. Die Messgröße für die Personendosimetrie ist die Personendosis, $H_p(d)$ – die Äquivalentdosis in ICRU Weichteilgewebe in geeigneter Tiefe d unterhalb eines festgelegten Punkts am menschlichen Körper. Der festgelegte Punkt ist üblicherweise der Ort, an dem das Personendosimeter getragen wird. Zur Schätzung der effektiven Dosis wird die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$, d.h. die Dosis in einer Tiefe $d = 10$ mm gewählt. Zur Schätzung der Haut-, Hand- und Fußdosis wird die Personendosis, $H_p(0,07)$, d.h. die Dosis in einer Tiefe $d = 0,07$ mm verwendet. Eine Tiefe von $d = 3$ mm wurde für den seltenen Fall der Überwachung der Augenlinse vorgeschlagen. In der Praxis jedoch ist $H_p(3)$ selten verwendet worden, und $H_p(0,07)$ kann durchaus für dieselben Zwecke benutzt werden. Mess-

größen sind messbar, und die Instrumente zur Strahlenschutzüberwachung werden in Einheiten dieser Größen kalibriert. In der normalen Strahlenschutzüberwachung werden die Werte dieser Messgrößen als eine ausreichend genaue Schätzung der effektiven Dosis bzw. der Hautdosis betrachtet – vor allem dann, wenn ihre Werte unterhalb der Grenzwerte liegen.

(137) Es wurden keine Messgrößen zur direkten Abschätzung der Organ- oder effektiven Dosis für die Dosimetrie bei innerer Exposition definiert. Im Allgemeinen werden unterschiedliche Verfahren zur Messung von inkorporierten Radionukliden angewendet, und biokinetische Modelle werden verwendet, um die Zufuhr von Radionukliden abzuschätzen. Aus der Zufuhr wird die Organ- oder effektive Dosis berechnet unter Anwendung von Referenz-Dosiskoeffizienten (Dosis durch Aktivitätszufuhr in Sv Bq⁻¹), die von der Kommission empfohlen werden (siehe Anhang B).

4.4 Schätzung der Strahlenexposition

4.4.1. Äußere Strahlenexposition

(138) Die Schätzung der durch Strahlenexposition von äußeren Quellen verursachten Dosen erfolgt üblicherweise entweder durch persönliche Überwachung mit Hilfe von Personendosimetern, die am Körper getragen werden, oder – z.B. bei potenziellen Expositionen – durch Messung oder Schätzung von $H^*(10)$ und Anwendung geeigneter Konversionskoeffizienten. Die Messgrößen in der Personendosimetrie sind $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$. Wenn das Personendosimeter an einem Ort am Körper getragen wird, der für die Strahlenexposition repräsentativ ist, dann liefert der Wert von $H_p(10)$ bei niedriger Dosis und unter der Annahme einer homogenen Ganzkörperexposition einen für Strahlenschutz Zwecke ausreichend genauen Wert für die effektive Dosis.

4.4.2. Innere Strahlenexposition

(139) Das System der Schätzung von Dosen, die infolge der Inkorporation von Radionukliden entstehen, basiert auf der Berechnung der Zufuhr eines Radionuklids. Diese kann als operationelle Größe für die Schätzung der durch innere Exposition entstandenen Dosis betrachtet werden. Die Zufuhr kann entweder durch direkte Messungen (z.B. durch die externe Überwachung des ganzen Körpers oder spezifischer Organe und Gewebe), oder durch indirekte Messungen (z.B. durch Urin- oder Stuhlproben), oder durch Messungen an Umweltproben und die Anwendung biokinetischer Modelle abgeschätzt werden. Die effektive Dosis wird dann aus der Zufuhr berechnet unter Verwendung von Dosiskoeffizienten, die von der Kommission für eine große Anzahl an Radionukliden empfohlen werden. Dosiskoeffizienten sind für Personen unterschiedlicher Altersgruppen der allgemeinen Bevölkerung und für beruflich Strahlenexponierte angegeben.

(140) Die Dauer der Bestrahlung von Geweben durch in den menschlichen Körper aufgenommene Radionuklide hängt von ihrer physikalischen Halbwertszeit und der biologischen Verweildauer dieser Radionuklide im Körper ab. Sie können daher für viele Monate – oder sogar Jahre – nach der Aufnahme Dosen in Körpergeweben verursachen. Die Notwendigkeit, die Radionuklidexposition und die Akkumulation der Strahlendosis über längere Zeitspannen zu erfassen, hat zur Festlegung von Folgedosisgrößen geführt. Die durch ein aufgenommenes Radionuklid verursachte Folgedosis ist die gesamte Dosis, die über eine festgelegte Zeitspanne erwartet wird.

Die Organ-Folgedosis $H_T(\tau)$ in einem Gewebe oder Organ T ist definiert durch:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt \quad (4.7)$$

wobei τ die Integrationszeit nach der Aufnahme zum Zeitpunkt t_0 ist. Die Größe „effektive Folgedosis“ $E(\tau)$ ergibt sich dann aus:

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) \quad (4.8)$$

(141) In Verbindung mit Dosisgrenzwerten empfiehlt die Kommission weiterhin, dass die Folgedosis dem Jahr zugeordnet wird, in dem die Inkorporation erfolgt ist. Für Beschäftigte wird die Folgedosis gewöhnlich über eine Zeitspanne von 50 Jahren nach der Aufnahme berechnet. Die Zeitspanne von 50 Jahren ist ein gerundeter Wert, den die Kommission als die erwartete Lebensarbeitszeit einer jungen, am Anfang ihrer Berufstätigkeit stehenden Person betrachtet. Die durch Inkorporation von Radionukliden verursachte effektive Folgedosis wird ebenfalls zur Abschätzung der potenziellen Dosis für die allgemeine Bevölkerung verwendet. In diesen Fällen wird eine Folgezeitspanne von 50 Jahren für Erwachsene empfohlen. Für Kleinkinder und Kinder wird die Dosis bis zum Alter von 70 Jahren aufsummiert.

(142) Die durch die berufsbedingte Inkorporation von Radionukliden verursachte effektive Dosis wird auf der Grundlage der Zufuhr bei der berufstätigen Person und des entsprechenden Referenzdosiskoeffizienten ermittelt. Die Berechnungen von Dosiskoeffizienten für spezielle Radionuklide (Sv Bq^{-1}) erfolgen auf der Grundlage von definierten biokinetischen und dosimetrischen Modellen. Modelle werden verwendet, um die Inkorporation unterschiedlicher chemischer Formen von Radionukliden in den Körper und ihre Verteilung und Retention nach Eintritt in die Blutbahn zu beschreiben. Die rechnergestützten männlichen und weiblichen Phantome werden auch dazu verwendet, um für eine Reihe von Quellen den Bruchteil der Energie zu berechnen, die von einer Quellregion S ausgestrahlt und in der Zielregion T absorbiert wird. Diese Näherungen werden für die wesentlichen Strahlenschutzaufgaben als adäquat angesehen.

(143) Die geschlechtergemittelten Dosiskoeffizienten für die effektive Folgedosis $e(\tau)$ für die Aufnahme spezifischer Radionuklide werden berechnet anhand von²:

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[\frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \quad (4.9)$$

Dabei ist w_T der Gewebe-Wichtungsfaktor für das Gewebe T, und $h_T^M(\tau)$ und $h_T^F(\tau)$ sind die Organ-Folgedosiskoeffizienten für das Gewebe T des Mannes bzw. der Frau für die Folgezeitspanne τ . Die Summierung in Gleichung (4.9) erstreckt sich ebenfalls über die Organ-Folgedosiskoeffizienten für die restlichen Gewebe in Mann und Frau gleichermaßen.

4.4.3 Berufliche Strahlenexposition

(144) Bei der Überwachung beruflicher Expositionen durch äußere Strahlung kommen Personendosimeter zur Messung der Personendosis $H_p(10)$ zum Einsatz. Dieser Messwert

² Die kleingeschriebenen Symbole e und h werden üblicherweise benutzt, um Dosiskoeffizienten der effektiven Dosis E und der Organdosis H zu bezeichnen

gilt als Schätzwert der effektiven Dosis unter der Annahme, dass der ganze Körper homogen bestrahlt wurde. Für die innere Exposition werden im Allgemeinen effektive Folgedosen bestimmt, und zwar auf Grundlage einer Abschätzung der im Biotest ermittelten Radionuklidzufuhr oder anderer Messgrößen (z. B. die im Körper oder in den täglichen Ausscheidungen enthaltene Aktivität). Die Strahlendosis wird aus der Zufuhr bestimmt, wobei die empfohlenen Dosiskoeffizienten verwendet werden (s. Anhang B).

(145) Um für den Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte und Dosisrichtwerte den Wert der gesamten effektiven Dosis E anzugeben, werden die Dosen, die man aus der Ermittlung der beruflichen Expositionen durch äußere Strahlung und der Radionuklidzufuhr erhalten hat, gemäß der folgenden Formel kombiniert:

$$E \cong H_p(10) + E(50) \quad (4.10)$$

Hierbei ist $H_p(10)$ die durch äußere Exposition verursachte Personendosis und $E(50)$ die durch innere Exposition verursachte effektive Folgedosis, die wie folgt ermittelt wird:

$$E(50) = \sum_j e_{j,\text{inh}}(50) \cdot I_{j,\text{inh}} + \sum_j e_{j,\text{ing}}(50) \cdot I_{j,\text{ing}} \quad (4.11)$$

Hierbei ist: $e_{j,\text{inh}}(50)$ der Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis infolge einer Inhalation eines Radionuklids j ; $I_{j,\text{inh}}$ die Aktivitätszufuhr eines Radionuklids j durch Inhalation; $e_{j,\text{ing}}(50)$ der Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis infolge einer Ingestion eines Radionuklids j und $I_{j,\text{ing}}$ die Aktivitätszufuhr eines Radionuklids j durch Ingestion. Bei der Berechnung der effektiven Dosis aus spezifischen Radionukliden muss eventuell die Art des in den Körper aufgenommenen Stoffes berücksichtigt werden.

(146) Die in Gleichung (4.11) verwendeten Dosiskoeffizienten sind diejenigen, die von der Kommission ohne Abweichung von den anatomischen, physiologischen und biokinetischen Merkmalen des männlichen bzw. weiblichen Referenzmenschen (ICRP, 2002) festgelegt wurden. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Zufuhr können berücksichtigt werden. Dazu gehören auch der Aktivitätsmedian des aerodynamischen Durchmessers (AMAD) und die chemische Form des inhalierten Aerosols, an welches das spezifische Radionuklid gebunden ist. Die im Dosisregister für die beschäftigte Person ausgewiesene effektive Dosis ist der Wert, der sich für die Referenzperson ergeben würde, wenn die Strahlungsfelder, denen diese beschäftigte Person ausgesetzt ist, und ihre Aktivitätsaufnahmen zu Grunde gelegt werden. Der Folgezeitraum von 50 Jahren stellt die mögliche Zeitspanne dar, in der eine Dosisakkumulation über die Lebenszeit erfolgen kann (dies ist nur für Radionuklide relevant, die lange physikalische Halbwertszeiten und eine lange Verweildauer in Körpergeweben haben).

(147) Die Aufnahme von Radionukliden in den Körper über Wunden infolge von unkontrollierten Vorkommnissen hat Folgen außerhalb der normalen Arbeitssicherheitsregelungen, und daher sind solche Vorkommnisse in Gleichung (4.11) nicht berücksichtigt. Die Signifikanz solcher Vorkommnisse muss bewertet und aufgezeichnet werden, es ist eine geeignete medizinische Versorgung zu sichern, und weitere Einschränkungen der Exposition des einzelnen Beschäftigten sind – falls begründet – in Erwägung zu ziehen.

(148) In dem seltenen Fall, dass es zu einem wichtigen Beitrag zur äußeren Exposition durch schwach durchdringende Strahlung kommt, muss für den Wert der effektiven Dosis zusätzlich zu den in Gleichung (4.10) angegebenen Termen der Beitrag der Hautdosis zur effektiven Dosis berücksichtigt werden (s. Anhang B). Die durch Radonisotope (hauptsächlich Radon-222) und deren Zerfallsprodukte verursachte Dosis muss gegebenenfalls auch bei der Dosisermittlung berücksichtigt werden (ICRP, 1993a).

(149) In Situationen, bei denen eine Personenüberwachung mit Personendosimetern nicht durchgeführt wird – wie z. B. bei der Exposition von Flugpersonal – kann die effektive Dosis durch Ortsdosisüberwachung in Einheiten der Messgröße Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ ermittelt werden. Die effektive Dosis wird dann unter Anwendung geeigneter Faktoren, die aus Daten über das Strahlungsfeld abgeleitet wurden, oder unmittelbar aus diesen Daten berechnet.

4.4.4 Exposition der Bevölkerung

(150) Die Schätzung der effektiven Dosis für die Bevölkerung und für (strahlenexponierte) Beschäftigte beruht auf denselben Grundsätzen. Die jährliche effektive Dosis für die Bevölkerung ist die Summe der effektiven Dosis, die sich innerhalb eines Jahres durch äußere Exposition ergibt, und der effektiven Folgedosis durch in den Körper aufgenommene Radionuklide. Die Dosis wird nicht als Ergebnis direkter Messungen einzelner Expositionen erhalten, wie es bei beruflicher Strahlenexposition der Fall ist, sondern hauptsächlich durch Messungen an Abwässern und in der Umwelt, in Wohnräumen und durch Anwendung von Modellen gewonnen. Die durch die Emission von radioaktivem Abwasser verursachte Komponente kann durch Abwasserüberwachung an bestehenden Anlagen oder durch eine Vorhersage in der Planungsphase für eine bestimmte Anlage oder Quelle bestimmt werden. Informationen über die Konzentrationen von Radionukliden in Abwasser und Umwelt werden in Kombination mit radioökologischen Modellen (Analyse der Transportpfade in der Umwelt, in Luft, Wasser, Boden, Sedimenten, Pflanzen und von Tieren an Menschen) verwendet, um durch äußere Exposition und Aufnahme von Nukliden verursachte Dosen zu ermitteln (s. Anhang B).

4.4.5 Exposition von Patienten in der Medizin

(151) Die relevante Größe zur Planung der Exposition von Patienten und zur Risiko-Nutzen-Bewertung ist die Organdosis oder die Energiedosis im bestrahlten Gewebe. Die Anwendung der effektiven Dosis zur Ermittlung der Exposition von Patienten ist mit strengen Einschränkungen behaftet, die berücksichtigt werden müssen, wenn es darum geht, die medizinische Exposition zu quantifizieren. Die effektive Dosis kann nützlich sein, um Dosen von unterschiedlichen Diagnoseverfahren und den Einsatz ähnlicher Techniken und Verfahren in verschiedenen Krankenhäusern und Ländern sowie die Anwendung unterschiedlicher Techniken für dieselbe medizinische Untersuchung zu vergleichen. Zur Planung der Exposition von Patienten und zur Risiko-Nutzen-Abschätzung eignen sich jedoch ausschließlich die Organdosis oder die Energiedosis im bestrahlten Gewebe.

(152) Die Abschätzung und Bewertung der durch medizinische Exposition bei Patienten verursachten effektiven Dosis ist äußerst problematisch, wenn Organe und Gewebe nur teilexponiert werden, oder wenn die Exposition sehr heterogen ist – was vor allem in der Röntgendiagnostik der Fall ist.

4.4.6. Anwendung der effektiven Dosis

(153) Die Hauptanwendungen der effektiven Dosis im Bereich des Strahlenschutzes – sowohl für Beschäftigte als auch für die allgemeine Bevölkerung sind:

- die Ermittlung der potenziellen Dosis zur Planung und Optimierung des Schutzes
- die retrospektive Dosisermittlung, um nachzuweisen, dass Dosisgrenzwerte eingehalten worden sind, oder zum Vergleich mit Dosis-Richtwerten oder Referenzwerten.

(154) In diesem Sinne wird die effektive Dosis weltweit zu gesetzlichen Zwecken angewendet. In praktischen Strahlenschutzanwendungen wird die effektive Dosis verwendet, um die Risiken stochastischer Wirkungen für Beschäftigte und die Bevölkerung zu managen. Die Berechnung der effektiven Dosis oder der entsprechenden Konversionskoeffizienten für die äußere Exposition, sowie der Dosiskoeffizienten für die innere Exposition, beruht auf der Energiedosis, den Wichtungsfaktoren (w_R und w_T) und den Referenzwerten für den menschlichen Körper und seine Organe und Gewebe. Die effektive Dosis basiert nicht auf Daten von einzelnen Personen (s. Anhang B). In ihrer allgemeinen Anwendung liefert die effektive Dosis keinen Aufschluss über die spezifische Dosis für einen einzelnen Menschen, sondern nur die Dosis für eine Referenzperson unter einer bestimmten Expositionsbedingung.

(155) In manchen Fällen ist es möglich, für die Berechnung der effektiven Dosis Parameterwerte zu verwenden, die von den Referenzwerten abweichen. Daher ist es wichtig, zwischen den Referenzparameterwerten, die zur Berechnung der effektiven Dosis unter bestimmten Expositionsbedingungen eventuell geändert werden können, und den Werten, die in der Definition der effektiven Dosis nicht geändert werden dürfen (z. B. die Wichtungsfaktoren), zu unterscheiden. Zur Bewertung der effektiven Dosis bei beruflicher Exposition dürfen Änderungen vorgenommen werden, die sich z. B. auf die Eigenschaften eines äußeren Strahlungsfeldes (z. B. Expositionsrichtung) oder auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Radionukliden beziehen, die durch Inhalation oder Ingestion aufgenommen wurden. In solchen Fällen muss die Abweichung von den Referenzparameterdaten eindeutig vermerkt werden.

(156) Bei der retrospektiven Dosisermittlung für bestimmte Personen, bei denen die Grenzwerte möglicherweise deutlich überschritten wurden, kann die effektive Dosis eine erste annähernde Abschätzung des Gesamtschadens liefern. Wenn Dosis und Strahlenrisiko genauer bewertet werden müssen, sind weitere spezielle Abschätzungen der Organ- bzw. Gewebedosen erforderlich – vor allem, wenn organspezifische Risikoabschätzungen für die betreffenden Personen benötigt werden.

(157) Die effektive Dosis ist ausschließlich als Strahlenschutzgröße vorgesehen, die auf Referenzparametern beruht. Ihre Verwendung für epidemiologische Untersuchungen oder für detaillierte spezifische retrospektive Untersuchungen der Exposition einer Person und des individuellen Risikos ist somit nicht empfehlenswert. Für diese Zwecke soll die Energiedosis zusammen mit den jeweils am besten geeigneten biokinetischen Daten für biologische Wirksamkeit und Risikofaktoren verwendet werden. Organ- bzw. Gewebedosen (nicht die effektiven Dosen) werden benötigt, um die Wahrscheinlichkeit einer Krebsinduktion bei exponierten Personen zu ermitteln.

(158) Zur Bewertung von Gewebereaktionen ist die effektive Dosis ebenfalls ungeeignet. In solchen Fällen ist es notwendig, die Energiedosis abzuschätzen und die entsprechenden RBW-Faktoren als Grundlage für die Abschätzung der Wirkung der Strahlung zu berücksichtigen (s. Anhang B).

4.4.7 Kollektive effektive Dosis

(159) Um den Strahlenschutz zu optimieren – vor allem im Bereich der beruflich bedingten Exposition – hat die Kommission Kollektivdosisgrößen eingeführt (ICRP 1977, 1991b). Diese Größen berücksichtigen die Exposition aller zu einer Gruppe gehörenden Personen über eine bestimmte Dauer bzw. während eines bestimmten, von dieser Gruppe durchgeführten Arbeitsvorgangs in klar definierten Strahlenschutzbereichen. In der Praxis wird die kollektive Organdosis nur unter besonderen Umständen verwendet. Daher wird in diesen Empfehlungen nur auf die kollektive effektive Dosis eingegangen. Die kollektive effektive

Dosis S (ICRP, 1991b) wird als die Summe aller individuellen effektiven Dosen über die festgelegte Dauer oder während eines festgelegten Arbeitsvorgangs berechnet. Der für die Einheit der Größe „kollektive effektive Dosis“ verwendete besondere Name ist das „Personen-Sievert“. Bei dem Optimierungsprozess werden unterschiedliche Strahlenschutzmaßnahmen und praktische Szenarien bezüglich der zu erwartenden individuellen und kollektiven Dosen verglichen.

(160) Die kollektive effektive Dosis S beruht auf der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwelle für stochastische Wirkungen (das LNT-Modell). Auf dieser Grundlage ist es möglich, effektive Dosen als additiv anzusehen.

(161) Die kollektive effektive Dosis ist ein Instrument zur Optimierung und zum Vergleich radiologischer Techniken und unterschiedlicher Strahlenschutzmethoden. Die kollektive effektive Dosis ist nicht als Instrument für epidemiologische Studien gedacht und ist ebenfalls nicht geeignet, um Risikoabschätzungen zu erstellen. Dies liegt daran, dass die Annahmen, die bei der Berechnung der kollektiven effektiven Dosis (z.B. bei Anwendung des LNT-Modells) impliziert werden, große biologische und statistische Unsicherheiten beinhalten. Kollektive effektiven Dosen, die auf sehr geringen Expositionen großer Bevölkerungsgruppen beruhen, können vernünftigerweise nicht verwendet werden, um durch Krebs verursachte Todesfälle zu berechnen. Dies soll vermieden werden, denn solche Berechnungen auf der Grundlage der kollektiven effektiven Dosis waren nie beabsichtigt. Sie sind biologisch wie auch statistisch sehr unsicher. Außerdem enthalten sie eine große Anzahl widersprüchlicher Daten, die oft nicht reproduziert werden können, wenn Abschätzungen aus dem Zusammenhang gerissen werden. Deshalb stellen sie eine unzulässige Anwendung dieser Strahlenschutzgröße dar.

(162) Um eine unpassende Zusammenfassung von z.B. sehr niedrigen Individualdosen über längere Zeit und weitläufige geografische Regionen zu vermeiden, ist es erforderlich, Grenzbedingungen zu setzen. Der Dosisbereich und die Zeitspanne sollen angegeben werden. Die auf individuelle effektive Dosiswerte zwischen E_1 und E_2 zurückzuführende kollektive effektive Dosis ist definiert als:

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE \quad (4.12)$$

Hierbei bezeichnet $(dN/dE)dE$ die Anzahl der Personen, die über die Zeitspanne ΔT eine effektiven Dosis zwischen E und $E + dE$ erhalten (s. Anhang B). Wenn der Bereich der Individualdosen sich über mehrere Größenordnungen erstreckt, soll die Verteilung dadurch charakterisiert werden, dass sie in mehrere Bereiche der Individualdosis geteilt wird, wobei jeder Bereich sich über nicht mehr als zwei oder drei Größenordnungen erstrecken soll und die Populationsgröße, die durchschnittliche Individualdosis und die Unsicherheit für jeden Bereich separat berücksichtigt werden sollen. Wenn die kollektive effektive Dosis kleiner ist als der Kehrwert des relevanten Risikodetriments, soll in der Risikobewertung angegeben werden, dass die wahrscheinlichste Anzahl an gesundheitlichen Wirkungen infolge der Exposition gleich null ist (NCRP 1995).

4.5 Unsicherheiten und Bewertungen

(163) Bei der Ermittlung von Strahlendosen sind Modelle unerlässlich, um die Geometrie der äußeren Exposition, die Biokinetik der Zufuhr und die Retention von Radionukliden im menschlichen Körper sowie die menschliche Anatomie zu simulieren. In vielen Fällen sind diese Modelle und ihre Parameterwerte auf der Grundlage von experimentellen Unter-

suchungen und Studien an Menschen entwickelt worden, um „beste Schätzwerte“ von Modellparametern abzuleiten. Gleiches gilt für die Auswahl der Gewebe- und Strahlungswichtungsfaktoren. Es ist allgemein anerkannt, dass die Werte einiger der Parameter und die Formulierung oder die Strukturen der Modelle selber beträchtliche Unsicherheiten enthalten. Die Auswahl der erforderlichen Modelle und der Parameterwerte zur Dosisbewertung erfordert deshalb notwendigerweise eine Wertung (s. Anhang B).

(164) Die Unsicherheit besagt, wie vertrauenswürdig ein bestimmter Parameterwert oder wie gut der Prognosewert eines bestimmten Modells ist. Bei allen Extrapolationsprozessen ist dies ein wichtiger Faktor. In diesem Kontext sind auch die Variabilität einzelner Parameter und die Messgenauigkeit wichtige Punkte. Die Genauigkeit von Messungen und von Abschätzungen nimmt bei abnehmenden Dosen und zunehmend komplexem System ab. Die Variabilität bezieht sich auf quantitative Unterschiede zwischen einzelnen Mitgliedern einer betreffenden Bevölkerungsgruppe. All diese Aspekte werden bei den Entscheidungen bei der Entwicklung von Modellen bewertend berücksichtigt (s. Anhang B).

(165) Die mangelnde Sicherheit oder Genauigkeit von Dosismodellen ist unterschiedlich für die verschiedenen Parameter und Bedingungen in definierten Situationen. Daher ist es nicht möglich, Werte für die Unsicherheiten aller ICRP-Modelle anzugeben, obwohl ihre Bewertung einen wichtigen Teil der Modellentwicklung darstellt. Es kann jedoch sein, dass Unsicherheiten in Sonderfällen bewertet werden müssen; Ansätze bezüglich ihrer Anwendung sind auch in einer Reihe von Veröffentlichungen beschrieben worden – z.B. Goossens et al. (1997), CERRIE (2004), ICRP (1994b, 2005d), Bolch et al. (2003) und Farfan et al. (2005). Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Unsicherheiten in der Ermittlung der durch innere Exposition verursachten Dosen, einschließlich der Biokinetik von Radionukliden, größer sind als bei äußerer Exposition. Der Grad der Unsicherheit variiert mit den verschiedenen Radionukliden.

(166) Der Kommission ist bewusst, dass es den Dosismodellen an Sicherheit und Genauigkeit fehlt, und dass Bemühungen für deren kritische Bewertung und eine Reduktion dieser Unsicherheit, wenn immer möglich, unternommen werden müssen. Für regulatorische Zwecke sind die von der Kommission empfohlenen dosimetrischen Modelle und Parameterwerte Referenzgrößen. Diese werden durch Vereinbarung festgelegt und unterliegen daher keinen Unsicherheiten. Gleichermaßen zieht die Kommission in Betracht, dass biokinetische und dosimetrische Modelle, die zu Zwecken der Dosisbewertung erforderlich sind, als Referenzdaten definiert werden und daher ebenfalls festgelegt und mit keiner Unsicherheit behaftet sind. Diese Modelle und Werte werden regelmäßig neu bewertet und können durch die Kommission auf der Grundlage solcher Bewertungen geändert werden, wenn neue wissenschaftliche Daten und Informationen vorliegen.

(167) Ob die Einhaltung von regelnden Vorschriften gegeben ist, wird unter Anwendung von Schätzwerten der effektiven Dosis beurteilt, die sich auf eine Referenzperson beziehen, wobei diese Schätzwerte keinerlei Unsicherheiten unterliegen. Bei retrospektiven Bewertungen von Dosen, die den Grenzwerten nahekommen oder sie überschreiten könnten, kann es als geeignet betrachtet werden, spezifische individuelle Dosis- und Risikobewertungen vorzunehmen und auch Unsicherheiten dieser Schätzwerte in Betracht zu ziehen.

(168) Obwohl es in dosimetrischen Modellen und in der Berechnung der effektiven Dosis Veränderungen gegeben hat, sind frühere Ermittlungen der Organdosis oder der effektiven Dosis auch weiterhin als adäquat anzusehen. Im Allgemeinen empfiehlt die Kommission keine Neuberechnung der bereits vorliegenden Werte auf der Grundlage der neuen Modelle und Parameter.

4.6 Literatur

- Bolch, W.E., Farfan, E.B., Huston, T.E., et al., 2003. Influences of parameter uncertainties within the ICRP-66 respiratory tract model: particle clearance. *Health Physics* 84 (4), 421–435.
- CERRIE, 2004. Report of the Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters (CERRIE). www.cerrie.org, ISBN 0-85951-545-1.
- Cristy, M., Eckerman, K.F., 1987. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. Report ORNL/TM-8381: vol. 1–7. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Farfan, E.B., Bolch, W.E., Huston, T.E., et al., 2005. Uncertainties in electron-absorbed fractions and lung doses from inhaled beta-emitters. *Health Physics* 88 (1), 37–47.
- Goossens, L.H.J., Harrison, J.D., Kraan, B.C.P., et al., 1997. Probabilistic Accident Consequence Uncertainty Analysis: uncertainty assessment for internal dosimetry, NUREG/CR-6571 vol. 1, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
- deutsch:
ICRP Publication 26: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (angenommen am 17. Januar 1977). In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 26. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978
- ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).
- deutsch:
Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993
- ICRP, 1993a. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).
- deutsch:
Schutz vor Radon-222 zu Hause und am Arbeitsplatz. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 65. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1996
- ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4).
- ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).
- ICRP, 2003c. Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (w_R). ICRP Publication 92. Ann. ICRP 33 (4).
- ICRP, 2005d. Low dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99, Ann. ICRP 35(4).
- Kramer, R., Zankl, M., Williams, G., et al., 1982. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods, Part I: The male (Adam) and female (Eva) adult mathematical phantoms. GSF-Report S-885, GSF-National Research Center for Environment and Health, Neuherberg, Germany.
- NCRP, 1995. Principles and application of collective dose in radiation protection. NCRP Report 121. National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD.
- Snyder, W.S., Ford, M.R., Warner, G.G., et al., 1969. Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) Pamphlet No. 5. *J. Nucl. Med.* 10, Supplement No 3.
- Zankl, M., Becker, J., Fill, U., et al., 2005. GSF male and female adult voxel models representing ICRP reference man – the present status. Proceedings of The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World. Chattanooga, TN, American Nuclear Society, La Grange Park, USA.

5. Das System des Strahlenschutzes für den Menschen

(169) Jeder Mensch ist durch ionisierende Strahlung aus natürlichen und künstlichen Quellen exponiert. Expositionen von Menschen kommen durch Prozesse zustande, die man sich zweckmäßigerweise als ein Zusammenspiel von Ereignissen und Situationen vorstellen kann. Jeder Beitrag zur Exposition hat seinen Ursprung an einer Quelle. Strahlung oder radioaktives Material führen über Umwelt- oder andere Expositionspfade zu Expositionen von Personen. Schließlich erhalten Personen in Folge ihrer Exposition durch Strahlung oder radioaktive Stoffe Dosen. Schutz kann durch Maßnahmen an der Quelle oder an bestimmten Stellen der Expositionspfade erzielt werden, sowie ggf. durch Veränderung des örtlichen Aufenthalts oder des Verhaltens der exponierten Personen. Der Einfachheit halber wird im Allgemeinen angenommen, dass der Expositionspfad über die Umwelt die Verbindung zwischen der Expositionsquelle und den von Personen erhaltenen Dosen herstellt. Die Stellen, an denen Maßnahmen verfügbar sind, haben substantielle Auswirkungen auf das System des Strahlenschutzes.

(170) Die angenommene Proportionalität zwischen einer Erhöhung der Dosis und einer Erhöhung des Risikos stochastischer Wirkungen gestattet es, verschiedene Teile des Zusammenspiels von Ereignissen und Situationen, die Expositionen zur Folge haben, getrennt zu betrachten und diejenigen Beiträge, die in einer gegebenen Situation jeweils von Bedeutung sind, herauszugreifen. Um eine derartige Auswahl treffen zu können, ist es jedoch notwendig, für jeden Beitrag klare Festlegungen zu treffen bezüglich der Ziele, der für den Schutz verantwortlichen Organisationen (und Personen), der Verantwortlichkeiten und der Möglichkeit die nötigen Informationen zu erhalten. Da dies ein komplexes Verfahren bleibt, schlägt die Kommission zwei Vereinfachungen für den Umgang mit Expositionssituationen vor.

(171) Die erste Vereinfachung, die bereits in den Empfehlungen von 1990 zur Anwendung kam, trägt der Tatsache Rechnung, dass einzelne Personen mehreren Expositions-kategorien unterworfen sein können, die getrennt behandelt werden können (ICRP, 1991b). Zum Beispiel sind die meisten Beschäftigten, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit Strahlenquellen ausgesetzt sind, zusätzlich als Teil der Bevölkerung durch Umweltquellen exponiert und als Patienten medizinischen Expositionen unterworfen. Die Position der Kommission besteht nach wie vor darin, dass die Kontrolle beruflich bedingter Expositionen nicht durch Expositionen dieser anderen Quellen beeinflusst werden muss. In den vorliegenden Empfehlungen kommt dieser Grundsatz durch die Trennung der Exposition in drei Kategorien allgemein zum Ausdruck: berufliche Exposition, medizinische Exposition von Patienten und Exposition der Bevölkerung (siehe Abschnitt 5.3). Die Kommission bleibt auch weiterhin bei ihrer Empfehlung, für behördliche Zwecke nicht zu versuchen, die Expositionen einer Person durch die verschiedenen Expositions-kategorien aufzusummieren.

(172) Die zweite Vereinfachung besteht darin, dass bei der Betrachtung des Zusammenwirkens vielfältiger Expositionspfade zwischen quellenbezogenen und personenbezogenen Erwägungen unterschieden wird (siehe Abschnitt 5.5). Obgleich Personen innerhalb jeder Expositions-kategorie verschiedenen Quellen ausgesetzt sein können, ist es für die Zwecke des Strahlenschutzes möglich, jede Quelle bzw. jede Gruppe von Quellen für sich getrennt zu behandeln (ICRP, 1991b). Es ist in diesem Fall notwendig, die Exposition aller Personen zu betrachten, die einer solchen Quelle bzw. einer Gruppe von Quellen ausgesetzt sein könnten. Dieses Verfahren wird als „quellenbezogene Beurteilung“ bezeichnet.

(173) Für die praktische Überwachung von Expositionen wurde in ICRP 60 das System von Situationen, die Expositionen zur Folge haben können, in zwei Gruppen unterteilt:

„Tätigkeiten (practices^A)“ und „Interventionen“. Tätigkeiten wurden definiert als menschliche Aktivitäten, die entweder durch die Einführung völlig neuer Arten von Quellen, Ausbreitungspfaden und Personen oder durch die Veränderung des Zusammenwirkens der Ausbreitungspfade vorhandener Quellen bis zum Menschen zur Erhöhung der Exposition führen, und dadurch die Exposition oder die Zahl der entsprechend exponierten Personen erhöhen. „Interventionen“ wurden definiert als menschliche Aktivitäten, die die existierende Exposition reduzieren, indem sie das Expositionssystem beeinflussen. Dies kann durch die Beseitigung bestehender Quellen, die Modifikation von Ausbreitungspfaden oder die Verringerung der Anzahl exponierter Personen geschehen. In ihrem weiter entwickelten Schutzsystem empfiehlt die Kommission nun statt des bisherigen, prozessbasierten Ansatzes einen Ansatz, der auf den Eigenschaften von drei Strahlenexpositionssituationen beruht. Diese drei Situationen werden als geplante Expositionssituationen, Notfall-Expositionssituationen und bestehende Expositionssituationen bezeichnet (siehe Abschnitt 5.2.).

5.1 Definition einer Quelle

(174) Die Kommission verwendet den Begriff „Quelle“ für ein physikalisches Objekt oder ein Verfahren, das zu einer potenziell quantifizierbaren Strahlendosis einer Person oder einer Personengruppe führt. Dabei kann es sich um eine physikalische Quelle handeln (z. B. um einen radioaktiven Stoff oder ein Röntgengerät), eine Anlage (z. B. eine Klinik oder ein Kernkraftwerk) oder um Verfahren oder Gruppen von physikalischen Quellen mit ähnlichen Eigenschaften (z. B. nuklearmedizinische Verfahren oder natürliche bzw. Umweltstrahlung). Wenn radioaktive Stoffe von einer Anlage in die Umwelt freigesetzt werden, kann diese als Ganzes als Quelle betrachtet werden. Falls es jedoch bereits zu einer Verbreitung radioaktiver Stoffe in der Umwelt gekommen ist, kann derjenige Anteil der radioaktiven Stoffe, durch den Personen exponiert werden, als Quelle betrachtet werden. In den meisten Situationen gibt es eine dominierende Quelle der Exposition für jede Person, sodass es möglich ist, Quellen einzeln zu betrachten, wenn Maßnahmen erwogen werden.

(175) Im Allgemeinen wird die Definition einer Quelle mit der Auswahl der jeweils für die Optimierung geeigneten Schutzstrategie verbunden. Schwierigkeiten ergeben sich dann, wenn die Verfahrensweise entstellt wird, z. B. dadurch, dass man eine Quelle künstlich unterteilt, um das Erfordernis einer Schutzmaßnahme zu umgehen oder Quellen im Übermaß aufsummiert, um das Erfordernis einer Schutzmaßnahme aufzubauschen. Unter der Voraussetzung, dass die Behörden und der Anwender (sofern ein solcher bestimmt werden kann) den Geist der Empfehlungen der Kommission berücksichtigen, können praktikable Vereinbarungen über die Definition einer Quelle getroffen werden.

5.2 Arten von Expositionssituationen

(176) Die Empfehlungen der Kommission sollen für alle Quellen und für Personen angewandt werden, die in den folgenden drei Arten von Expositionssituationen strahlenexponiert werden, welche alle denkbaren Umstände berücksichtigen.

- Geplante Expositionssituationen sind Situationen, die mit der beabsichtigten Einführung und Anwendung von Quellen einhergehen. Geplante Expositionssituationen können sowohl Expositionen sein, deren Auftreten konkret erwartet wird (normale

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet (s. Glossar → Tätigkeiten → Arbeiten → Umgang) A. d. Ü.

Expositionen) als auch Expositionen, deren Auftreten nicht zwingend erfolgen muss (potenzielle Expositionen, siehe Absatz 6.1.3).

- Notfall-Expositionssituationen sind Situationen, die während des Ablaufs einer geplanten Situation oder als Folge einer böswilligen Handlung bzw. jeder anderen unerwarteten Situation auftreten können und die zur Vermeidung unerwünschter Konsequenzen Sofortmaßnahmen erfordern.
- Bestehende Expositionssituationen sind Situationen, die bereits bestehen, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss, einschließlich von dauerhafter Expositionssituationen nach Notfallsituationen.

Folglich könnte das, was die Kommission als Tätigkeiten bezeichnete, der Ursprung von geplanten Expositionssituationen, Notfall- Expositionssituationen und bestehenden Expositionssituationen sein. Medizinische Expositionen von Patienten sind ebenfalls geplante Expositionssituationen. Wegen der Eigenschaften solcher Expositionen werden diese separat erörtert. Die Grundsätze des Schutzes in geplanten Expositionssituationen gelten auch für berufliche Expositionen im Zusammenhang mit bestehenden und Notfall-Expositionssituationen.

5.3 Expositionskategorien

(177) Die Kommission unterscheidet drei Expositionskategorien: berufliche Expositionen, Expositionen der Bevölkerung und medizinische Expositionen von Patienten. Expositionen von Begleit- und Betreuungspersonen sowie Expositionen von Probanden in der Forschung werden im Kapitel 7 erörtert.

5.3.1 Berufliche Expositionen

(178) Als berufliche Exposition definiert die Kommission alle Strahlenexpositionen, die Beschäftigte als Folge ihrer beruflichen Tätigkeit erhalten. Die Kommission hat die herkömmliche Definition der beruflichen Exposition durch jedes gefährliche Agens zur Kenntnis genommen, die alle bei der Arbeit auftretenden Expositionen, ungeachtet ihrer Herkunft, einbezieht. Allerdings würde wegen der Allgegenwart von Strahlung die direkte Anwendung dieser Definition auf die Strahlung bedeuten, dass alle Beschäftigten einem System des Strahlenschutzes zu unterziehen wären. Die Kommission begrenzt daher die Verwendung der Bezeichnung „berufliche Exposition“ auf Strahlenexpositionen, die bei der Arbeit als Ergebnis von Situationen auftreten, die vernünftigerweise der Verantwortlichkeit der Betriebsleitung zugeordnet werden können (siehe auch Abschnitt 6.3.1). Expositionen, die von der behördlichen Kontrolle ausgeschlossen sind sowie Expositionen durch Tätigkeiten oder Quellen, die von der behördlichen Kontrolle ausgenommen sind, müssen beim beruflichen Strahlenschutz nicht berücksichtigt werden.

(179) Die Hauptverantwortung für den Schutz der Beschäftigten trägt der Arbeitgeber. Jedoch hat auch der für die Quelle verantwortliche Genehmigungsinhaber (falls dieser nicht identisch ist mit dem Arbeitgeber) eine Verantwortung für den Strahlenschutz der Beschäftigten. Wenn Beschäftigte mit Tätigkeiten betraut sind, die mit einer von ihrem Arbeitgeber nicht überwachten Quelle verbunden sind oder sein können, sollen Genehmigungsinhaber und Arbeitgeber durch Informationsaustausch und, soweit notwendig, auch anderweitig miteinander kooperieren, um einen ordnungsgemäßen Strahlenschutz am Arbeitsplatz zu ermöglichen.

5.3.2 Exposition der Bevölkerung

(180) Die Exposition der Bevölkerung umfasst alle Expositionen der Bevölkerung mit Ausnahme der beruflichen und medizinischen Expositionen. Sie kommt durch eine Reihe von Strahlenquellen zustande. Natürliche Quellen haben bei Weitem den größten Anteil an der Exposition der Bevölkerung; dies ist jedoch keine Rechtfertigung dafür, geringeren, aber leichter kontrollierbaren Expositionen durch künstliche Quellen weniger Aufmerksamkeit zu schenken. Embryonale und fetale Expositionen infolge von Expositionen schwangerer Beschäftigter werden als Expositionen der Bevölkerung betrachtet und rechtlich geregelt.

5.3.3 Medizinische Exposition

(181) Zur Strahlenexposition von Patienten kommt es im Rahmen diagnostischer, interventioneller und therapeutischer Verfahren. Aufgrund besonderer Merkmale bedürfen radiologische Anwendungen in der Medizin einer Vorgehensweise, die sich vom Strahlenschutz in anderen geplanten Expositionssituationen unterscheidet. Die Exposition ist beabsichtigt und kommt dem Patienten direkt zugute. Insbesondere in der Strahlentherapie werden die biologischen Wirkungen einer hoch dosierten Bestrahlung, z.B. Zelltötung, im Sinne des Patienten genutzt, um Krebs und andere Erkrankungen zu behandeln. Die Anwendung dieser Empfehlungen auf medizinische Strahlenanwendungen erfordert daher gesonderte Leitlinien (siehe Kapitel 7, in dem auch auf medizinischen Expositionen von Begleit- und Betreuungspersonen sowie von Probanden in der Forschung eingegangen wird).

5.4 Identifikation exponierter Personen

(182) Es ist notwendig, bei exponierten Personen mindestens drei separat zu behandelnde Kategorien entsprechend den drei im Abschnitt 5.3 definierten Expositionskategorien zu unterscheiden: beruflich Strahlenexponierte (Beschäftigte), die Bevölkerung und Patienten. Eine Person kann als Beschäftigte(r) und/oder als Teil der Bevölkerung und/oder als Patient exponiert werden.

5.4.1 Beruflich Strahlenexponierte (Beschäftigte)

(183) Die Kommission definiert als Beschäftigte(n) jede Person, die durch einen Arbeitgeber vollzeit-, teilzeit- oder vorübergehend beschäftigt ist und anerkannte Rechte und Pflichten in Bezug auf beruflichen Strahlenschutz hat. Ein(e) Selbstständige(r) gilt als Person, die sowohl die Pflichten eines Arbeitgebers als auch die eines/r Beschäftigten hat. Beschäftigte in medizinischen Berufen, die mit Strahlung verbunden sind, gelten als beruflich strahlenexponiert.

(184) Eine wichtige Funktion des Arbeitgebers und/oder Genehmigungsinhabers besteht darin, die Expositionsquellen und den Schutz der strahlenexponierten Beschäftigten unter Kontrolle zu halten. Um dies zu verwirklichen, empfiehlt die Kommission auch weiterhin die Klassifizierung von Arbeitsbereichen und nicht die von Beschäftigten. Die Anforderung, die Bereiche von Arbeitsplätzen, die Quellen enthalten, formal zu kennzeichnen, ist ein Hilfsmittel für deren Kontrolle. Die Kommission verwendet dafür zwei Bezeichnungen: Kontrollbereich und Überwachungsbereich. Ein Kontrollbereich ist ein definierter Bereich, in dem spezifische Schutzmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind oder sein können, um Expositionen zu kontrollieren oder die Verbreitung von Kontamination während normaler Arbeitsbedingungen zu verhindern und potenzielle Expositionen

abzuwenden bzw. ihr Ausmaß zu begrenzen. Ein Überwachungsbereich ist ein Bereich, in dem die Arbeitsbedingungen der Überprüfung unterliegen, in dem aber normalerweise keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind. Ein Kontrollbereich befindet sich häufig, aber nicht notwendigerweise innerhalb eines Überwachungsbereichs.

(185) Beschäftigte in Kontrollbereichen von Arbeitsplätzen sollen gut informiert und speziell geschult sein und eine wohldefinierte Gruppe bilden. Meist werden solche Beschäftigten der Überwachung der Strahlenexpositionen am Arbeitsplatz unterzogen, gelegentlich können sie der besonderen medizinischen Überwachung unterliegen.

Exposition von schwangeren oder stillenden Beschäftigten

(186) In ihren Empfehlungen von 1990 kam die Kommission zu dem Schluss, dass für die Zwecke der Kontrolle der beruflichen Strahlenexpositionen kein Grund für eine Unterscheidung der Geschlechter besteht. Die Kommission behält diesen Grundsatz in den vorliegenden Empfehlungen bei. Sobald jedoch eine Beschäftigte erklärt (d.h. dem Arbeitgeber angezeigt) hat, dass sie schwanger ist, müssen zum Schutz des Embryos/Fötus zusätzliche Kontrollen in Betracht gezogen werden. Es ist der Grundsatz der Kommission, dass die Methoden des Arbeitsschutzes von schwangeren Beschäftigten für den Embryo/Fötus den gleichen Schutzgrad gewährleisten sollen wie für die Bevölkerung. Die Kommission ist der Ansicht, dass dieser Grundsatz innerhalb des von ihr empfohlenen Systems auch dann in angemessener Weise zur Anwendung kommt, wenn die werdende Mutter exponiert wird, bevor sie ihre Schwangerschaft angezeigt hat. Sobald einem Arbeitgeber eine Schwangerschaft angezeigt wurde, soll zusätzlicher Schutz des Embryo/Fötus in Betracht gezogen werden. Die Arbeitsbedingungen einer schwangeren Beschäftigten sollen nach der Anzeige der Schwangerschaft derart gestaltet sein, dass sichergestellt ist, dass die zusätzliche Dosis des Embryo/Fötus während der weiteren Schwangerschaft nicht größer ist als 1 mSv. Weitere Hinweise zum Schutz eines strahlenexponierten Embryo/Fötus sind im Abschnitt 7.4. zu finden.

(187) Die Beschränkung der Dosis für den Embryo/Fötus bedeutet nicht notwendigerweise, dass eine Schwangere die Arbeit mit Strahlung oder radioaktiven Stoffen vollständig meidet oder dass sie davon abgehalten werden muss, gekennzeichnete Bereiche zu betreten oder darin zu arbeiten (siehe Absatz 184). Sie impliziert jedoch, dass der Arbeitgeber die Expositionsbedingungen von schwangeren Beschäftigten sorgfältig prüfen sollte. Insbesondere sollen ihre Arbeitsbedingungen, soweit erforderlich, so verändert werden, dass während der Schwangerschaft die Wahrscheinlichkeit einer unbeabsichtigten externen Dosis oder einer Radionuklidzufuhr außerordentlich niedrig ist. Spezifische Empfehlungen zur Kontrolle von Expositionen schwangerer Beschäftigter sind in ICRP 84 and 88 gegeben (ICRP, 2000a, 2001a). Die Kommission hat ferner in ICRP 95 (ICRP, 2004c) Informationen publiziert, die es möglich machen, Dosen für gestillte Kinder nach Radionuklidzufuhren an die Mütter zu errechnen. Zum Schutz des Embryo/Fötus oder Säuglings empfiehlt die Kommission dringend, dass Frauen, die angezeigt haben, dass sie schwanger sind oder stillen, nicht zu Notfallmaßnahmen herangezogen werden sollen, die mit hohen Strahlendosen verbunden sind (ICRP, 2005a).

(188) In ICRP 88 (ICRP, 2001a) hat die Kommission Dosiskoeffizienten für den Embryo, Fötus und das Neugeborene durch Radionuklidzufuhr über die Mutter vor oder während der Schwangerschaft angegeben. Im Allgemeinen sind Dosen für den Embryo, Fötus oder das Neugeborene gleich oder kleiner als diejenigen für den weiblichen Referenzmenschen. In ICRP 95 (ICRP, 2004c) hat die Kommission Daten über Strahlendosen für gestillte Kleinkinder durch Zufuhren von Radionukliden in der Muttermilch publiziert. Für die meisten der betrachteten Radionuklide wird geschätzt, dass die Dosen für den Säugling durch mit der

Muttermilch aufgenommene Radionuklide im Vergleich zu den Dosen des weiblichen Referenzmenschen gering sind.

Exposition in der Luft- und Raumfahrt

(189) In ICRP 60 (ICRP, 1991b), hat die Kommission empfohlen, Expositionen durch kosmische Strahlung als Bestandteil beruflicher Expositionen beim Betrieb kommerzieller Düsenmaschinen und in der Raumfahrt zu betrachten. Im Nachgang zu dieser Empfehlung hat die Kommission in ICRP 75 (ICRP, 1997a) klargestellt, dass es für die Zwecke der Kontrolle nicht notwendig ist, Expositionen von Fluggästen, die Vielflieger sind, als berufliche Strahlenexpositionen zu behandeln. Folglich sollte notwendigerweise nur das Flugpersonal betrachtet werden. Die Kommission hatte zu dieser Zeit bereits festgestellt, dass die einzigen praktischen Regulierungsmaßnahmen im Überwachen der individuellen Exposition durch Kontrolle der Flugzeit und der Flugrouten bestehen. Die Kommission bleibt bei dieser Ansicht.

(190) Außergewöhnliche Fälle von Expositionen durch kosmische Strahlung, wie Exposition bei der Raumfahrt, die beträchtliche Dosen mit sich bringen kann, sodass eine gewisse Art der Kontrolle berechtigt sein kann, sollen separat behandelt werden. Dabei ist die besondere Art von Situationen, die zu dieser Expositionsart führen können, zu beachten.

5.4.2 Bevölkerung

(191) Ein(e) Angehörige(r) der Bevölkerung wird von der Kommission definiert als eine Person, die eine Exposition erhält, welche weder beruflich noch medizinisch bedingt ist (siehe auch Abschnitt 5.4.3). Es gibt eine Vielzahl verschiedener natürlicher und zivilisatorischer Quellen, die zu Expositionen der Bevölkerung beitragen.

(192) Im Allgemeinen ergibt sich für jede Quelle, insbesondere bei Expositionen der Bevölkerung, eine Dosisverteilung über viele Personen. Für die Zwecke des Schutzes der Bevölkerung hat die Kommission das Konzept der „kritischen Gruppe“ verwendet, um eine Person zu beschreiben, die eine Dosis erhält, welche für die höher exponierten Personen der Bevölkerung repräsentativ ist (ICRP, 1977). Dosisbeschränkungen wurden auf die mittlere Dosis in der geeigneten kritischen Gruppe angewendet. Im Lauf der vergangenen Jahrzehnte wurden in großem Ausmaß Erfahrungen mit der Anwendung des Konzepts der kritischen Gruppe gesammelt. Ferner sind die Verfahren, die zur Feststellung der Dosen für Personen der Bevölkerung verwendet werden, weiterentwickelt worden. Dies gilt insbesondere für die zunehmende Anwendung probabilistischer Verfahren. Das Adjektiv „kritisch“ hat die Konnotation von Krise. Dies war von der Kommission nie beabsichtigt. Ferner kann das Wort „Gruppe“ in diesem Zusammenhang verwirrend sein, da die festgestellte Größe die Dosis einer Person ist.

(193) Die Kommission empfiehlt nunmehr für den Zweck des Strahlenschutzes der Bevölkerung die Verwendung des Begriffs „repräsentative Person“ anstelle des früher verwendeten Konzepts der kritischen Gruppe. In ICRP 101 (ICRP, 2006a) gibt die Kommission Anleitung für die Charakterisierung der repräsentativen Person und die Ermittlung von Dosen für die repräsentative Person.

(194) Die repräsentative Person kann ein hypothetischer Angehöriger der Bevölkerung sein, aber es ist wichtig, dass die Gewohnheiten (z.B. Nahrungsmittelverzehr, Atemfrequenz, Wohnort, Verwendung lokaler Ressourcen), die zur Beschreibung der repräsentativen Person verwendet werden, typische Gewohnheiten einer kleinen Zahl von Personen beschreiben, die repräsentativ für diese am höchsten exponierten Personen sind und nicht die extremen Gewohnheiten einer einzelnen Person der Bevölkerung darstellen. Einige extreme oder unübliche Gewohnheiten können berücksichtigt werden, aber diese sollten

die Beschreibung der betrachteten repräsentativen Personen nicht ausschließlich bestimmen.

5.4.3 Patienten

(195) Die Kommission definiert den Patienten als eine Person, die eine Exposition im Zusammenhang mit einem diagnostischen, interventionellen oder therapeutischen Verfahren erhält. Die von der Kommission empfohlenen Dosisgrenzwerte und Dosisrichtwerte gelten nicht für einzelne Patienten, weil deren Anwendung die Effizienz der Diagnostik bzw. Therapie des Patienten schmälern könnte, was diesem mehr schaden als nutzen würde. Daher liegt der Schwerpunkt hier auf der Rechtfertigung der medizinischen Verfahren und auf der Optimierung des Strahlenschutzes sowie, bei diagnostischen Verfahren, auf der Verwendung diagnostischer Referenzwerte (siehe Kapitel 7).

(196) Die Exposition von Schwangeren in der Medizin ist Gegenstand von Abschnitt 7.4.

5.5 Ebenen des Strahlenschutzes

(197) In den Empfehlungen von 1990 wurde festgestellt, dass die Wirkungen eines Beitrags zu einer individuellen Körperdosis aus einer Quelle unabhängig von den Wirkungen sind, die durch Dosen aus anderen Quellen hervorgerufen werden – vorausgesetzt, die individuelle Körperdosis liegt weit unter der Schwelle für schädliche deterministische Wirkungen. Für viele Zwecke könnte man jede Quelle bzw. jede Gruppe von Quellen für sich behandeln. Dabei ist es notwendig, die Exposition von Personen, die durch diese Quelle oder Gruppe von Quellen exponiert werden, zu berücksichtigen. Dieses Verfahren wird als „quellenbezogene“ Methode bezeichnet. Die Kommission betont jetzt die vorrangige Bedeutung des quellenbezogenen Vorgehens, weil auf diese Weise quellenbezogene Maßnahmen getroffen werden können, um für eine Gruppe von Personen den Schutz vor dieser Quelle sicherzustellen.

(198) Für geplante Expositionssituationen stellt der Dosisrichtwert^B die quellenbezogene Begrenzung der Dosis dar, die Personen erhalten können. Für potenzielle Expositionen ist das entsprechende Konzept der Risikorichtwert. Die entsprechende quellenbezogene Beschränkung für Notfallexpositionssituationen und bestehende Expositionssituationen ist der Referenzwert (siehe Abschnitte 5.9, 6.2 und 6.3). Die Konzepte des Dosisrichtwertes und des Referenzwertes kommen im Prozess der Optimierung des Schutzes zur Anwendung. Ihre Anwendung soll sicherstellen, dass alle Expositionen so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist. Richtwerten und Referenzwerten kommt somit eine Schlüsselfunktion im Prozess der Optimierung zu, durch welche das unter den gegebenen Umständen jeweils angemessene Schutzniveau sichergestellt wird.

(199) Man könnte einwenden, dass die quellenbezogene Beschränkung dann keinen ausreichenden Schutz bietet, wenn mehrere Quellen vorliegen. Die Kommission nimmt jedoch an, dass gewöhnlich eine Quelle vorherrscht und die Wahl des geeigneten Referenz- oder Richtwertes ein angemessenes Schutzniveau gewährleistet. Die Kommission ist nach wie vor der Auffassung, dass der quellenbezogene Optimierungsgrundsatz unterhalb des Richtwertes oder Referenzwertes in jeder Situation das effektivste Mittel für den Schutz darstellt.

^B „Constraint“ wurde in der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Schranke“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen das Äquivalent „Richtwert“ verwendet. Der Ausdruck „Richtwert“ als Übersetzung von „constraint“ ist nicht zu verwechseln mit dem im Deutschen Recht benutzten Begriff „Richtwert“. A. d. Ü.

(200) Im konkreten Fall geplanter Expositionssituationen ist es erforderlich, separate Beschränkungen für die Summen der beruflichen Dosiswerte und die Summen der Dosen der Bevölkerung festzulegen. Die Kommission bezeichnet solche personenbezogenen Beschränkungen als Dosisgrenzwerte (siehe Abschnitt 5.10); die entsprechende Dosisabschätzung wird „personenbezogene“ Dosisabschätzung genannt.

(201) Es ist jedoch selten möglich, die gesamte Exposition einer Person aus allen diesen Quellen abzuschätzen. Daher ist es notwendig, Näherungswerte der Dosis zu ermitteln für den Vergleich mit dem quantitativen Grenzwert, insbesondere im Fall von Expositionen der Bevölkerung. Für berufliche Expositionen ist es wahrscheinlicher, dass exakte Näherungen möglich werden, da die Betriebsleitung Zugang zu den Daten hat, die für die Feststellung und Überwachung der Dosis durch alle relevanten Quellen benötigt werden.

(202) Abbildung 3 zeigt die konzeptionellen Unterschiede zwischen individuellen Dosisgrenzwerten, die in geplanten Situationen verwendet werden, und Richtwerten oder Referenzwerten für den Schutz vor einer Quelle in allen Situationen.

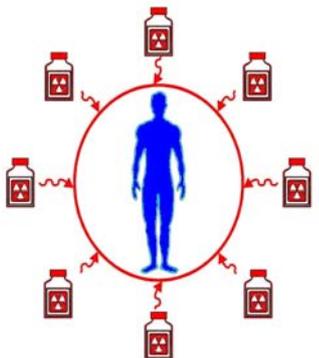
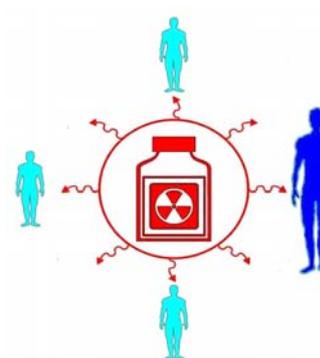
Dosisgrenzwerte	Richtwerte und Referenzwerte
schützen individuelle Beschäftigte vor beruflichen Expositionen und die „repräsentative Person“ vor Expositionen der Bevölkerung	
	
durch alle regulierten Quellen in geplanten Expositionssituationen	durch eine Quelle in allen Expositionssituationen

Abb. 3: Gegenüberstellung von Dosisgrenzwerten, Dosisrichtwerten und Referenzwerten für den Schutz von Beschäftigten und Personen in der Bevölkerung

5.6 Grundsätze des Strahlenschutzes

(203) In den Empfehlungen von 1990 hat die Kommission Grundsätze für den Schutz bei „Tätigkeiten“^A gesondert von denen bei „Interventionssituationen“ aufgestellt. Die Kommission erachtet diese Grundsätze nach wie vor als wesentlich für das System des Schutzes und hat nun eine Gesamtheit von Grundsätzen formuliert, die für geplante Situationen ebenso wie für Notfallsituationen und für bestehende Expositionssituationen gilt. In den vorliegenden Empfehlungen stellt die Kommission klar, wie diese Grundsätze auf Strahlen-

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet (s. Glossar → Tätigkeiten → Arbeiten → Umgang) A. d. Ü.

quellen und auf Personen anzuwenden sind und wie die quellenbezogenen Grundsätze auf alle kontrollierbaren Situationen anwendbar sind.

Zwei Grundsätze sind quellenbezogen und kommen in allen kontrollierbaren Expositionssituationen zur Anwendung

- **Der Grundsatz der Rechtfertigung:** Jede Entscheidung, die zu einer Veränderung der Strahlenexpositionssituation führt, soll mehr nutzen als schaden. Das heißt, dass durch die Einführung einer neuen Strahlenquelle, durch Verringerung einer bestehenden Exposition oder durch Herabsetzung des Risikos einer potenziellen Exposition ein hinreichender individueller oder gesellschaftlicher Nutzen erzielt werden sollte, der den dadurch verursachten Schaden aufwiegt.
- **Der Grundsatz der Optimierung des Schutzes:** die Wahrscheinlichkeit, Expositionen zu erhalten, die Anzahl exponierter Personen und der Wert /Betrag ihrer individuellen Dosen sollen jeweils so niedrig gehalten werden wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist. Das bedeutet, dass unter den gegebenen Umständen das beste Schutzniveau erzielt werden sollte, indem die Spanne zwischen Nutzen und Schaden maximiert wird. Zur Vermeidung unangemessener Ergebnisse dieses Optimierungsverfahrens sollen Beschränkungen für die Dosen oder Risiken von Personen durch eine bestimmte Quelle (Dosis- oder Risikorichtwerte sowie Referenzwerte) bestehen.

Ein Grundsatz ist personenbezogen und gilt für geplante Expositionssituationen

- **Der Grundsatz der Anwendung von Dosisgrenzwerten:** Die Gesamtdosis einer jeden Person aus regulierten Quellen in geplanten Expositionssituationen soll die entsprechenden von der Kommission empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten. Eine Ausnahme bilden medizinische Expositionen.

(204) Gesetzliche Dosisgrenzwerte werden unter Berücksichtigung internationaler Empfehlungen von der zuständigen Behörde festgelegt und gelten für Beschäftigte und die Bevölkerung bei geplanten Expositionssituationen.

5.7 Rechtfertigung

(205) Die Kommission empfiehlt, dass man, wenn Tätigkeiten in Betracht gezogen werden, die mit einer erhöhten oder verringerten Strahlenexposition oder mit dem Risiko einer potenziellen Exposition verbunden sind, die erwartete Veränderung des Schadensmaßes explizit in den Prozess der Entscheidungsfindung einbeziehen sollte. Es gilt dann, nicht allein die mit der Strahlung einhergehenden Konsequenzen abzuwägen, sondern die anderen Risiken sowie Kosten und Nutzen der Tätigkeit in die Abwägungen einzubeziehen. Manchmal wird das strahlenbedingte Schadensmaß einen kleinen Teil der Gesamtheit des Schadens ausmachen. Die Rechtfertigung geht damit weit über den Bereich des Strahlenschutzes hinaus. Aus diesen Gründen empfiehlt die Kommission lediglich, dass die Rechtfertigung einen positiven Nettonutzen erfordert. Die Suche nach der besten von allen verfügbaren Alternativen ist eine Aufgabe, die die Verantwortlichkeit von Strahlenschutzbehörden übersteigt.

5.7.1 Anwendung des Rechtfertigungs-Grundsatzes

(206) In Situationen, die mit Expositionen von Beschäftigten und Personen der Bevölkerung verbunden sind, stehen zwei unterschiedliche Vorgehensweisen für die Anwendung des Grundsatzes der Rechtfertigung zur Verfügung. Die Wahl der richtigen Vorgehens-

weise erfolgt in Abhängigkeit davon, ob die Quelle direkt kontrolliert werden kann oder nicht. Die erste findet bei der Einführung neuer Tätigkeiten bzw. Arbeiten Verwendung, bei denen Strahlenschutz im Vorfeld geplant wird und die notwendigen Maßnahmen an der Quelle getroffen werden können. Auf diese Situationen angewendet erfordert der Grundsatz der Rechtfertigung, dass eine geplante Anwendung nur dann eingeführt werden sollte, wenn ihr Nettonutzen für die exponierten Personen oder die Gesellschaft das verursachte Schadensmaß aufwiegt. Es ist wichtig zu beurteilen, ob die Einführung oder Fortführung bestimmter Arten von geplanten, mit einer Exposition durch ionisierende Strahlung verbundenen Situationen zu rechtfertigen wäre. Die Rechtfertigung kann einer erneuten Prüfung bedürfen, wenn neue Daten oder Technologien verfügbar werden.

(207) Die zweite Vorgehensweise kommt dann zur Anwendung, wenn Expositionen hauptsächlich durch Maßnahmen zur Modifizierung der Expositionspfade und nicht durch direktes Einwirken auf die Quelle kontrolliert werden können. Die wichtigsten Beispiele sind bestehende Expositionssituationen und Notfall-Expositionssituationen. In diesen Fällen wird der Grundsatz der Rechtfertigung angewendet, indem man entscheidet, ob Maßnahmen zur Abwendung weiterer Expositionen getroffen werden. Jede Entscheidung, die getroffen wird, um Expositionen zu verringern, was immer mit gewissen Nachteilen verbunden ist, soll dadurch gerechtfertigt sein, dass sie mehr nutzt als schadet.

(208) Bei beiden Vorgehensweisen fällt die Verantwortung für die Beurteilung der Rechtfertigung gewöhnlich der Regierung bzw. staatlichen Stellen zu, damit ein Gesamtnutzen im weitesten Sinne für die Gesellschaft und folglich nicht notwendigerweise für jede Person sichergestellt ist. In die Entscheidung über die Rechtfertigung können jedoch viele Gesichtspunkte einfließen, die durch Anwender oder andere Organisationen oder Personen außerhalb der Regierung mitgeteilt werden könnten. Entscheidungen über die Rechtfertigung beruhen oft auf Informationen, die – unter anderem in Abhängigkeit von der Größe der betrachteten Quelle – durch den Prozess einer öffentlichen Erhebung gewonnen wurden. Da die Rechtfertigung viele Gesichtspunkte hat, können verschiedenen Organisationen beteiligt und verantwortlich sein. In diesem Zusammenhang liefern Strahlenschutz-Erwägungen einen Beitrag für den breiter angelegten Entscheidungsprozess.

(209) Die medizinische Exposition von Patienten erfordert ein anderes und detaillierteres Vorgehen im Prozess der Rechtfertigung. Die medizinische Strahlenanwendung sollte, wie jede andere geplante Expositionssituation, gerechtfertigt sein, wobei diese Rechtfertigung häufiger den Experten als der Regierung oder den zuständigen staatlichen Stellen obliegt. Das Hauptziel medizinischer Expositionen besteht darin, dem Patienten mehr zu nutzen als zu schaden, wobei dem Schaden durch Expositionen des radiologischen Personals und anderer Personen gebührend Rechnung zu tragen ist. Für die Rechtfertigung der Anwendung eines bestimmten Verfahrens ist der maßgebliche Arzt verantwortlich, der einer speziellen Ausbildung im Strahlenschutz bedarf. Die Rechtfertigung medizinischer Verfahren bleibt daher Bestandteil der Empfehlungen der Kommission (siehe Abschnitt 7.1).

5.7.2 Ungerechtfertigte Expositionen

(210) Die Kommission ist der Auffassung, dass bestimmte Expositionen als ungerechtfertigt gelten sollen, ohne dass es einer weiteren Analyse bedarf, es sei denn, dass außergewöhnliche Umstände vorliegen.

Dazu gehören

- Die Erhöhung der spezifischen Aktivität von Produkten wie Lebensmittel, Getränke, Kosmetika, Spielwaren und persönlichem Schmuck oder Verzierungen durch vorsätzliches Beimengen von radioaktiven Stoffen oder durch Aktivierung.

- Radiologische Untersuchungen für Zwecke der Einstellung von Beschäftigten, der Krankenversicherung oder für rechtliche Zwecke, die ohne Verweis auf klinische Indikationen durchgeführt werden, es sei denn, dass von der Untersuchung brauchbare Informationen über die Gesundheit der untersuchten Person oder zugunsten wichtiger kriminologischer Ermittlungen zu erwarten sind. Das bedeutet fast immer, dass eine klinische Auswertung der gewonnenen Aufnahmen durchgeführt werden muss; anderenfalls ist die Exposition nicht gerechtfertigt.
- Medizinische Screeningverfahren an symptomlosen Bevölkerungsgruppen, es sei denn, dass die erwarteten Vorteile für die untersuchten Personen oder für die Bevölkerung als Ganzes hinreichend sind, um die ökonomischen und gesellschaftlichen Kosten einschließlich des Schadensmaßes auszugleichen. Zu berücksichtigen sind dabei die diagnostische Aussagekraft des Screeningverfahrens, die Wahrscheinlichkeit einer wirksamen Behandlung nachgewiesener Fälle sowie, bei bestimmten Erkrankungen, die Vorteile, die die Kontrolle der Erkrankung für die Gemeinschaft mit sich bringt.

5.8 Optimierung des Schutzes

(211) Der Prozess der Optimierung des Schutzes ist für die Anwendung in solchen Situationen gedacht, die als gerechtfertigt erachtet wurden. Der Grundsatz der Optimierung des Schutzes ist, zusammen mit der Begrenzung der Höhe der individuellen Dosis oder des Risikos einer Person, von zentraler Bedeutung für das System des Strahlenschutzes und gilt für alle drei Expositionssituationen: geplante Expositionssituationen, Notfall-Expositionssituationen und bestehende Expositionssituationen.

(212) Der Grundsatz der Optimierung wird von der Kommission als ein quellenbezogener Prozess definiert, der dazu dient, die Wahrscheinlichkeit von Expositionen (in Fällen, in denen diese nicht mit Sicherheit erhalten werden), die Zahl der exponierten Personen und die Höhe der individuellen Dosen so niedrig zu halten, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise möglich ist.

(213) Die Kommission hat ihre Empfehlungen zur Anwendung des Optimierungsgrundsatzes bereits an anderer Stelle gegeben (ICRP, 1983, 1989, 1991b, and 2006a); diese Empfehlungen bleiben gültig und werden hier nicht im Einzelnen wiederholt. Die Entscheidungsfindungs-Verfahren sind nach wie vor unerlässlich, um die optimierte Strahlenschutzlösung in einer objektiven Weise zu erarbeiten; diese Verfahren beinhalten Methoden zur quantitativen Optimierung wie z.B. die Kosten-Nutzen-Analyse. Das Optimierungsverfahren hat in den vergangenen Jahrzehnten zu substantiellen Verringerungen der Expositionen von Beschäftigten und Personen der Bevölkerung geführt.

(214) Die Optimierung zielt immer darauf ab, den unter den gegebenen Umständen besten Schutzgrad zu erreichen; wobei ein fortlaufender Prozess durchzuführen ist, der folgende Schritte beinhaltet:

- Bewertung der Expositionssituation, einschließlich jeglicher potenziellen Exposition (die Eingrenzung des Verfahrens);
- Festlegung eines geeigneten Wertes für den Richtwert oder Referenzwert;
- Feststellung der möglichen Schutzoptionen;
- Wahl der unter den gegebenen Umständen besten Option;
- Umsetzung der gewählten Option.

(215) Die Erfahrung hat gezeigt, in welcher Weise die Optimierung des Schutzes zur Verbesserung des Strahlenschutzes für geplante Situationen beigetragen hat. Richtwerte

geben eine gewünschte Obergrenze für den Optimierungsprozess an. Es gibt Quellen und Verfahren, die auf niedrigem Niveau festgesetzte Richtwerte einhalten können, während andere nur höher angesetzten Richtwerten gerecht werden können. Dies ist normal und sollte im Gestaltungsspielraum staatlicher und, soweit angemessen, anderer Stellen zum Ausdruck kommen, die für bestimmte Umstände jeweils angemessenen Werte festzulegen.

(216) In allen Situationen wird bei der Planung von Schutzmaßnahmen und bei der Festlegung des unter den gegebenen Umständen jeweils angemessenen Schutzgrades das Optimierungsverfahren angewendet, das mit der Anwendung von Richtwerten oder Referenzwerten verbunden ist. Bei den Dosiswerten, die mit dem jeweiligen Dosisrichtwert oder Referenzwert zu vergleichen sind, handelt es sich gewöhnlich um prospektive Dosen, d.h. um Dosiswerte, die in der Zukunft erhalten werden können, und seien es nur diejenigen Dosen, die durch Entscheidungen über Schutzmaßnahmen beeinflusst werden können. Sie sind nicht als eine Form retrospektiver Dosisgrenzwerte gedacht.

(217) Die Optimierung des Schutzes ist ein in die Zukunft gerichteter, iterativer Prozess, der auf die Verhinderung oder Verringerung künftiger Expositionen ausgerichtet ist. Dieser Prozess berücksichtigt sowohl technische als auch sozioökonomische Entwicklungen und erfordert sowohl qualitative als auch quantitative Bewertungen. Er sollte systematisch und sorgfältig strukturiert sein, um zu gewährleisten, dass alle relevanten Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden. Die Optimierung stellt eine Geisteshaltung dar, die ständig in Frage stellt, ob das unter den gegebenen Umständen Beste und ob alles Vernünftige unternommen wurde, um die Expositionen zu verringern. Sie erfordert auch Festlegungen auf allen Ebenen in allen betroffenen Organisationen sowie angemessene Verfahren und Ressourcen.

(218) Die beste Option ist immer spezifisch für die Expositionssituation und stellt den besten Schutzgrad dar, der unter den gegebenen Umständen erreicht werden kann. Es ist daher nicht zielführend, a priori einen Dosiswert zu bestimmen, unterhalb dessen das Optimierungsverfahren abgebrochen werden sollte. Je nach der Expositionssituation kann die beste Option nah oder weit unter dem entsprechenden quellenbezogenen Richtwert oder Referenzwert liegen.

(219) Die Optimierung des Schutzes ist nicht gleichbedeutend mit der Minimierung der Dosis. Optimierter Schutz ist das Ergebnis einer Bewertung, in der das Schadensmaß infolge einer Exposition und die für den Schutz von Personen verfügbaren Ressourcen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Folglich ist die beste Option nicht notwendigerweise diejenige mit der niedrigsten Dosis.

(220) Zusätzlich zur Verringerung der Höhe individueller Expositionen sollte auch eine Verringerung der Anzahl exponierter Personen in Betracht gezogen werden. Die kollektive effektive Dosis ist und bleibt ein Schlüsselparameter für die Optimierung des Schutzes für Beschäftigte. Der Vergleich von Schutzoptionen für den Zweck der Optimierung muss eine sorgfältige Betrachtung der Merkmale der Verteilung der individuellen Expositionen innerhalb einer exponierten Bevölkerung beinhalten.

(221) Wenn Expositionen große Bevölkerungsgruppen, ausgedehnte geografische Gebiete oder lange Zeitspannen umfassen, ist der Gesamtwert der kollektiven effektiven Dosis kein geeignetes Mittel für die Entscheidungsfindung, weil die kollektive effektive Dosis Daten in ungeeigneter Weise aggregiert und dies für die Wahl von Schutzmaßnahmen irreführend sein kann. Zur Überwindung der Einschränkungen, die mit der kollektiven effektiven Dosis verbunden sind, muss jede relevante Expositionssituation sorgfältig analysiert werden, um die individuellen Merkmale und Expositionsparameter festzustellen, welche die Expositionsverteilung über die betroffene Bevölkerung für die besonderen Gegebenheiten am besten beschreiben. Eine solche Analyse – gestützt auf die Frage, wann, wo und durch wen Expositionen erhalten werden – führt zur Feststellung unter-

schiedlicher Bevölkerungsgruppen mit homogenen Charakteristika, für die kollektive effektive Dosen innerhalb des Optimierungsverfahrens errechnet werden können und für die eine optimierte Schutzstrategie definiert werden kann (siehe Abschnitt 4.4). In praktischen Optimierungsbewertungen können kollektive Dosen oft zeitlich begrenzt sein, weil die Bewertungen nicht die vollen Integrale, sondern die Differenz zwischen den Integralen verwenden, die die kollektiven Dosen definieren, die den verschiedenen alternativen Schutzoptionen zugeschrieben werden (ICRP, 1983).

(222) In ICRP 77 und 81 (ICRP, 1997d, 1998b) hat die Kommission anerkannt, dass sowohl die individuellen Dosen als auch die Größe der exponierten Bevölkerung mit fortschreitender Zeit immer unsicherer werden. Die Kommission ist der Ansicht, dass bei der Entscheidungsfindung – bedingt durch die zunehmenden Unsicherheiten – erwogen werden könnte, sehr niedrigen Dosen and in weiter Zukunft erhaltenen Dosen weniger Gewicht zu geben (siehe Abschnitt 4.4.7). Die Kommission beabsichtigt nicht, detaillierte Anleitungen für derartige Gewichtungsverfahren zu geben, betont aber die Bedeutung, die der transparenten Darlegung der Art und Weise, wie jegliche Gewichtung vorgenommen wurde, zukommt.

(223) Alle Gesichtspunkte der Optimierung lassen sich nicht festschreiben. Es sollten sich aber alle Beteiligten dem Optimierungsprozess verpflichten. Wo die Optimierung zur behördlichen Angelegenheit wird, sollte diese nicht auf spezifische Ergebnisse für eine bestimmte Situation fokussiert sein, sondern auf Prozesse, Verfahren und Bewertungen. Es soll ein offener Dialog zwischen der zuständigen Behörde und dem Betreiber eingeleitet werden, von dessen Qualität der Erfolg des Optimierungsprozesses in hohem Maße abhängen wird.

(224) Gesellschaftliche Werte haben gewöhnlich einen Einfluss auf die endgültige Entscheidung über das Niveau des Strahlenschutzes. Daher wird – obgleich dieser Bericht im Sinne von Empfehlungen zur Entscheidungshilfe betrachtet werden sollte, die hauptsächlich auf wissenschaftlichen Erwägungen zum Strahlenschutz beruhen – von den Ratschlägen der Kommission erwartet werden, dass sie als Beitrag für einen endgültigen (gewöhnlich breiter angelegten) Entscheidungsfindungsprozess dienen, der auch andere gesellschaftliche Belange und ethische Gesichtspunkte ebenso wie Erwägungen zur Transparenz beinhalten kann (ICRP, 2006a). Dieser Entscheidungsfindungsprozess kann häufig die Beteiligung der entsprechenden Interessengruppen einschließen, statt sich ausschließlich auf Strahlenschutzexperten zu beschränken.

5.9 Dosisrichtwerte und Referenzwerte

(225) Die Begriffe Dosisrichtwert und Referenzwert werden in Verbindung mit der Optimierung des Strahlenschutzes zur Begrenzung von individuellen Dosen verwendet. Dabei muss immer ein Wert der individuellen Dosis definiert werden, entweder als Dosisrichtwert oder als Referenzwert. Die Intention besteht zunächst darin, die entsprechenden Werte nicht zu überschreiten bzw. sie einzuhalten; das Ziel ist es aber, alle Dosen auf Werte zu reduzieren, die so niedrig sind, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist.

(226) Im Sinne der Kontinuität hinsichtlich ihrer früheren Empfehlungen (ICRP, 1991b) behält die Kommission den Terminus „dose constraint“^B für diesen Dosiswert in geplanten

^B „Constraint“ wurde in der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Schranke“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen das Äquivalent „Richtwert“ verwendet. Der Ausdruck „Richtwert“ als Übersetzung von „constraint“ ist nicht zu verwechseln mit dem im Deutschen Recht benutzten Begriff „Richtwert“. A. d. Ü.

Expositionssituationen bei (mit Ausnahme medizinischer Expositionen von Patienten). Für Notfall-Expositionssituationen und bestehende Expositionssituationen schlägt die Kommission zur Bezeichnung dieses Dosiswertes den Terminus „Referenzwert“ vor. Der Unterschied zwischen geplanten und anderen Expositionssituationen (Notfall-Expositionssituationen und bestehenden Expositionssituationen) wurde von der Kommission beibehalten, um der Tatsache Ausdruck zu verleihen, dass bei geplanten Situationen die Begrenzung von individuellen Dosen im Planungsstadium zur Anwendung kommen kann und die Dosen vorausberechnet werden können, um sicherzustellen, dass der Richtwert nicht überschritten wird. In den anderen Situationen kann ein größerer Bereich von Expositionen bestehen und das Optimierungsverfahren kann für anfängliche Werte der individuellen Dosis gelten, die über dem Referenzwert liegen.

(227) Diagnostische Referenzwerte kommen in der medizinischen Diagnostik (d.h. als geplante Expositionssituationen) bereits zur Anwendung, um anzuzeigen, ob unter Routinebedingungen die Werte der Patientendosis oder der verabreichten Aktivität durch ein vorgegebenes bildgebendes Verfahren ungewöhnlich hoch oder niedrig für dieses Verfahren sind. In einem solchen Fall soll eine lokale Prüfung in die Wege geleitet werden, um festzustellen, ob der Schutz angemessen optimiert wurde oder korrigierende Maßnahmen erforderlich sind.

(228) Der gewählte Wert für einen Richtwert oder einen Referenzwert wird von den Gegebenheiten der betrachteten Expositionssituation abhängen. Es muss auch festgestellt werden, dass weder Dosis- und Risikowerte noch Referenzschwellen eine Grenzlinie zwischen „sicher“ und „gefährlich“ darstellen oder einen sprunghaften Anstieg in dem damit einhergehenden Gesundheitsrisiko für Personen wiedergeben.

(229) In der Tabelle 4 sind die verschiedenen im Schutzsystem der Kommission verwendeten Arten von Dosisbegrenzungen (Grenzwerte, Richtwerte, Referenzwerte) in Bezug auf die Art der Expositionssituation und die Expositionskategorie angegeben. In geplanten Expositionssituationen gibt es auch Risikowerte, um potenziellen Expositionen Rechnung zu tragen.

Tabelle 4: Die im Schutzsystem der Kommission verwendeten Dosisrichtwerte und Referenzwerte

Expositionssituationen	berufliche Exposition	Exposition der Bevölkerung	Medizinische Exposition
Geplante Expositionen	Dosisgrenzwert Dosisrichtwert	Dosisgrenzwert Dosisrichtwert	Diagnostischer Referenzwert ^d (Dosisrichtwert ^e)
Notfall-Expositionen	Referenzwert ^a	Referenzwert	n. z. ^b
Bestehende Expositionen	n. z. ^c	Referenzwert	n. z. ^b

^a Langzeit-Maßnahmen sollen als Teil geplanter beruflicher Expositionen behandelt werden.

^b Nicht zutreffend

^c Expositionen infolge von Langzeit-Sanierungsmaßnahmen oder zeitlich ausgedehnter Beschäftigung in betroffenen Gebieten sollen als Teil geplanter beruflicher Expositionen behandelt werden.

^d Patienten

^e ausschließlich Betreuungs- und Begleitpersonen sowie Probanden in der Forschung (siehe Absatz 7.6 und 7.7)

5.9.1 Dosisrichtwerte

(230) Ein Dosisrichtwert ist eine prospektive und quellenbezogene Beschränkung der Körperdosis durch eine Quelle in geplanten Expositionssituationen (Ausnahme: medizinische Expositionen von Patienten), die bei der Optimierung des Schutzes für diese Quelle als Obergrenze für die erwartete Dosis dient. Sie kennzeichnet einen Dosiswert, oberhalb dessen eine Optimierung des Schutzes für eine gegebene Quelle unwahrscheinlich ist, und für die daher fast immer Maßnahmen getroffen werden müssen. Dosisrichtwerte für geplante Expositionssituationen stellen ein grundlegendes Niveau des Strahlenschutzes dar und werden stets niedriger sein als der jeweilige Dosisgrenzwert. Bei der Planung muss sichergestellt sein, dass die betreffende Quelle nicht mit Dosiswerten einhergeht, die über dem Richtwert liegen. Durch die Optimierung des Schutzes wird ein annehmbarer Dosiswert unterhalb des Richtwerts festgelegt. Dieser optimierte Wert wird dann zum erwarteten Ergebnis der geplanten Schutzmaßnahmen.

(231) Die bei Überschreitung eines Dosisrichtwertes notwendige Maßnahme beinhaltet die Feststellung, ob der Schutz tatsächlich optimiert wurde, ob ein geeigneter Dosisrichtwert gewählt wurde und ob weitere Schritte zur Dosisverringerung auf annehmbare Werte angemessen wären. Für potenzielle Expositionen wird die entsprechende quellenbezogene Beschränkung als Risikorichtwert bezeichnet (siehe Abschnitt 6.1.3). Es genügt nicht, einen Dosisrichtwert als Zielwert zu behandeln; vielmehr wird die Optimierung des Schutzes notwendig sein, um einen annehmbaren Dosiswert unterhalb des Richtwerts festzulegen.

(232) Das Konzept des Dosisrichtwerts wurde in ICRP 60 eingeführt, um sicherzustellen, dass der Optimierungsprozess nicht zu Ungerechtigkeit führt, d.h. zu der Möglichkeit, dass einige Personen in einem optimierten Schutzplan sehr viel höher exponiert werden als der Durchschnitt:

»Die meisten der bei der Optimierung des Schutzes benutzten Methoden zielen darauf ab, den Nutzen und das Detriment^{G1} für die Gesellschaft und die gesamte exponierte Bevölkerung deutlich zu machen. Nutzen und Detriment^{G2} sind wahrscheinlich nicht gleichmäßig innerhalb der Gesellschaft verteilt. Die Optimierung des Schutzes kann daher zu beträchtlichen Ungerechtigkeiten zwischen verschiedenen Personen führen. Diese Ungerechtigkeit kann begrenzt werden durch die Einbindung von quellenbezogenen Beschränkungen der Körperdosis in den Optimierungsprozess. Die Kommission bezeichnet diese quellenbezogenen Beschränkungen als Dosissschranken^{G3} (dose constraints), früher obere Richtwerte (upper bounds) genannt. Sie bilden einen integralen Bestandteil der Optimierung des Schutzes. Für potentielle Expositionen ist das entsprechende Konzept die Risikoschranke^{G4}. (ICRP, 1991b, deutsche Übersetzung, Absatz 121, Seite 43)«^G

Diese Feststellung gibt nach wie vor die Ansicht der Kommission wieder.

(233) Für berufliche Expositionen ist der Dosisrichtwert ein Wert der Körperdosis. Er wird verwendet, um das Spektrum der Optionen so zu begrenzen, dass im Optimierungs-

^G Zitat aus der deutschen Übersetzung der ICRP 60. Abweichend davon sind für die Übersetzung der neuen ICRP-Empfehlungen folgende Begriffe relevant:

^{G1} Schadensmaß (für Englisch „detriment“)

^{G2} Schaden (für Englisch „detriment“)

^{G3} Dosisrichtwert (für Englisch „dose constraint“)

^{G4} Risikorichtwert (für Englisch „risk constraint“)

A. d. Ü.

prozess nur solche Optionen betrachtet werden, von denen erwartet wird, dass sie zu Dosen unterhalb des Richtwerts führen. Für Expositionen der Bevölkerung ist der Dosisrichtwert eine Obergrenze der jährlichen Dosen, die Personen der Bevölkerung durch den geplanten Betrieb einer vorgegebenen kontrollierten Quelle erhalten könnten. Die Kommission betont, dass Dosisrichtwerte nicht als vorgeschriebene gesetzliche Grenzwerte zu verwenden oder zu verstehen sind.

5.9.2 Referenzwerte

(234) In Notfall- oder bestehenden kontrollierbaren Expositionssituationen stellen die Referenzwerte die Dosis- oder Risikowerte dar, oberhalb derer es als unangemessen gilt, das Auftreten von Expositionen zu planen oder zu gestatten (vergleiche Abschnitt 6.2) und für die daher Schutzmaßnahmen geplant und optimiert werden sollen. Der gewählte Wert für einen Referenzwert hängt von den gegebenen Umständen der betrachteten Expositionssituation ab.

(235) Wenn eine Notfall-Expositionssituation aufgetreten ist bzw. eine bestehende Expositionssituation festgestellt wurde und Schutzmaßnahmen getroffen wurden, können Dosen für Beschäftigte und Personen der Bevölkerung gemessen oder abgeschätzt werden. Der Referenzwert kann dann eine andere Funktion annehmen, nämlich die eines Bezugswertes für die retrospektive Bewertung von Schutzoptionen. Die Dosisverteilung, die sich aus der Durchführung einer geplanten Schutzstrategie ergibt, kann Expositionen oberhalb des Referenzwertes beinhalten oder nicht, je nachdem ob die Strategie erfolgreich war. Die Bemühungen sollen jedoch darauf abzielen, alle Expositionen oberhalb des Referenzwertes nach Möglichkeit auf einen Wert darunter zu reduzieren.

5.9.3 Faktoren, die die Wahl quellenbezogener Dosisrichtwerte und Referenzwerte beeinflussen

(236) Bei Dosiswerten über 100 mSv besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für deterministische Wirkungen und ein signifikantes Krebsrisiko. Aus diesen Gründen ist die Kommission der Ansicht, dass der Höchstwert für einen Referenzwert 100 mSv beträgt, die entweder akut oder innerhalb eines Jahres erhalten werden. Expositionen über 100 mSv, die entweder akut oder innerhalb eines Jahres erhalten werden, wären nur unter außergewöhnlichen Umständen gerechtfertigt, entweder weil die Exposition unvermeidlich ist oder in Ausnahmesituationen wie Lebensrettung oder Abwendung einer gravierenden Katastrophe. Kein anderer individueller oder gesellschaftlicher Nutzen würde derart hohe Expositionen aufwiegen (siehe ICRP, 2005a).

(237) Von den Zahlenwerten, die die Kommission in ICRP 60 und in nachfolgenden Veröffentlichungen angegeben hat, können viele, mit Ausnahme der Grenzwerte, als Richtwerte oder Referenzwerte betrachtet werden. Die Werte liegen innerhalb dreier definierter Bandbreiten (siehe Tabelle 5) mit den in den folgenden Absätzen beschriebenen Eigenschaften. Die Kommission ist der Ansicht, dass es nützlich ist, die Werte in dieser Weise zu präsentieren, da dies die Wahl eines angemessenen Wertes als Richtwert oder Referenzwert für eine spezifische Situation, die von der Kommission nicht explizit angesprochen wurde, ermöglicht.

(238) Die von der Kommission angegebenen Bandbreiten für Richtwerte und Referenzwerte (siehe Tabelle 5) gelten für alle drei Expositionssituationen und beziehen sich auf die zu erwartende Dosis über eine für die betrachtete Situation angemessene Zeitspanne. Richtwerte für geplante Expositionen und Referenzwerte in bestehenden Situationen werden üblicherweise als jährliche effektive Dosis (mSv in einem Jahr) ausgedrückt. In Notfall-

Tabelle 5: Rahmen für quellenbezogene Dosisrichtwerte und Referenzwerte mit Beispielen von Richtwerten für Beschäftigte und die Bevölkerung bezogen auf einzelne alles beherrschende Quellen für alle kontrollierbaren Expositionssituationen

Bandbreiten für Richtwerte und Referenzwerte^a (mSv)	Charakteristische Merkmale der Expositionssituation	Strahlenschutzanforderungen	Beispiele
größer als 20 bis zu 100 ^{b,c}	Exposition von Personen durch Quellen, die nicht kontrollierbar sind oder bei denen Maßnahmen zur Dosisverringerung mit unverhältnismäßigen Konsequenzen verbunden wären. Die Beeinflussung der Expositionen erfolgt gewöhnlich durch Maßnahmen an den Expositionspfaden.	Es sollen Überlegungen zur Dosisverringerung in Betracht gezogen werden, insbesondere dann, wenn diese 100 mSv nahe kommen. Betroffene Personen sollen über Strahlenrisiken und über die Maßnahmen zur Dosisverringerung informiert werden. Es sollen Abschätzungen der individuellen Dosen vorgenommen werden.	Referenzwert für die höchste, aufgrund der Planungen nicht zu überschreitende verbleibende Dosis infolge einer radiologischen Notfallsituation.
größer als 1 bis zu 20	Üblicherweise ist die Expositionssituation, nicht aber die Exposition an sich, mit einem Nutzen für die betroffenen Personen verbunden. Die Expositionen können an der Quelle oder aber durch Maßnahmen an den Expositionspfaden beeinflusst werden.	Wann immer möglich sollen allgemeine Informationen zur Verfügung gestellt werden, um den betroffenen Personen eine Verringerung ihrer Expositionen zu ermöglichen. Für geplante Situationen sollen individuelle Abschätzungen der Exposition sowie Schulungen durchgeführt werden.	Richtwerte für berufliche Strahlenexpositionen in geplanten Situationen. Richtwerte für helfende Personen von Patienten, die mit Radiopharmaka behandelt werden. Referenzwerte für Radon in Wohnungen.
Kleiner oder gleich 1	Personen werden durch eine Quelle exponiert, die für sie selbst kaum oder gar keinen Nutzen verbunden ist, die für die Gesellschaft als Ganzes jedoch durchaus von Nutzen ist. Die Expositionen werden üblicherweise durch Maßnahmen beeinflusst, die direkt an der Quelle ansetzen und für die Strahlenschutzanforderungen im Voraus geplant werden können.	Es sollen allgemeine Informationen über die Höhe der Exposition zur Verfügung gestellt werden. Hinsichtlich der Höhe der Exposition sollen regelmäßige Überprüfungen der Expositionspfaden durchgeführt werden.	Richtwerte für Expositionen der Bevölkerung in geplanten Situationen

^a Akute Dosis oder Dosis in einem Jahr

^b In Ausnahmesituationen können Freiwillige, die zuvor über die Gefahren der Maßnahmen unterrichtet worden sind, Dosen oberhalb dieser Bandbreite erhalten, um Leben zu retten, schwerwiegende gesundheitliche Strahlenwirkungen oder die Schadensausweitung in einer Katastrophensituation zu verhindern.

^c Situationen in denen die Dosischwelle für deterministische Wirkungen in den entsprechenden Organen oder Geweben überschritten werden könnte, sollen immer Maßnahmen erfordern

situationen wird der Referenzwert als Gesamtwert der durch den Notfall bedingten verbleibenden Dosis für eine Person ausgedrückt, den die zuständige Behörde nicht zu überschreiten plant. Dieser Gesamtwert kann entweder auf eine akute Exposition (ohne Erwartung einer Wiederholung) oder, im Fall einer zeitlich lang anhaltenden Exposition, auf ein Jahr bezogen sein.

(239) Der erste Bereich bis zu 1 mSv gilt für Expositionssituationen, in denen Personen – gewöhnlich geplante – Expositionen erhalten, die für diese Personen selber zwar keinen direkten Nutzen bringen, wohl aber für die Gesellschaft von Nutzen sein können. Die Exposition von Personen der Bevölkerung durch die geplante Durchführung von Tätigkeiten oder Arbeiten ist ein wesentliches Beispiel für derartige Situationen. Richtwerte und Referenzwerte in diesem Bereich würden für Situationen gewählt, in denen allgemeine Informationen und Ergebnisse von Umweltüberwachung bzw. Dosismessungen bzw. –abschätzungen existieren und in denen Personen zwar informiert, aber nicht geschult werden. Die entsprechenden Dosiswerte würden eine marginale Erhöhung auf Werte oberhalb der natürlichen Strahlung aufweisen und sind mindestens zwei Größenordnungen niedriger als der Höchstwert für einen Referenzwert, womit ein entscheidender Schutz gegeben ist.

(240) Der zweite Bereich von 1 mSv bis 20 mSv gilt für Gegebenheiten, in denen Personen direkte Nutzen von der Expositionssituation haben. Richtwerte und Referenzwerte in diesem Bereich werden häufig in Gegebenheiten festgelegt, in denen eine individuelle Überwachung oder Dosismessung oder -abschätzung vorgenommen wird und in denen Personen Informationen oder Schulungen erhalten. Beispiele dafür sind die für berufliche Expositionen in geplanten Expositionssituationen angegebenen Richtwerte. Expositionssituationen, die mit ungewöhnlich hohen Werten natürlicher Strahlung einhergehen oder Phasen der Rehabilitation nach einem Unfall einbeziehen, können ebenfalls in diesem Bereich liegen.

(241) Der dritte Bereich von Werten zwischen 20 mSv und 100 mSv gilt für ungewöhnliche und häufig extreme Situationen, in denen Maßnahmen zur Verringerung von Expositionen kontraproduktiv wären. Wenn Bedingungen vorliegen, in denen die Expositionssituation entsprechend große Nutzen mit sich bringt, können auch in diesem Bereich Referenzwerte – für einmalige Expositionen unter 50 mSv mitunter auch Richtwerte – gesetzt werden. Das wichtigste Beispiel für derartige Situationen sind Maßnahmen, die in einer radiologischen Notfallsituation zur Verringerung der Exposition getroffen werden. Die Kommission ist der Ansicht, dass eine Schutzmaßnahme bei einer Dosis, die bis zu 100 mSv ansteigt, nahezu immer gerechtfertigt ist. Ferner sollen Situationen, in denen die Dosischwelle für deterministische Wirkungen in relevanten Organen oder Geweben überschritten werden könnte, immer Maßnahmen zur Folge haben (siehe auch Absatz 83 in ICRP, 1999a).

(242) Eine notwendige Etappe bei der Anwendung des Grundsatzes der Optimierung im Strahlenschutz ist die Wahl eines geeigneten Wertes für den Dosisrichtwert oder Referenzwert. Der erste Schritt besteht darin, die relevante Expositionssituation im Hinblick auf die Art der Exposition, den Nutzen der Expositionssituation für Personen und die Gesellschaft sowie andere gesellschaftliche Kriterien und die Durchführbarkeit der Verringerung oder Verhinderung der Expositionen zu beschreiben. Der Vergleich dieser mit den in der Tabelle 5 beschriebenen Eigenschaften soll die Wahl des geeigneten Bereichs für den Richtwert oder den Referenzwert ermöglichen. Der spezifische Wert für den Richtwert oder Referenzwert kann dann durch einen Prozess der generischen Optimierung festgelegt werden, der nationale oder regionale Merkmale und Präferenzen sowie, falls angemessen, eine Betrachtung internationaler Leitlinien sowie Standards guter Praxis an anderen Orten berücksichtigt.

5.10 Dosisgrenzwerte

(243) Dosisgrenzwerte gelten nur für geplante Expositionssituationen, jedoch nicht für medizinische Expositionen von Patienten. Die Kommission ist zu dem Schluss gekommen, dass die bestehenden Dosisgrenzwerte, die sie in ICRP 60 empfohlen hat (ICRP, 1991b), weiterhin ein angemessenes Schutzniveau gewährleisten. Die nominellen Koeffizienten für das Schadensmaß sowohl für Arbeitskräfte als auch für Personen der Bevölkerung sind in Übereinstimmung mit den bereits 1990 angegebenen Werten, wenn auch etwas niedriger. Diese geringfügigen Differenzen haben keinerlei praktische Bedeutung (siehe Anhang A). Innerhalb einer Expositionskategorie – sei es die Exposition von Beschäftigten oder von Personen der Bevölkerung – gelten Dosisgrenzwerte für die Summe von Expositionen durch Quellen in Bezug auf Tätigkeiten, die bereits gerechtfertigt sind. Die empfohlenen Dosisgrenzwerte sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

(244) Für berufliche Expositionen in geplanten Expositionssituationen empfiehlt die Kommission nach wie vor, den Grenzwert als effektive Dosis in Höhe von 20 mSv pro Jahr, gemittelt über definierte 5-Jahres-Perioden (100 mSv in 5 Jahren) zu wählen, mit der weiteren Festlegung, dass die effektive Dosis 50 mSv in jedem einzelnen Jahr nicht überschreiten sollte.

(245) Für Expositionen der Bevölkerung in geplanten Expositionssituationen empfiehlt die Kommission weiterhin, den Grenzwert als eine effektive Dosis von 1 mSv in einem Jahr auszudrücken. Jedoch könnte unter besonderen Umständen ein höherer Wert der effektiven Dosis in einem einzelnen Jahr gestattet werden, vorausgesetzt dass der Durchschnitt über 5 Jahre 1 mSv pro Jahr nicht übersteigt.

(246) Die Grenzwerte der effektiven Dosis beziehen sich auf die Summe der Dosis durch die externen Expositionen und die Folgedosen durch interne Expositionen aus Zufuhren von Radionukliden. In ICRP 60 (ICRP, 1991b) hat die Kommission festgestellt, dass berufliche Radionuklidzufuhren über einen Zeitraum von 5 Jahren gemittelt werden können, um eine gewisse Flexibilität zu gewähren. Die Kommission bleibt bei dieser Ansicht. Ebenso wäre es unter besonderen Umständen, in denen die Bildung eines Mittelwertes der Dosis für Personen der Bevölkerung gestattet werden könnte, annehmbar, Zufuhren für Personen der Bevölkerung über einen Zeitraum von 5 Jahren zu mitteln (siehe vorheriger Absatz).

(247) Dosisgrenzwerte gelten nicht in Notfall-Expositionssituationen, in denen sich eine informierte exponierte Person freiwillig an Lebensrettungsmaßnahmen beteiligt oder eine Katastrophensituation abzuwenden versucht. Für informierte Probanden, die dringende Rettungsmaßnahmen durchführen, kann die normale Dosisbeschränkung gelockert werden. Dagegen soll Interventionspersonal, welches in einer späteren Phase von Notfall-Expositionssituationen Bergungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen durchführt, als beruflich exponiert betrachtet und entsprechend den normalen Strahlenschutzstandards für Beschäftigte geschützt werden. Dabei sollen ihre Expositionen die von der Kommission empfohlenen Dosisgrenzwerte für Beschäftigte nicht überschreiten. Da die Kommission spezifische Schutzmaßnahmen für weibliche Beschäftigte empfiehlt, die angezeigt haben, dass sie schwanger sind oder einen Säugling stillen (siehe Abschnitt 5.41) und unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Unsicherheiten, mit denen frühe Interventionsmaßnahmen im Fall einer Notfall-Expositionssituation behaftet sind, sollen weibliche Beschäftigte unter solchen Bedingungen nicht als Ersthelfer beschäftigt werden, die lebensrettende oder andere dringende Maßnahmen durchführen.

(248) Für informierte Personen der Bevölkerung, die an der Pflege und Begleitung von Patienten beteiligt sind, die nach einer Therapie mit offenen Radionukliden aus einer Klinik entlassen werden, können die normalen Dosisbeschränkungen gelockert werden. Bei die-

sen Personen sollen die Grenzwerte für die Bevölkerung im Allgemeinen nicht zur Anwendung kommen.

(249) Zusätzlich zu den Grenzwerten der effektiven Dosis wurden in ICRP 60 Grenzwerte für die Augenlinse und umschriebene Hautareale festgelegt, weil diese Gewebe durch den Grenzwert der effektiven Dosis nicht notwendigerweise vor Gewebereaktionen geschützt werden. Die relevanten Werte wurden als Organdosen angegeben. Diese Dosisgrenzwerte bleiben unverändert (siehe Tabelle 6). Es werden jedoch neue Daten zur Strahlenempfindlichkeit des Auges im Hinblick auf eine Beeinträchtigung des Sehvermögens erwartet. Die Kommission wird diese Daten und ihre mögliche Bedeutung für den Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse sorgfältig prüfen, sobald diese verfügbar werden. Wegen der Unsicherheit, die hinsichtlich dieses Risikos besteht, sollte die Optimierung in Situationen, die Expositionen der Augen mit sich bringen, besonders beachtet werden.

Tabelle 6: Empfohlene Dosisgrenzwerte bei geplanten Expositionssituationen^a

Art des Grenzwerts	Beruflich Strahlenexponierte	Bevölkerung
effektive Dosis	20 mSv in einem Jahr, gemittelt über definierte Zeiträume von 5 Jahren ^e	1 mSv in einem Jahr ^f
Jahreswert der Organdosis bezogen auf:		
die Augenlinse ^b	150 mSv	15 mSv
die Haut ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Hände und Füße	500 mSv	–

^a Grenzwerte der effektiven Dosis sind festgelegt als Summe der jeweiligen effektiven Dosen durch externe Exposition im angegebenen Zeitintervall und die effektive Folgedosis durch Aufnahme von Radionukliden in derselben Zeitspanne. Für Erwachsene wird die effektive Folgedosis für einen Zeitraum von 50 Jahren nach der Aufnahme berechnet, für Kinder hingegen für die Zeitspanne von bis zu einem Alter von 70 Jahren.

^b Dieser Grenzwert wird aktuell von einer ICRP-Arbeitsgruppe überprüft.

^c Die Beschränkung der effektiven Dosis für die Haut bietet hinreichenden Schutz vor stochastischen Wirkungen.

^d Gemittelt über 1 cm² Fläche der Haut, unabhängig von der Größe der exponierten Fläche.

^e Mit der weiteren Festlegung, dass die effektive Dosis den Wert von 50 mSv in einem Jahr nicht überschreiten sollte. Zusätzliche Beschränkungen gelten für berufliche Strahlenexpositionen von Schwangeren.

^f Unter besonderen Bedingungen kann ein höherer Wert der effektiven Dosis in einem Jahr zugelassen werden, vorausgesetzt, dass der Durchschnitt über 5 Jahre 1 mSv in einem Jahr nicht überschreitet.

(250) Die Dosisgrenzwerte für Gewebe sind als Organdosen angegeben. Der Grund dafür ist die Annahme der Kommission, dass die relevanten Werte der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) für die deterministischen Wirkungen immer niedriger sind als w_R -Werte für stochastische Wirkungen. Um sicher zu gehen wird daher angenommen, dass die Einhaltung der Dosisgrenzwerte mindestens im gleichen Maße vor Strahlung mit niedrigem LET wie vor Strahlung mit hohem LET schützt. Die Kommission ist daher der Ansicht, dass es hinreichend konservativ ist, w_R im Hinblick auf deterministische Wirkungen zu verwenden. In besonderen Situationen, in denen Strahlung mit hohem LET der kritische Faktor ist und vorherrschend die Expositionen eines einzelnen Gewebes (wie z. B. der Haut) verursacht, wird es eher angemessen sein, die Exposition als Energiedosis auszudrücken und die entsprechende RBW zu berücksichtigen (siehe Anhang B). Der Klarheit halber ist es notwendig zu erwähnen, wann immer eine RBW-gewichtete Energiedosis in Gy verwendet wird.

(251) Der Mehrparameter-Ansatz der Kommission für die Wahl der Grenzwerte beinhaltet notwendigerweise gesellschaftliche Bewertungen der mannigfachen Eigenschaften des Risikos. Diese Bewertungen werden nicht notwendigerweise in jedem Zusammenhang gleich sein und können insbesondere in verschiedenen Gesellschaften unterschiedlich ausfallen. Aus diesem Grund ist es die Absicht der Kommission, ihre Empfehlungen hinreichend flexibel zu gestalten, um nationalen oder regionalen Abweichungen Rechnung zu tragen. Nach Ansicht der Kommission lassen sich derartige Abweichungen im Schutz der am höchsten exponierten Personen jeweils am besten durch Verwendung der quellenbezogenen Dosisrichtwerte einbringen, die von staatlichen Stellen gewählt und im Prozess der Optimierung des Schutzes angewendet werden.

5.11 Literatur

ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).

deutsch:

ICRP Publication 26: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (angenommen am 17. Januar 1977). In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 26. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978

ICRP, 1983. Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10 (2/3).

ICRP, 1989. Optimisation and decision-making in radiological protection. ICRP Publication 55. Ann. ICRP 20 (1).

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993

ICRP, 1997a. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27(1).

ICRP, 1997d. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Ann. ICRP 27 (Suppl).

ICRP, 1998b. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28 (4).

ICRP, 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1–2).

ICRP, 2000a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).

ICRP, 2001a. Doses to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31(1–3).

ICRP, 2004c. Doses to infants from ingestion of radionuclides in mothers' milk. ICRP Publication 95. Ann. ICRP 34 (3/4).

ICRP, 2005a. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35 (1).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36 (3).

6. Umsetzung der Empfehlungen der Kommission

(252) Im vorigen Kapitel ist das Schutzsystem der Kommission beschrieben, das in allen Situationen anzuwenden ist, die eine Entscheidung über die Kontrolle von Strahlenexpositionen erfordern. Das vorliegende Kapitel bezieht sich auf die Umsetzung des Systems für die drei Arten von Expositionssituationen: geplante Expositionssituationen, Notfall-Expositionssituationen und bestehende Expositionssituationen. Dabei wird besonders auf die Bereiche eingegangen, in denen die Umsetzung der Empfehlungen nicht ganz so einfach ist. Für einige dieser Bereiche gibt die Kommission, wie im Text angegeben, weitere Empfehlungen. Ein Abschnitt ist eingefügt, in dem die Strahlenschutzkriterien der vorliegenden Empfehlungen mit denen früherer Empfehlungen – ICRP 60 (1991b) und den daraus abgeleiteten Veröffentlichungen – verglichen werden. Der letzte Abschnitt des vorliegenden Kapitels bezieht sich auf allgemeine Gesichtspunkte der Umsetzung der Empfehlungen der Kommission, insbesondere die Verantwortlichkeiten der Anwender und der Behörden.

6.1 Geplante Expositionssituationen

(253) Von geplanten Expositionssituationen spricht man, wenn die Maßnahmen des Strahlenschutzes geplant werden können, bevor Expositionen auftreten und wenn Ausmaß und Umfang von Expositionen vernünftigerweise vorausgesagt werden können. Der Begriff umfasst Quellen und Situationen, die in den bisherigen ICRP-Empfehlungen für „Tätigkeiten“ („practices“^A) bereits in angemessener Weise geregelt sind. In die Überlegungen bei Einführung einer geplanten Expositionssituation, sollen alle für den Strahlenschutz relevanten Gesichtspunkte einbezogen werden. Dazu gehören – soweit angemessen – Planung, Bau, Betrieb, Stilllegung, Behandlung von Abfällen und Wiedernutzbarmachung zuvor in Anspruch genommener Gebiete und Anlagen, wobei potenzielle Expositionen ebenso wie normale Expositionen in Betracht zu ziehen sind. Zu geplanten Expositionssituationen zählen auch medizinische Expositionen von Patienten einschließlich ihrer Begleit- und Betreuungspersonen. Die Grundsätze des Schutzes in geplanten Expositionssituationen gelten auch für geplante Tätigkeiten im Zusammenhang mit bestehenden Expositionssituationen und Notfall-Expositionssituationen, sobald der Notfall unter Kontrolle gebracht wurde. Empfehlungen für geplante Situationen sind im Wesentlichen unverändert übernommen aus ICRP 60 (1991b) und den nachfolgenden Veröffentlichungen für den normalen Betrieb bei „Tätigkeiten“ und den Schutz in der Medizin. Medizinische Expositionen werden wegen ihrer besonderen Eigenschaften im Kapitel 7 separat erörtert.

(254) In geplanten Expositionssituationen können alle Expositionskategorien vorkommen, d.h. berufliche Expositionen (Abschnitt 6.1.1), Expositionen der Bevölkerung (Abschnitt 6.1.2) und medizinische Expositionen von Patienten, einschließlich ihrer Begleit- und Betreuungspersonen (Kapitel 7). Die Ausgestaltung und Entwicklung von geplanten Expositionssituationen soll potenzielle Expositionen, die sich durch Abweichungen von normalen Betriebsbedingungen ergeben können, in angemessener Weise berücksichtigen. Die Abschätzung potenzieller Expositionen und die damit zusammenhängenden Fragen der Sicherheit und Sicherung von Strahlenquellen sollen in geeigneter Form berücksichtigt werden. (Abschnitt 6.1.3).

^A In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 mit „Anwendungen“ übersetzt. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen in Übereinstimmung mit den entsprechenden nationalen Bestimmungen das Äquivalent „Tätigkeiten“ (je nach Kontext mit dem Zusatz „oder Arbeiten“) verwendet (s. Glossar) A. d. Ü.

6.1.1 Berufliche Expositionen

(255) Die Kommission hat in einer vorherigen Veröffentlichung allgemeine Grundsätze des Strahlenschutzes für Beschäftigte empfohlen (ICRP 75, 1997a). Diese Grundsätze behalten ihre Gültigkeit.

(256) Die Kommission empfiehlt nach wie vor, berufliche Expositionen in geplanten Expositionssituationen durch Optimierungsverfahren auf Werte unter dem jeweiligen quellenbezogenen Richtwert festzulegen (siehe Abschnitt 5.9.1) und vorgeschriebene Grenzwerte zu verwenden (siehe Abschnitt 5.10). Ein Richtwert soll bereits bei der Ausgestaltung einer geplanten Expositionssituation für deren Ablauf definiert werden. Für viele Beschäftigungsarten bei geplanten Expositionssituationen ist es möglich, die Höhe der individuellen Dosis zu bestimmen, die bei normalen Betriebsbedingungen voraussichtlich auftritt. Diese Information kann dann benutzt werden, um einen Dosisrichtwert für diese Art der Beschäftigung festzulegen. Die Beschreibung dieser Beschäftigungsart soll einigermaßen weit gefasst werden, z.B. Beschäftigung in der zerstörungsfreien Materialprüfung, beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken oder die Beschäftigung in medizinischen Einrichtungen. Es können jedoch auch spezifische Situationen eintreten, in denen ein Richtwert gewählt werden kann, um bestimmte Aktivitäten zu leiten.

(257) In der Regel ist es zweckmäßig, solche Dosisrichtwerte auf der betrieblichen Ebene festzulegen. Wenn ein Dosisrichtwert verwendet wird, sollen die dazugehörigen Quellen bei der Planung angegeben werden, um Verwechslungen mit anderen Strahlenquellen, denen die Arbeitskräfte gleichzeitig ausgesetzt sein können, entgegenzuwirken. Der quellenbezogene Dosisrichtwert für berufliche Expositionen in geplanten Expositionssituationen soll so festgelegt werden, dass der Grenzwert nicht überschritten wird (siehe Abschnitt 5.10). Die Erfahrungen bei der Überwachung strahlenexponierter Beschäftigter fließen bei der Festlegung eines Dosisrichtwerts für berufliche Expositionen ein. Aus diesem Grund setzen große etablierte Organisationen, die über eine umfassende Strahlenschutz-Infrastruktur verfügen, häufig ihre eigenen Richtwerte für berufliche Expositionen fest. Bei kleineren Organisationen, die über weniger einschlägige Erfahrungen verfügen, kann eine diesbezügliche eingehende Beratung durch geeignete Expertengremien oder Behörden erforderlich sein. Ungeachtet dessen liegt die Gesamtverantwortung für die Festlegung von Richtwerten bei denjenigen, die für die Überwachung der Strahlenexposition von Beschäftigten verantwortlich sind.

(258) Der Schutz von vorübergehend Beschäftigten oder Fremdarbeitern bedarf wegen der möglicherweise aufgeteilten Verantwortung zwischen verschiedenen Arbeitgebern und Genehmigungsinhabern besonderer Aufmerksamkeit. Außerdem sind manchmal verschiedene Behörden beteiligt. Zu solchen Beschäftigten gehören Auftragnehmer für Wartungsarbeiten in Kernkraftwerken sowie Beschäftigte in der zerstörungsfreien Materialprüfung, die nicht zur Belegschaft des Betreibers gehören. Um ihren Schutz zu gewährleisten, müssen die vorherigen Expositionen dieser Beschäftigten in angemessener Weise berücksichtigt werden, auch um sicherzustellen, dass Dosisgrenzwerte eingehalten werden. Es soll eine angemessene Zusammenarbeit zwischen dem Arbeitgeber eines Fremdarbeiters und den Betreibern der Anlagen geben, für die Verträge abgeschlossen werden. Behörden sollen sicherstellen, dass gesetzliche Bestimmungen in dieser Hinsicht angemessen sind.

6.1.2 Expositionen der Bevölkerung

(259) Für geplante Expositionssituationen empfiehlt die Kommission nach wie vor, Expositionen der Bevölkerung durch Optimierung unterhalb des jeweiligen quellenbezogenen Richtwerts und durch die Verwendung von Dosisgrenzwerten zu kontrollieren. Im All-

gemeinen verursacht jede Quelle, insbesondere bei Bevölkerungsexpositionen, eine Dosisverteilung über viele Personen. Daher soll das Konzept der Repräsentativen Person verwendet werden, um die höher exponierten Personen zu erfassen (ICRP, 2006a). Die Dosisrichtwerte für die Bevölkerung sollen bei geplanten Expositionssituationen unter den entsprechenden Dosisgrenzwerten liegen. Sie werden typischerweise von den Behörden festgelegt.

(260) Für die Überwachung der Bevölkerungsexposition durch Abfallentsorgung besteht bereits eine Empfehlung der Kommission, wonach für die Bevölkerung ein Dosisrichtwert von höchstens 0,3 mSv in einem Jahr angemessen wäre (ICRP, 1997d). Diese Empfehlungen wurden im Hinblick auf die geplante Entsorgung langlebiger radioaktiver Abfälle in ICRP 81 (1998b) weiter ausgearbeitet.

(261) In ICRP 82 (1999a) hat die Kommission Empfehlungen herausgegeben, wonach in Fällen geplanter Ableitungen langlebiger Radionuklide in die Umwelt bei planerischen Bewertungen zu beachten ist, ob es durch Akkumulierung in der Umwelt zur Überschreitung des Dosisrichtwerts kommen kann, wobei jede vernünftigerweise anzunehmende Kombination und Akkumulierung von Expositionen zu berücksichtigen ist. Wenn solche Überlegungen nicht möglich oder zu unsicher sind, wäre es vernünftig, einen Dosisrichtwert in Höhe von 0,1 mSv in einem Jahr auf den lange anhaltenden Dosisanteil anzuwenden, der den langlebigen Radionukliden aus künstlichen Quellen zuzuschreiben ist. In geplanten Expositionssituationen mit natürlich radioaktivem Material ist diese Begrenzung nicht praktikabel und nicht erforderlich (ICRP, 1999a). Die Empfehlungen des Jahres 1999 bleiben gültig. Um sicherzustellen, dass die Akkumulierung von Jahresdosen durch fortgesetzte Tätigkeiten in der Zukunft nicht zur Überschreitung von Grenzwerten führt, kann die Folgedosis verwendet werden (ICRP, 1991b, IAEA, 2000b). Die Folgedosis ist die totale Dosis, die sich infolge eines Ereignisses ergeben könnte, wie etwa in einem Jahr aus einer geplanten Tätigkeit, die mit Ableitungen verbunden ist. Eine gewisse Flexibilität ist in bestimmten Expositionssituationen erforderlich, die mit langlebigen natürlichen Radionukliden verbunden sind, wie etwa frühere Bergbau- und Erz-Aufbereitungs-Aktivitäten (siehe Abschnitte 2.3 und 5.2.2 der ICRP 82, 1999a).

6.1.3 Potenzielle Expositionen

(262) In geplanten Expositionssituationen erwartet man folgerichtig Expositionen einer gewissen Höhe. Es können sich aber auch höhere Expositionen ergeben – sei es durch Abweichungen von geplanten Verfahrensabläufen, sei es infolge von Unfällen, die den Verlust der Kontrolle über Strahlenquellen einschließen – oder aber auf Grund eines vorsätzlich missbräuchlichen Einsatzes von Strahlenquellen. Das Auftreten solcher Expositionen ist nicht geplant, obgleich eine geplante Situation vorliegt. Die entsprechenden Expositionen werden von der Kommission als potenzielle Expositionen bezeichnet. Zwar ist es oft möglich, Abweichungen vom geplanten Verfahrensablauf sowie Unfälle vorauszusehen und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens abzuschätzen, aber im Detail lassen sie sich nicht voraussagen. Der Verlust der Kontrolle über Strahlenquellen sowie ein vorsätzlich missbräuchlicher Einsatz von Strahlenquellen sind weniger voraussehbar und erfordern ein besonderes Vorgehen.

(263) Es besteht gewöhnlich eine Wechselwirkung zwischen potenziellen Expositionen und den Expositionen, die durch geplante Abläufe bei Normalbetrieb entstehen, z.B. können Maßnahmen, die zur Verringerung der Exposition während des Normalbetriebs getroffen werden, die Wahrscheinlichkeit potenzieller Expositionen erhöhen. So könnte die Lagerung langlebiger Abfälle statt ihrer großräumigen Verteilung zwar die Expositionen durch Ableitungen verringern, aber potenzielle Expositionen erhöhen. Zur Überwachung potenzi-

eller Expositionen werden bestimmte Überwachungs- und Wartungsaktivitäten durchgeführt. Diese können zu einer Erhöhung der normalen Expositionen führen.

(264) Potenzielle Expositionen sollen im Planungsstadium der Einführung einer geplanten Expositionssituation berücksichtigt werden. Sie können sowohl Maßnahmen zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen als auch Maßnahmen zur Begrenzung und Reduktion der Exposition (Minderung) bei Eintreten des Ereignisses nach sich ziehen (ICRP, 1991b, 1997b). Potenzielle Expositionen sollen bei der Anwendung der Rechtfertigungs- und Optimierungsgrundsätze gebührend beachtet werden.

(265) Potenzielle Expositionen umfassen grob drei Arten von Ereignissen.

- Ereignisse, bei denen die potenziellen Expositionen hauptsächlich Personen betreffen, die auch von den geplanten Expositionen betroffen sind: Die Anzahl der Personen ist gewöhnlich gering, und der damit verbundene Schaden ist das Gesundheitsrisiko für die direkt exponierten Personen. Die Abläufe, durch die solche Expositionen auftreten, sind relativ einfach, z.B. das potenziell unsachgemäße Betreten eines Bestrahlungsraumes. Die Kommission hat bereits in ICRP 76 (1997b) spezifische Empfehlungen für den Schutz vor potenziellen Expositionen in solchen Fällen gegeben. Diese Empfehlungen bleiben gültig. Einige zusätzliche Beispiele im Zusammenhang mit Unfällen in medizinischen Bereichen werden im Abschnitt 7.5 erörtert.
- Ereignisse, bei denen die potenziellen Expositionen eine größere Zahl von Personen betreffen könnten und nicht nur Gesundheitsrisiken, sondern auch andere Schäden wie z.B. kontaminierte Gebiete und die Notwendigkeit, die Nahrungsaufnahme zu kontrollieren, mit sich bringen könnten. Die damit verbundenen Mechanismen sind kompliziert; ein Beispiel ist die Möglichkeit eines größeren Unfalls in einem Kernreaktor oder die kriminelle Verwendung von radioaktivem Material. Ein konzeptionelles System für den Schutz vor derartigen Ereignissen hat die Kommission in ICRP 64 (1993a) gegeben. Dieses System bleibt gültig. In ICRP 96 (2005a), gibt die Kommission einige zusätzliche Hinweise zum Strahlenschutz nach Ereignissen mit krimineller Absicht.
- Ereignisse, die potenzielle Expositionen in ferner Zukunft nach sich ziehen könnten und über lange Zeiträume mit Strahlendosen verbunden wären, z.B. im Fall der Entsorgung von festen Abfällen in tief gelegenen Endlagern. Expositionen, die in weiter Zukunft erfolgen, sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet. Daher sollen Dosis-Abschätzungen, die über Zeiträume von einigen hundert Jahren in die Zukunft hinausgehen, nicht als Maß für den strahlenbedingten Gesundheitsschaden betrachtet werden. Sie sind eher als Indikatoren für den Schutz, den das Endlager leisten kann, zu betrachten. Spezifische Empfehlungen für die Endlagerung langlebiger fester radioaktiver Abfälle hat die Kommission in ICRP 81 (1998b) gegeben. Diese Empfehlungen bleiben gültig.

Abschätzung potenzieller Expositionen

(266) Die Bewertung potenzieller Expositionen zum Zwecke der Planung oder Beurteilung von Schutzmaßnahmen beruht gewöhnlich auf (a) der Entwicklung von Szenarien, die typischerweise die Abfolge von Ereignissen darstellen, die zu Expositionen führen, (b) der Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten für jede dieser Abfolgen; (c) der Abschätzung der resultierenden Dosis, (d) der Bewertung des mit dieser Dosis verbundenen Schadens; (e) dem Vergleich der Ergebnisse mit einem Akzeptanz-Kriterium, und (f) der Optimierung des Schutzes, die mehrere Iterationen der vorherigen Schritte erfordern kann.

(267) Die Prinzipien der Entwicklung und Analyse von Szenarien sind bekannt und werden in der Technik häufig angewandt. Ihre Anwendung wurde in ICRP 76 (1997b) erörtert. Bei Entscheidungen über die Akzeptanz potenzieller Expositionen sind sowohl die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Expositionen als auch ihre Höhe zu berücksichtigen. In manchen Fällen können Entscheidungen durch getrennte Betrachtung dieser beiden Faktoren getroffen werden. In anderen Fällen ist es zweckmäßiger, die jeweilige strahlenbedingte Sterbewahrscheinlichkeit anstatt der effektiven Dosis zu betrachten (ICRP, 1997b). Für diesen Zweck wird die Wahrscheinlichkeit definiert als das Produkt der Wahrscheinlichkeit, die Dosis in einem Jahr zu erhalten, und der Lebenszeit-Wahrscheinlichkeit, dadurch einen strahlenbedingten Tod zu erleiden. Die resultierende Wahrscheinlichkeit kann dann mit einem Risikowert verglichen werden. Wenn die Wahrscheinlichkeit geringer ist als der Risikowert, kann sie toleriert werden. Diese beiden Ansätze werden in den Empfehlungen der Kommission für die Entsorgung langlebiger fester Abfälle in ICRP 81 (1998b) erörtert.

(268) Risikowerte sind wie Dosiswerte quellenbezogen und sollen im Prinzip mit einem vergleichbaren Gesundheitsrisiko wie demjenigen, das die entsprechenden Dosiswerte für dieselbe Quelle beinhaltet, gleichgesetzt werden. Abschätzungen der Wahrscheinlichkeit einer Gefahrensituation und der resultierenden Dosis können jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet sein. Daher ist es häufig hinreichend, einen allgemeinen Wert für eine Risikoschwelle zu verwenden. Im Fall von Beschäftigten könnte dieser eher auf Verallgemeinerungen normaler beruflicher Expositionen beruhen als auf einer spezifischeren Untersuchung der jeweiligen Tätigkeit. Es gibt bestimmte Arten von Tätigkeiten, bei denen sich berufliche effektive Dosen für eine durchschnittliche Person von immerhin 5 mSv in einem Jahr ergeben können, nachdem das System der Dosisbegrenzung der Kommission angewendet wurde und der Schutz optimiert ist (UNSCEAR, 2000). Für potenzielle Expositionen von Beschäftigten bleibt die Kommission daher bei ihrer Empfehlung eines allgemeinen Risikowerts von $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr, entsprechend der Sterbewahrscheinlichkeit durch Krebs bei einer durchschnittlichen beruflichen Jahresdosis von 5 mSv (ICRP, 1997b). Für potenzielle Expositionen der Bevölkerung bleibt die Kommission bei ihrer Empfehlung eines Risikowerts von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr.

(269) Die Möglichkeit der Abschätzung einer Wahrscheinlichkeit wird in dem Maße begrenzt wie unwahrscheinliche Ereignisse vorhersehbar sind. In Fällen, in denen Unfälle als Folge eines breiten Spektrums von auslösenden Ereignissen auftreten können, ist wegen der gravierenden Unsicherheit, mit der das Vorliegen all der unwahrscheinlichen auslösenden Ereignisse vorhersagbar ist, bei jeder Abschätzung von Gesamtwahrscheinlichkeiten Vorsicht geboten. In vielen Fällen kann für Entscheidungsfindungen mehr Information gewonnen werden, wenn man die Eintrittswahrscheinlichkeit und die resultierenden Dosen separat betrachtet.

(270) In großen kerntechnischen Anlagen können Dosiskriterien der potenziellen Exposition für ausgewählte Szenarien als Grundlage der Planung zur Unfallprävention und Minderung der Folgen durch die zuständige Behörde vorgeschrieben sein. Die für potenzielle Expositionen verwendeten Dosiskriterien sollen unter Berücksichtigung der Unfallwahrscheinlichkeit von den Risikowerten abgeleitet werden.

Sicherheit und Sicherung von Strahlenquellen und Vorfällen mit kriminellem Hintergrund

(271) Potenzielle Expositionen, die mit geplanten Expositionssituationen einhergehen, können Folge des Verlusts der Kontrolle über Strahlenquellen sein. Diese Situation hat in den vergangenen Jahren wachsende Aufmerksamkeit erhalten und bedarf einer besonderen Betrachtung durch die Kommission. Die Empfehlungen der Kommission setzen voraus, dass Strahlenquellen – als Vorbedingung für adäquaten Strahlenschutz – geeigneten

Sicherungsmaßnahmen unterzogen werden (ICRP, 1991b). Die Überwachung der Strahlenexposition in allen geplanten Expositionssituationen wird durch die Überwachung der Quelle – nicht der Umgebung – erreicht. Die Sicht der Kommission findet in den Internationalen Basic Safety Standards (BSS) ihren Niederschlag in der Forderung, dass auf die Überwachung von Strahlenquellen auf keinen Fall verzichtet werden kann (IAEA, 1996). Die BSS fordern ebenfalls, dass Quellen sicher zu verwahren sind, um Diebstahl oder Beschädigung zu vermeiden. Zusätzlich sind mit dem „Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources“ Grundsätze verankert, die auf die Sicherung von Strahlenquellen anwendbar sind (IAEA, 2004). Die Kommission befürwortet den globalen Ausbau der Überwachung von Strahlenquellen.

(272) Die Sicherung radioaktiver Quellen ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Sicherheit von Quellen. Strahlenquellen können gesichert sein, d.h. sich unter geeigneter Kontrolle befinden, etwa um eine kriminelle Verwendung der Quellen zu verhindern, und dennoch nicht sicher, d.h. unfallgefährdet sein. Die Kommission hat daher auch in der Vergangenheit immer schon Gesichtspunkte der Sicherung in ihr Schutzsystem eingeschlossen (ICRP, 1991b). Im Zusammenhang mit Sicherheit sind Sicherungsvorkehrungen auf allgemeine Kontrollen beschränkt, die notwendig sind, um Verlust, Zugang, unbefugten Besitz oder Transfer und Verwendung des Materials, von Geräten oder Anlagen zu verhindern. Maßnahmen, die gewährleisten, dass die Kontrolle von radioaktivem Material und der Zugang zu Geräten und Anlagen zur Erzeugung von Strahlung gesichert sind, sind ebenso unerlässlich, um Sicherheit zu erreichen.

(273) Die Empfehlungen der Kommission von 1990 befassten sich nicht mit den Maßnahmen, die speziell zum Schutz vor Terrorismus oder anderen kriminellen Handlungen zu treffen sind. Es ist jedoch klar geworden, dass Strahlensicherheit auch derartige Szenarien mit einbeziehen muss. In der Vergangenheit wurden Erfahrungen mit nicht beabsichtigten Verstößen gegen die Sicherungsvorschriften bei Strahlenquellen gesammelt, ebenso mit Fällen, in denen eine nicht mehr in Gebrauch befindliche oder eine vagabundierende Strahlenquelle von Personen gefunden wurde, die sich der Strahlengefahr nicht bewusst waren. Diese Erfahrungen geben Hinweise darauf, was passieren kann, wenn radioaktive Stoffe vorsätzlich verwendet werden um Schaden anzurichten, z.B. durch absichtliche Verbreitung von radioaktiven Stoffen in einem öffentlichen Bereich. Bei solchen Ereignissen können Personen durch Strahlung exponiert und die Umwelt erheblich kontaminiert werden, was spezifische Strahlenschutzmaßnahmen erfordern würde (ICRP, 2005a).

6.2 Notfall-Expositionssituationen

(274) Selbst wenn im Planungsstadium alle vernünftigen Schritte zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit und der Folgen potenzieller Expositionen unternommen wurden, kann es notwendig werden, solche Expositionen in Bezug auf die Notfallvorsorge und den Notfallschutz zu betrachten. Notfall-Expositionssituationen sind unerwartete Situationen, in denen es erforderlich werden kann, akute sowie eventuell auch längerfristige Schutzmaßnahmen durchzuführen. In diesen Situationen kann es zu Expositionen der Bevölkerung oder von Beschäftigten sowie zu Umweltkontaminationen kommen. Expositionen können komplex sein in dem Sinne, dass sie auf verschiedenen voneinander unabhängigen Expositionspfaden erfolgen können, die möglicherweise gleichzeitig wirksam werden. Darüber hinaus können Strahlengefahren gleichzeitig mit anderen Gefahren (chemischen, physikalischen etc.) auftreten. Schutzmaßnahmen sollen geplant werden, weil potenzielle Notfall-Expositionssituationen je nach Art der betrachteten Anlage oder Situation mehr oder weniger genau im Voraus bewertet werden können. Tatsächlich eintretende Notfall-Expositionssituationen sind jedoch naturgemäß unvorhersehbar. Daher sind Art und Umfang notwendi-

ger Schutzmaßnahmen im Vorfeld nicht unbedingt bekannt; sie müssen vielmehr flexibel aus der Situation entwickelt werden, um den tatsächlichen Gegebenheiten in geeigneter Weise zu begegnen. Diese Situationen sind auf Grund ihrer Komplexität und Variabilität einzigartig und verdienen daher eine spezifische Behandlung durch die Kommission und ihre Empfehlungen.

(275) In ICRP 60 and 63 (1991b, 1992) hat die Kommission allgemeine Grundsätze für die Planung von Interventionen im Fall eines radiologischen Notfalls dargelegt. Zusätzlich wurden maßgebliche Empfehlungen in ICRP 86, 96, 97 und 98 gegeben (2000c, 2005a, 2005b, 2005c). Diese allgemeinen Grundsätze und zusätzlichen Empfehlungen bleiben gültig; darüber hinaus ist die Kommission gegenwärtig mit der Ausweitung ihrer Empfehlungen auf die Anwendung von Schutzmaßnahmen befasst, die sich auf die jüngsten Entwicklungen in der Notfallvorsorge und auf Erfahrungen seit der Veröffentlichung ihrer bisherigen Empfehlungen stützen.

(276) Die Kommission betont die Bedeutung der Rechtfertigungs- und Optimierungsstrategien für die Anwendung in Notfall-Expositionssituationen, wobei das Optimierungsverfahren durch Referenzwerte bestimmt sein soll (siehe Abschnitt 5.9). Wegen der Möglichkeit multipler, voneinander unabhängiger, gleichzeitiger und zeitlich variierender Expositionspfade ist es wichtig, bei der Entwicklung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen die Gesamtheit der Expositionen zu betrachten, die durch alle Expositionspfade auftreten können. Eine umfassende Schutzstrategie ist notwendig, die im Allgemeinen eine Bewertung der Strahlensituation und die Einführung verschiedener Schutzmaßnahmen beinhaltet. Diese Maßnahmen können sowohl zeitlich – entsprechend dem Verlauf der Notfall-Expositionssituation – als auch räumlich – entsprechend den jeweils unterschiedlich betroffenen geographischen Gebieten – variieren. Der vorausberechnete Wert der Exposition, der sich insgesamt als Folge einer Notfall-Expositionssituation ergeben würde, wenn keine Schutzmaßnahmen getroffen würden, wird als *erwartende Dosis^H* bezeichnet. Die Dosis, die sich ergeben würde, wenn eine Schutzstrategie eingesetzt wird, heißt *verbleibende Dosis*. Zusätzlich wird durch jede Schutzmaßnahme eine bestimmte Exposition vermieden; der entsprechende Wert wird als *vermeidbare Dosis^I* bezeichnet. Das Konzept der vermeidbaren Dosis ist nach ICRP 63 (1992) Grundlage für die Optimierung der individuellen Schutzmaßnahmen und bestimmt die gesamte Schutzstrategie. Die Kommission empfiehlt nun, die Optimierung eher auf die Gesamtstrategie als auf individuelle Maßnahmen zu beziehen. Die in ICRP 63 für die Optimierung des Schutzes hinsichtlich individueller Schutzmaßnahmen empfohlenen Werte der vermeidbaren Dosis können aber als Eingangswerte für die Entwicklung der Gesamtstrategie nach wie vor von Nutzen sein (siehe auch ICRP 96, 2005a).

(277) In Notfall-Expositionssituationen soll insbesondere auf die Prävention schwerwiegender deterministischer gesundheitlicher Wirkungen geachtet werden, da die Dosen innerhalb kurzer Zeit hohe Werte erreichen können. Eine Bewertung, die sich allein auf gesundheitliche Wirkungen stützt, wäre im Fall von größeren Notfällen unzureichend; hier gilt es, gesellschaftliche, wirtschaftliche und andere Folgen gebührend zu berücksichtigen. Ein weiteres wichtiges Ziel besteht darin, die Wiederaufnahme gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Aktivitäten, die als „normal“ betrachtet werden, vorzubereiten, soweit dies praktikabel ist.

^H „projected dose“. In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 „voraussehbarer Dosiswert“. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen die Übersetzung „zu erwartende Dosis“ verwendet. A. d. Ü.

^I „averted dose“. In der deutschen Ausgabe der ICRP 60 „vermeidene Dosis“. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen die Übersetzung „vermeidbare Dosis“ verwendet. A. d. Ü.

(278) Bei der Planung von Schutzmaßnahmen für Notfallsituationen sollen im Optimierungsverfahren Referenzwerte angewendet werden. Referenzwerte für die höchsten geplanten Werte der verbleibenden Dosis in Notfallsituationen liegen typischerweise im Bereich von 20 mSv bis 100 mSv der zu erwartenden Dosis wie im Abschnitt 5.9.3 gezeigt. Erwartungswerte der verbleibenden Dosis für die Gesamtheit der Schutzstrategien werden mit den Referenzwerten durch die frühzeitige Bewertung der Zweckmäßigkeit der eingesetzten Strategien verglichen. Eine Schutzstrategie, die keine Werte der verbleibenden Dosis unterhalb der Referenzwerte erzielt, soll im Planungsstadium verworfen werden.

(279) Aus der Planung soll ein Maßnahmenpaket hervorgehen, das automatisch eingesetzt wird, sobald eine Notfall-Expositionssituation eingetreten ist, sofern die vorherrschenden Umstände derartige Sofortmaßnahmen erfordern. Nach der Entscheidung über derartige Sofortmaßnahmen kann die erwartete Verteilung der verbleibenden Dosen abgeschätzt werden; der Referenzwert dient dann als Bezugswert für die Bewertung der Wirksamkeit von Schutzstrategien und der Notwendigkeit einer Änderung oder zusätzlicher Maßnahmen. Alle Expositionen, die über oder unter dem Referenzwert liegen, sind Gegenstand der Optimierung des Schutzes. Expositionen oberhalb des Referenzwerts sind besonders zu beachten.

(280) Bei der Erarbeitung einer Schutzstrategie für eine bestimmte Notfall-Expositionssituation kann eine Reihe verschiedener Bevölkerungsgruppen mit jeweils spezifischem Bedarf an Schutzmaßnahmen ermittelt werden. So kann z.B. die Entfernung vom Ausgangspunkt einer Notfall-Expositionssituation (z.B. eine Anlage, ein Unfallort) von Bedeutung sein, wenn es darum geht, die Höhe der zu betrachtenden Expositionen und damit Art und Dringlichkeit von Schutzmaßnahmen festzustellen. Vor dem Hintergrund dieser Verschiedenheit der exponierten Bevölkerung und ausgehend von den verschiedenen Populationen, die ermittelt wurden, soll die Planung von Schutzmaßnahmen auf Expositionen der „Representativen Person“, wie in ICRP 101 (2006a) beschrieben, bezogen werden. Nachdem eine Notfall-Expositionssituation eingetreten ist, sollen geplante Schutzmaßnahmen getroffen werden, um den jeweiligen Bedingungen aller zu berücksichtigenden exponierten Populationen gerecht zu werden. Dabei sollen Schwangere und Kinder besondere Beachtung finden.

(281) Notfallpläne sollen (je nach Zweckmäßigkeit mehr oder weniger detailliert) so entwickelt werden, dass alle möglichen Szenarien beherrscht werden. Die Entwicklung eines Notfallplans (national, lokal oder Anlagen-spezifisch) ist ein iterativer Prozess, der zahlreiche Schritte zur Bewertung, Planung, Allokation der Ressourcen, Schulung, Übungen, Prüfungen und Revisionen einschließt. Die Pläne zum Strahlennotfalleinsatz sollen integraler Bestandteil eines Programms zur Bewältigung aller Gefahren sein.

(282) Im Fall einer Notfall-Expositionssituation geht es zunächst darum, deren Eintreten zu erkennen. Die erste Reaktion sollte darin bestehen, den Notfallplan konsequent, aber flexibel zu befolgen. Anfänglich wird die im Notfallplan für das jeweilige Ereignis-Szenario beschriebene Schutzstrategie eingesetzt, die auf der im Rahmen der Planungen durchgeführten generischen Optimierung beruht. Sobald mit der Durchführung der Maßnahmen im Notfallplan begonnen wurde, ist der Notfalleinsatz durch einen iterativen Zyklus von Prüfung, Planung und Durchführung gekennzeichnet.

(283) Der Notfalleinsatz ist unweigerlich ein Prozess, der sich mit der Zeit von einer Situation mit wenigen Informationen zu einer mit möglicherweise überwältigender Information entwickelt, wobei die Erwartungen der Betroffenen hinsichtlich Schutz und Beteiligung mit der Zeit entsprechend schnell anwachsen. Wie in ICRP 96 erörtert (2005a), werden drei Phasen einer Notfall-Expositionssituation betrachtet: die Frühphase (die in eine Warnphase und eine mögliche Freisetzungsphase unterteilt werden kann), die Zwischenphase (die mit der Einstellung jeglicher Freisetzung und der Wiedererlangung der Kontrolle über die

Quelle der Freisetzungen beginnt) und die Spätphase. In jedem Stadium werden die am Entscheidungsprozeß Beteiligten notwendigerweise über unvollständige Kenntnisse der Situation hinsichtlich von Faktoren wie ihrer künftigen Auswirkungen, der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen und der Sorgen der direkt und indirekt Betroffenen verfügen, um nur einige zu nennen. Ein wirksamer Einsatz muss daher flexibel entwickelt werden mit regelmäßiger Überprüfung seiner Auswirkungen. Der Referenzwert ist eine wichtige Orientierungsgröße für eine solche Überprüfung als Bezugswert für den Vergleich mit dem, was über die Situationen und den durch eingeführte Maßnahmen geleisteten Schutz bekannt ist. Die Bewältigung der Langzeit-Kontamination, die sich aus einer Notfallsituation entwickelt, wird als bestehende Expositionssituation behandelt (siehe Abschnitt 6.3).

6.3 Bestehende Expositionssituationen

(284) Bestehende Expositionssituationen sind solche, die bereits vorliegen, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss. Viele Arten bestehender Expositionssituationen können Strahlenexpositionen verursachen, die hoch genug sind, um zu rechtfertigen, dass Strahlenschutzmaßnahmen durchgeführt oder wenigstens in Betracht gezogen werden. Radon in Wohnungen oder am Arbeitsplatz sowie natürlich vorkommende radioaktive Stoffe („naturally occurring radioactive material“, NORM) sind bekannte Beispiele. Es kann auch notwendig werden, Strahlenschutzentscheidungen bezüglich bestehender Expositionssituationen zu treffen, die zivilisatorisch bedingt sind; Beispiele sind Rückstände in der Umwelt, die aus radiologischen Emissionen von Tätigkeiten resultieren, die nicht im Schutzsystem der Kommission durchgeführt wurden, oder kontaminierte Gebiete nach einem Unfall oder einem radiologischen Ereignis. Es gibt auch Expositionssituationen, bei denen Maßnahmen zur Expositionsverringerung offensichtlich nicht berechtigt sind. Die Entscheidung darüber, welche Komponenten einer bestehenden Exposition durch Kontrolle nicht verbesserungsfähig sind, bedarf einer behördlichen Beurteilung, die von der Kontrollierbarkeit der Quelle oder Exposition und von den vorherrschenden wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und kulturellen Gegebenheiten abhängen wird. Grundsätze für den Ausschluss und die Ausnahme einer Strahlenquelle sind im Abschnitt 2.3 ausgeführt und erörtert.

(285) Bestehende Expositionssituationen können komplex sein. Sie können mehrere Expositionspfade umfassen und generell breite Verteilungen der jährlichen individuellen Dosen zur Folge haben. Diese reichen von sehr niedrigen Werten bis hin zu Werten, die – in seltenen Fällen – die Größenordnung von 10 bis 100 mSv annehmen. Derartige Situationen betreffen häufig Wohnungen wie etwa im Fall von Radon, wobei die Höhe der Exposition in vielen Fällen durch das Verhalten der exponierten Personen bestimmt wird. Ein weiteres Beispiel ist die Verteilung individueller Expositionen in einem lange andauernd kontaminierten Gebiet, die Unterschiede in den Ernährungsgewohnheiten der betroffenen Einwohnerschaft direkt widerspiegelt. Die Vielfältigkeit der Expositionspfade und die Bedeutung des individuellen Verhaltens können zu Expositionssituationen führen, die sich schwer kontrollieren lassen.

(286) Für bestehende Expositionssituationen empfiehlt die Kommission die Anwendung von Referenzwerten, die als individuelle Dosiswerte festgelegt werden, in Verbindung mit der Umsetzung des Optimierungsprinzips. Ziel ist die Durchführung optimierter Schutzstrategien bzw. die fortschreitende Umsetzung einer Reihe derartiger Strategien zur Verringerung der individuellen Dosen auf Werte unterhalb des Referenzwerts. Expositionen unterhalb des Referenzwerts sollen jedoch nicht ignoriert werden; vielmehr sollen die Gegebenheiten dieser Expositionen ebenfalls bewertet werden, um festzustellen, ob der Schutz optimiert ist oder ob weitere Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Ein Endpunkt für den Opti-

mierungsprozess darf nicht a priori fixiert werden; der optimierte Schutzgrad wird situationsabhängig sein. Die Entscheidung über den Rechtsstatus des Referenzwerts, der zur Regulierung einer gegebenen Situation eingeführt wird, liegt im Verantwortungsbereich der Behörden. Wenn Schutzmaßnahmen bereits eingeführt wurden, können Referenzwerte retrospektiv, auch als Bezugsgrößen für die Bewertung der Wirksamkeit der Schutzstrategien verwendet werden. Die Verwendung von Referenzwerten in einer bestehenden Situation ist in der Abbildung 4 dargestellt. Sie zeigt die Entwicklung der Verteilung von individuellen Dosen über die Zeit als Ergebnis des Optimierungsverfahrens.

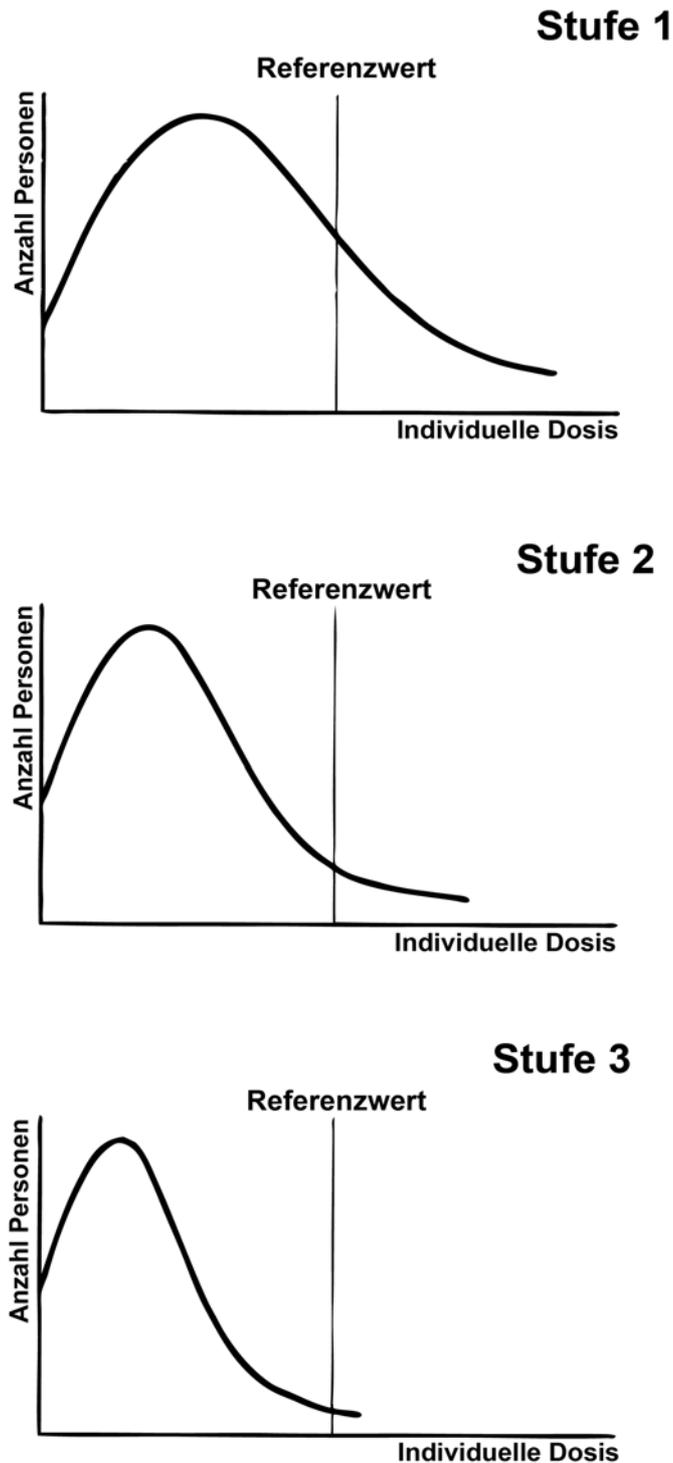


Abb. 4: Verwendung eines Referenzwerts bei einer bestehenden Expositionssituation und zeitlicher Verlauf der Verteilung individueller Dosen als Ergebnis des Optimierungsverfahrens

(287) Referenzwerte für bestehende Expositionssituationen sollen typischerweise im Bereich von 1 mSv bis 20 mSv für die zu erwartende Dosis festgelegt werden wie in den Abschnitten 5.9.2 and 5.9.3 und in der Tabelle 5 erläutert. Die betroffenen Personen sollen allgemeine Informationen über Expositionssituationen und die Möglichkeiten zur Verringerung ihrer Dosen erhalten. In Situationen, in denen der individuelle Lebensstil entscheidend für die Expositionen ist, können die Überwachung oder Abschätzung der individuellen Dosen sowie Aufklärung und Schulung wichtige Voraussetzungen hierfür sein. Das Leben in kontaminierten Gebieten nach einem kerntechnischen Unfall oder einem radiologischen Ereignis ist eine typische Situation dieser Art.

(288) Die wichtigsten Faktoren, die bei der Festlegung der Referenzwerte für bestehende Expositionssituationen in Betracht zu ziehen sind, sind die Durchführbarkeit, die Kontrollierbarkeit der Situation und die Erfahrungen mit der Bewältigung vergleichbarer Situationen in der Vergangenheit. In den meisten bestehenden Expositionssituationen streben sowohl die exponierte Person als auch die Behörden eine Expositionsverringerung auf Werte an, die als „normal“ gelten, dem nahe kommen oder vergleichbar sind. Dies gilt insbesondere für Expositionen durch Stoffe, die durch menschliche Handlungen zustande kommen, z.B. Rückstände von natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen („naturally occurring radioactive material“, NORM) sowie Kontamination durch Unfälle.

6.3.1 Radon in Wohnungen und an Arbeitsplätzen

(289) Expositionen durch Radon in Wohnungen und an Arbeitsplätzen können aus bestehenden Expositionssituationen oder aus Tätigkeiten wie z.B. der Lagerung oder Verarbeitung von Monazitsanden hervorgehen. Die Kommission hat bereits spezifische Empfehlungen für Radonexpositionen gegeben (ICRP, 1993b). Seither haben mehrere epidemiologische Studien bestätigt, dass die Exposition durch Radon-222 selbst bei relativ moderaten Konzentrationen mit einem Risiko behaftet ist (UNSCEAR, 2008). Auch aus Fall-Kontroll-Studien für Wohnungen in Europa, den USA und China geht hervor, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Lungenkrebs-Risiko und der Exposition durch Radon-222 in den Wohnräumen besteht (Darby et al., 2006, Krewski et al., 2006, Lubin et al., 2004). Die Empfehlungen der Kommission zum Schutz vor Radon werden durch diese Studien generell gestützt.

(290) Es besteht inzwischen eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen den Risiko-Abschätzungen, die aus epidemiologischen Untersuchungen an Bergarbeitern gewonnen wurden und Fall-Kontroll-Studien zu Radon im häuslichen Bereich. Während die Untersuchungen an Bergarbeitern eine solide Grundlage für die Bewertung von Risiken der Radonexposition und für die Untersuchung der Wirkungen von Modifikatoren auf die Dosis-Wirkungs-Beziehung ermöglichen, liefern die jüngsten Metaanalysen zu Radon im häuslichen Bereich eine direkte Methode zur Abschätzung von Risiken, denen Menschen zuhause ausgesetzt sind, ohne dass es einer Extrapolation aus Bergarbeiter-Studien bedarf (UNSCEAR, 2008).

(291) Bisher hat die Kommission die Ansicht vertreten, dass die Abschätzung des Radon-Risikos epidemiologische Untersuchungen an Bergarbeitern einschließen soll. Angesichts der Fülle der mittlerweile verfügbaren Daten über die Radonexposition in Wohnungen empfiehlt die Kommission, dass die Abschätzung des Risikos durch Radonexposition in Wohnungen die Ergebnisse gepoolter Fall-Kontroll-Studien zu Radon-222 im häuslichen Bereich umfassen soll. Die epidemiologischen Studien über Bergarbeiter sind aber nach wie vor wertvoll für Untersuchungen der Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowie von Wechselwirkungen mit dem Rauchen und der Exposition durch andere Wirkstoffe. Die gegenwärtig verfügbaren epidemiologischen Daten weisen darauf hin, dass andere Risiken

außer dem Lungenkrebsrisiko durch Exposition durch Radon-222 und seine Zerfallsprodukte wahrscheinlich gering sind.

(292) Die übergeordnete Fragestellung, die den Empfehlungen der Kommission in Bezug auf Radon zugrunde liegt, ist die Kontrollierbarkeit der Exposition. Diese ist das Unterscheidungsmerkmal für die Umstände, unter denen Radonexposition an Arbeitsplätzen, einschließlich des Untertage-Bergbaus, möglicherweise dem Schutzsystem der Kommission zu unterziehen sind und Handlungsbedarf im Sinne einer Begrenzung der Radonexposition in Wohnungen zu erwägen ist. Es gibt mehrere Gründe für diese gesonderte Behandlung von Radon-222. Der Expositionspfad unterscheidet sich von demjenigen anderer natürlicher Quellen, und es gibt dosimetrische und epidemiologische Fragestellungen, die für Radon-222 spezifisch sind. Für viele Menschen ist Radon-222 eine wichtige Expositionsquelle, die sich im Prinzip kontrollieren lässt. Die Kommission hat die aktuellen Empfehlungen für den Schutz vor Radon-222 im häuslichen Bereich und am Arbeitsplatz in ICRP 65 (1993b) herausgegeben. Diese Verfahrensweise hat breite Akzeptanz gefunden und die gegenwärtigen Empfehlungen führen diese allgemein fort, wobei das Verfahren dem neuen auf Expositionssituationen beruhenden Ansatz angepasst wurde und dem Optimierungsgrundsatz sowie der Anwendung von Referenzwerten eine zentrale Rolle zukommt.

(293) In ICRP 65 (1993b) beruhte die Verfahrensweise darauf, dass zunächst ein Wert der effektiven Dosis auf 10 mSv pro Jahr durch Radon-222 festgelegt wurde, bei dem Maßnahmen, um die Exposition zu verringern, nahezu sicher angezeigt wären. Von den Behörden wurde erwartet, dass sie die Optimierung des Schutzes in allgemeiner Art anwenden, um einen niedrigeren Wert für Interventionen im Bereich von 3 bis 10 mSv zu ermöglichen. Die effektive Dosis wurde aufgrund einer Dosiskonversions-Konvention in einen Wert der Radon-222-Konzentration umgerechnet, der für Wohnungen und Arbeitsplätze differierte, im Wesentlichen wegen der verschiedenen Zeitdauern, die dort jeweils verbracht werden. Für Wohnungen lag dieser Bereich der Radonkonzentration zwischen 200 und 600 Bq m⁻³, für Arbeitsplätze zwischen 500–1500 Bq m⁻³. Das Ergebnis der Optimierung war die Festlegung von Aktionswerten^K, d.h. Werten, bei deren Überschreitung Maßnahmen zur Dosisverringering erforderlich waren.

(294) Heute empfiehlt die Kommission die Anwendung der quellenbezogenen Grundsätze des Strahlenschutzes zur Begrenzung der Radonexposition. Das bedeutet, dass nationale Behörden im Sinne der Optimierung des Schutzes nationale Referenzwerte festlegen müssen. Obgleich das nominelle Risiko pro Sv sich geringfügig geändert hat, bleibt die Kommission im Sinne der Kontinuität und Praktikabilität bei dem oberen Wert von 10 mSv für den Referenzwert der Dosis einer Einzelperson und den entsprechenden Aktivitätskonzentrationen, die in ICRP 65 (1993b) angegeben sind. Die oberen Grenzen der Referenzwerte, ausgedrückt als Aktivitätskonzentration, bleiben somit bei 1500 Bq m⁻³ für Arbeitsplätze und 600 Bq m⁻³ für Wohnungen (Tabelle 7).

(295) Die Festlegung eigener nationaler Referenzwerte unter Berücksichtigung der jeweils existierenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedingungen und die anschließende Durchführung des Verfahrens zur Optimierung des Schutzes liegt – wie bei anderen Quellen auch – im Verantwortungsbereich der zuständigen nationalen Behörden. Es sollen alle erdenklichen Anstrengungen unternommen werden, um Radonexpositionen in Wohnungen und an Arbeitsplätzen auf Werte unterhalb der auf nationaler Ebene festgelegten Referenzwerte zu verringern auf ein Niveau, bei dem der Schutz als optimiert betrachtet werden kann. Die getroffenen Maßnahmen sollen eine substanzielle Verringe-

^K „action level“. In der deutschen Übersetzung der ICRP 60 „Aktionsschwelle“. Abweichend davon wird für die neuen Empfehlungen die Übersetzung „Aktionswert“ verwendet. A. d. Ü.

rung der Radonexpositionen zum Ziel haben. Es ist nicht ausreichend, lediglich marginale Verbesserungen vorzunehmen, die nur darauf abzielen, die Radonkonzentration auf einen Wert knapp unter die nationalen Referenzwerte zu verringern.

Tabelle 7: Referenzwerte für Radon-222^a

Situation	Oberer Referenzwert: Aktivitätskonzentration
Wohnungen	600 Bq m ⁻³
Arbeitsplätze	1500 Bq m ⁻³

^a Mutternuklid der Zerfallskette

(296) Die Durchführung des Optimierungsverfahrens soll zu Aktivitätskonzentrationen unterhalb der nationalen Referenzwerte führen. Im Allgemeinen wird keine weitere Maßnahme außer vielleicht der sporadischen Überwachung der Aktivitätskonzentrationen erforderlich sein, um sicherzustellen, dass die Werte niedrig bleiben. Die nationalen Behörden sollen jedoch die Werte der nationalen Referenzwerte für Radonexpositionen periodisch überprüfen, um sicherzustellen, dass diese angemessen bleiben.

(297) Die Verantwortung dafür, dass Maßnahmen gegen Radon in Häusern und anderen Gebäuden getroffen werden, obliegt häufig den Eigentümern, von denen die Durchführung detaillierter Optimierungsmaßnahmen für jedes Eigentumsobjekt nicht erwartet werden kann. Daher kann von den Behörden erwartet werden, dass sie zusätzlich zur Festlegung von Referenzwerten auch Werte angeben, bei denen der Schutz vor Radon-222 als optimiert angesehen werden kann, und kein weiterer Handlungsbedarf besteht. Die Kommission ist nach wie vor der Ansicht, dass es von Vorteil ist, radongefährdete Gebiete zu definieren, in denen die Radonkonzentration in Gebäuden wahrscheinlich über dem Wert liegt, der für das gesamte Staatsgebiet typisch ist. Dies ermöglicht das Fokussieren der Aufmerksamkeit auf Radon dort, wo dies am dringendsten ist, und Maßnahmen dort zu konzentrieren, wo sie mit größter Wahrscheinlichkeit wirksam werden (ICRP, 1993b).

(298) Die Exposition durch Radon am Arbeitsplatz soll dann und nur dann als Teil der beruflichen Exposition betrachtet werden, wenn sie die nationalen Referenzwerte überschreitet. Im Sinne der internationalen Harmonisierung der beruflichen Sicherheitsstandards wurde in den Basic Safety Standards der IAEA (IAEA, 1996) ein Aktionswert von 1000 Bq m⁻³ festgelegt. Aus demselben Grund ist die Kommission der Ansicht, dass dieser international festgelegte Wert, der in der aktuellen Terminologie ein Referenzwert ist, weltweit verwendet werden kann, um die Notwendigkeit für berufliche Schutzanforderungen für Radon-Expositionssituationen festzulegen. In der Tat dient dieser internationale Wert als vielfach benötigtes, global harmonisiertes Überwachungs- und Aufzeichnungssystem. Dies ist relevant, wenn es darum geht festzulegen, wann die beruflichen Strahlenschutzanforderungen anwendbar sind, d.h. was das System der behördlichen Kontrolle tatsächlich beinhaltet. Auf dieser Grundlage legen die BSS Grenzwerte der Zufuhr und Expositionen für Radon- und Thoron-Folgeprodukte fest (siehe Tabelle II.1 in IAEA, 1996).

6.4 Schutz des Embryo/Fötus in Notfall- und bestehenden Expositionssituationen

(299) In ICRP 82 (1999a) kam die Kommission zu dem Schluss, dass die pränatale Exposition keinen Sonderfall für den Strahlenschutz darstellt, d.h. keine anderen Schutzmaßnahmen erfordert als die, die für die Bevölkerung gelten. Der Schutz des Embryo/Fötus und des Säuglings/Kleinkinds wird im Abschnitt 5.4.1 erörtert. In ICRP 82 (1999a) hat die Kommission praktische Empfehlungen für Expositionen in utero gegeben. ICRP 88 (2001a) enthält Dosis-Koeffizienten für den Embryo/Fötus für Radionuklidzufuhren durch

die Mutter. In ICRP 90 (2003a) kam die Kommission zu dem Schluss, dass neuerdings verfügbare Daten zum In-utero-Risiko bei niedrigen Dosen die Empfehlungen in ICRP 60, 82, 84 und 88 (1991b, 1999a, 2000a, 2001a) stützen. Die Position der Kommission zu diesen Fragen bleibt unverändert.

6.5 Vergleich von Strahlenschutzkriterien

(300) In Tabelle 8 sind die aktuell empfohlenen Werte für Strahlenschutzkriterien denen aus ICRP 60 (1991b) und den daraus abgeleiteten Veröffentlichungen gegenübergestellt. Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass die aktuellen Empfehlungen für geplante Expositionssituationen den bisherigen im Wesentlichen entsprechen. Bei bestehenden Expositionssituationen und Notfall-Expositionssituationen umspannen die aktuellen Empfehlungen im Allgemeinen die bisher empfohlenen Werte, sie sind aber breiter in ihrem Anwendungsbereich. Es ist zu beachten, dass die zitierten Werte in einigen Fällen in verschiedenen Größen angegeben werden, so werden z. B. bei Notfall-Expositionssituationen die Kriterien in ICRP 60 (1991b) als vermeidbare Dosis („Eingreifrichtwerte“ bzw. „Interventionsschwellen“) angegeben, während die Kriterien in den aktuellen Empfehlungen als Dosisinkrement (Referenzwerte) angegeben werden. Diese Unterschiede sind in der Tabelle 8 vermerkt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Strahlenschutzkriterien der Empfehlungen von 1990 und 2007 (Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Nummer der ICRP-Veröffentlichung; 1991b,c, 1992, 1993b, 1994b, 1997a,d, 1998b, 1999a, 2004b, 2005a,c)

Expositionskategorien (Veröffentlichungen)	Empfehlungen von 1990 und nachfolgende Veröffentlichungen	Empfehlungen von 2007
Geplante Expositionssituationen		
Grenzwerte der individuellen Dosis ^a		
Berufliche Exposition (60, 68, 75) einschließlich von Notfallmaßnahmen (96)	20 mSv/Jahr gemittelt über definierte Perioden von 5 Jahren ^c	20 mSv/ Jahr gemittelt über definierte Perioden von 5 Jahren ^c
– Augenlinse	150 mSv/ Jahr ^b	150 mSv/ Jahr ^b
– Haut	500 mSv/ Jahr ^b	500 mSv/ Jahr ^b
– Hände und Füße	500 mSv/ Jahr ^b	500 mSv/ Jahr ^b
– Schwangere, restliche Schwangerschaft	2 mSv Oberfläche Abdomen oder 1 mSv durch Radionuklidzufuhr	1 mSv Embryo / Fötus
Exposition der Bevölkerung (60)	1 mSv in einem Jahr	1 mSv in einem Jahr
– Augenlinse	15 mSv/ Jahr ^b	15 mSv/ Jahr ^b
– Haut	50 mSv/ Jahr ^b	50 mSv/ Jahr ^b
Dosisrichtwerte ^a		
Berufliche Exposition (60) Exposition der Bevölkerung (77, 81, 82)	≤20 mSv/Jahr	≤20 mSv/Jahr
– allgemein	–	festzulegen auf unter 1 mSv/ Jahr
– Beseitigung von radioaktivem Abfall	≤0,3 mSv/ Jahr	entsprechend der vorherr- schenden Situation
– Beseitigung von langlebigem radioaktivem Abfall	≤0,3 mSv/ Jahr	≤0,3 mSv/ Jahr
– Langzeitexposition	<~1 & ~0,3 mSv/ Jahr ^e	<~1 & ~0,3 mSv/ Jahr ^e

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Strahlenschutzkriterien der Empfehlungen von 1990 und 2007 (Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Nummer der ICRP-Veröffentlichung; 1991b,c, 1992, 1993b, 1994b, 1997a,d, 1998b, 1999a, 2004b, 2005a,c)

Expositionskategorien (Veröffentlichungen)	Empfehlungen von 1990 und nachfolgende Veröffentlichungen	Empfehlungen von 2007
– Langzeitkomponente durch langlebige Nuklide	≤0,1 mSv/ Jahr ^g	≤0,1 mSv/ Jahr ^g
Medizinische Exposition (62, 94, 98)		
– Probanden in der biomedizinischen Forschung, sofern der Nutzen für die Gesellschaft		
geringfügig	< 0,1 mSv	< 0,1 mSv
intermediär	0,11 mSv	0,1 mSv
mäßig	1–10 mSv	1–10 mSv
substanziell ist.	> 10 mSv	> 10 mSv
– Betreuungs- und Begleitpersonen	– 5 mSv pro Episode	– 5 mSv pro Episode
Notfall-Expositionssituationen		
	Interventionsschwellen^{a, d, f}	Referenzwerte^{a, f}
berufliche Exposition (60, 96)		
– Lebensrettende Maßnahmen (über ihre Exposition unterrichtete Freiwillige)	Keine Dosisbeschränkungen ^h	Keine Dosisbeschränkungen, sofern der Nutzen für andere das Risiko des Retters überwiegt ⁱ
– andere dringende Rettungsmaßnahmen	~500 mSv; ~5 Sv (Haut) ^h	1000 or 500 mSv ⁱ
– andere Rettungsmaßnahmen	...	≤100 mSv ⁱ
Exposition der Bevölkerung (63, 96)		
Bevölkerungsexposition:		
– Nahrungsmittel	10 mSv/ Jahr ^k	
– Ausgabe von stabilem Jod	50–500 mSv (Schilddrüse) ^{b, k}	
– Aufenthalt in Gebäuden	5–50 mSv in 2 Tagen ^k	
– temporäre Evakuierung	50–500 mSv in 1 Woche ^k	
– dauerhafte Umsiedlung	100 mSv (1. Jahr) bzw. 1000 mSv ^k	
– alle Maßnahmen zusammen in einer Gesamt-Schutzstrategie	...	Bei der Planung typischerweise zwischen 20 und 100 mSv/ Jahr entsprechend der vorherrschenden Situation (siehe Abschnitte 5.9 und 6.2)
Bestehende Expositionssituationen		
	Aktionsschwellen^a	Referenzwerte^{a, l}
Radon (65)		
– zuhause	3–10 mSv/ Jahr (200–600 Bq m ⁻³)	<10 mSv/ Jahr (<600 Bq m ⁻³)
– am Arbeitsplatz	3–10 mSv/ Jahr (500–1500 Bq m ⁻³)	<10 mSv/ Jahr (<1500 Bq m ⁻³)

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Strahlenschutzkriterien der Empfehlungen von 1990 und 2007 (Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Nummer der ICRP-Veröffentlichung; 1991b,c, 1992, 1993b, 1994b, 1997a,d, 1998b, 1999a, 2004b, 2005a,c)

Expositionskategorien (Veröffentlichungen)	Empfehlungen von 1990 und nachfolgende Veröffentlichungen	Empfehlungen von 2007
	Generische Referenzschwellen (siehe Abschnitte 5.9 und 6.2)	Referenzwerte ^{c, l}
NORM, natürliche Hintergrundstrahlung, radioaktive Rückstände im menschlichen Lebensraum (82)		
Interventionen:		
– wahrscheinlich nicht gerechtfertigt	< ~ 10 mSv/ Jahr	Zwischen 1 und 20 mSv/ Jahr
– möglicherweise gerechtfertigt	> ~ 10 mSv/ Jahr	entsprechend der vorherrschenden Situation
– fast immer gerechtfertigt	bis zu 100 mSv/ Jahr	(Siehe Abschnitt 5.9.2)

^a effektive Dosis, sofern nicht anders angegeben

^b Organdosis

^c Mit der zusätzlichen Maßgabe, dass die effektive Dosis in keinem Jahr größer als 50 mSv sein soll. Weitere Beschränkungen gelten für die berufliche Exposition von Schwangeren. Bei Radionuklidzufuhr ist die Dosisgröße die effektive Folgedosis.

^d vermeidbare Dosis

^e Der Dosisrichtwert soll kleiner als 1 mSv sein, wobei ein Wert von nicht mehr als 0,3 mSv angemessen wäre.

^f Interventionsschwellen beziehen sich auf die vermeidbare Dosis bei spezifischen Maßnahmen. Interventionsschwellen gelten weiterhin für die Optimierung individueller Maßnahmen bei der Planung einer Schutzstrategie; während für den Vergleich mit Referenzwerten die verbleibende Dosis verwendet wird.

^g Zu erwägen, wenn keine Dosisabschätzungsmethoden vorliegen, um die Einhaltung (der Richtwerte) in jeder denkbaren Situation der Dosiskombination zu gewährleisten

^h ICRP 60 (1991b)

ⁱ ICRP 96 (2005a)

^k ICRP 63 (1992)

^l Referenzwerte beziehen sich auf die verbleibende Dosis. Sie werden zur Bewertung von Schutzstrategien verwendet. Im Gegensatz dazu wurden die bisher empfohlenen „Eingreifrichtwerte“ (intervention levels), auf die durch individuelle Schutzmaßnahmen vermiedenen Dosen bezogen.

6.6 Praktische Umsetzung

(301) In diesem Abschnitt geht es um die allgemeine Umsetzung der Empfehlungen der Kommission und die Faktoren, die den drei Arten von Expositionssituationen gemeinsam sind. Im Mittelpunkt stehen die organisatorischen Merkmale, die bei der Durchführung der Empfehlungen der Kommission hilfreich sein können. Da die Organisationsstrukturen von Land zu Land verschieden sein werden, sind die Ausführungen in diesem Kapitel eher exemplarisch und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) und die Kernenergiebehörde der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (NEA der OECD) beraten ihre Mitgliedsstaaten über die erforderliche Infrastruktur für den Strahlenschutz in verschiedenen Situationen (z. B. IAEA, 1996, 2000a, 2002 und NEA, 2005). Allgemeine Hinweise zur Organisation für Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz geben die Internationale Arbeitsorganisation (ILO), die Weltgesundheitsorganisation (WHO) und die Pan-American Health Organization.

6.6.1 Infrastruktur für Strahlenschutz und Strahlensicherheit

(302) Es bedarf einer Infrastruktur, um sicherzustellen, dass ein angemessener Schutzstandard aufrechterhalten wird. Zu dieser Infrastruktur gehören wenigstens ein rechtlicher Rahmen, eine Regelungsbehörde, die Betriebsleitung eines jeden Unternehmens, das mit ionisierender Strahlung (einschließlich der Planung, Durchführung und Entsorgung der Einrichtungen und Anlagen sowie hinzukommender Erhöhung natürlicher Strahlung einschließlich der Luft- und Raumfahrt) umgeht, und die Arbeitnehmer in solchen Unternehmen. Die Infrastruktur kann zusätzliche Organisationen und Personen umfassen, die für den Schutz und die Sicherheit verantwortlich sind.

(303) Der rechtliche Rahmen muss, soweit erforderlich, Bestimmungen für Unternehmen, die mit ionisierender Strahlung umgehen, sowie die klare Zuweisung von Verantwortlichkeiten für den Schutz und die Sicherheit vorgeben. Eine Regelungsbehörde muss für die Kontrolle von Unternehmen, die mit Strahlung umgehen, und – wann immer dies erforderlich ist – für die Durchführung der Bestimmungen verantwortlich sein. Die Zuständigkeiten dieser Behörde müssen von denen derjenigen Organisationen klar getrennt sein, die Aktivitäten durchführen oder fördern, die eine Strahlenexposition verursachen.

(304) Die Natur von Strahlengefahren erfordert eine Reihe besonderer Merkmale im Rechtssystem sowie die Bereitstellung von Sachkenntnis innerhalb der Behörde. Es ist wichtig, dass radiologische Fragen präzise formuliert werden, dass die geeignete Sachkenntnis verfügbar ist und dass Entscheidungen zur Strahlensicherheit nicht ungebührlich durch wirtschaftliche oder andere nichtradiologische Erwägungen beeinflusst werden können.

(305) Die Hauptverantwortung für die Erlangung und Aufrechterhaltung einer zufriedenstellenden Kontrolle von Strahlenexpositionen obliegt den Betriebsleitungen derjenigen Einrichtungen, die Tätigkeiten durchführen, die Expositionen verursachen. Wenn die Ausrüstung oder die gesamte Anlage von anderen Einrichtungen geplant oder geliefert wird, sind diese ihrerseits dafür verantwortlich, dass die gelieferten Gegenstände bei bestimmungsgemäßer Verwendung zufrieden stellend funktionieren. Den Regierungen obliegt die Verantwortung für die Einsetzung staatlicher Behörden, die dafür verantwortlich sind, ein Rechtssystem und oft auch ein Beratungssystem zu schaffen, um die Verantwortlichkeiten der Betreiber zu betonen, während gleichzeitig umfassende Schutzstandards festgelegt und in Kraft gesetzt werden. Es kann ihnen auch die Aufgabe zukommen, direkt Verantwortung zu übernehmen, wenn keine zuständige Betriebsleitung existiert, wie es bei Expositionen durch viele natürliche Quellen der Fall ist.

(306) Es gibt verschiedene Gründe dafür, dass eine zuständige Betriebsleitung möglicherweise nicht zur Verfügung steht, zum Beispiel dann, wenn die Strahlung durch keinerlei menschliche Handlungen hervorgerufen oder eine Aktivität aufgegeben wurde und wenn die Eigentümer nicht zu ermitteln sind. In solchen Fällen wird die nationale Behörde oder eine bestimmte dafür bezeichnete Organisation einige von den Aufgaben zu übernehmen haben, die gewöhnlich von der Betriebsleitung durchgeführt werden.

(307) Bei allen Organisationen werden die Verantwortlichkeiten und die damit verbundene Befugnisse soweit delegiert, wie es die Komplexität der darin enthaltenen Verpflichtungen erlaubt. Das Funktionieren dieser Delegierung soll regelmäßig überprüft werden. Die Rechenschaftspflicht für geeignete Schutzvorkehrungen verbleibt jedoch bei der Leitung der Organisation, denn die Delegierung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten entbindet nicht von dieser Rechenschaftspflicht. Es soll eine klare Abfolge für die Rechenschaftspflicht bestehen, die bis hin zur Leitung jeder Organisation reicht. Es gibt auch eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Organisationen. Auch beratende Stellen und

Behörden sollen für den Rat, den sie erteilen und für jede Anforderung, die sie auferlegen, zur Rechenschaft gezogen werden können.

(308) Anforderungen, Betriebsanleitungen, behördliche Zulassungen und Genehmigungen sowie andere Verwaltungsinstrumente reichen allein nicht aus, um einen angemessenen Standard des Strahlenschutzes zu erreichen. Jede Person in einem Unternehmen – von den einzelnen Beschäftigten und ihrer Personalvertretung bis hin zur Geschäftsleitung – soll den Schutz und die Notfallvorsorge als wesentliche Bestandteile ihrer Tagesaufgaben ansehen. Erfolg und Versagen in diesen Bereichen spielen mindestens die gleiche Rolle wie in der Hauptfunktion des Unternehmens.

(309) Die Auferlegung von Anforderungen, die allgemein gehalten sind, und die Annahme von Ratschlägen mindern nicht die Verantwortlichkeit oder die Rechenschaftspflicht der Betreiber. Dies ist im Grundsatz auch zutreffend für Ausführungsbestimmungen, bei denen die Behörde im Einzelnen vorschreibt, wie Schutzstandards zu erhalten sind. Ausführungsbestimmungen, die die Betriebsweise betreffen, führen jedoch de facto dazu, dass die Verantwortlichkeit und die Rechenschaftspflicht vom Anwender auf die Behörde übertragen werden. Auf lange Sicht wird dadurch auch für den Anwender der Anreiz zur Verbesserung abgeschwächt. Es ist daher gewöhnlich besser, ein behördliches Regime anzunehmen, das dem Anwender ausdrücklich Verantwortung überträgt und ihn verpflichtet, die Behörde davon zu überzeugen, dass angemessene Schutzmethoden und -standards zur Anwendung kommen und aufrecht erhalten werden.

(310) Die Verwendung von Ausführungsbestimmungen soll daher stets sorgfältig gerechtfertigt werden. In keinem Fall sollen sie als Alternative für den Vorgang der Optimierung des Schutzes betrachtet werden. Es ist nicht ausreichend, Planungs- und Betriebsgrenzwerte oder Zielvorgaben als einen willkürlichen Bruchteil des Dosisgrenzwertes zu nehmen, ohne die besondere Art der Anlage und des Betriebes zu beachten.

6.6.2 Sachkenntnis und Rat von außen, Delegieren von Befugnissen

(311) Die Hauptverantwortung für den Strahlenschutz und die Strahlensicherheit in einem Unternehmen, das mit ionisierender Strahlung umgeht, obliegt der Betriebsleitung. Um diese Verantwortung zu übernehmen, benötigt die Einrichtung Sachkenntnisse im Strahlenschutz. Es ist nicht immer notwendig oder vernünftig zu verlangen, dass diese Sachkenntnis innerhalb der Betriebsorganisation verfügbar ist. Alternativ kann es für die Betriebsorganisation annehmbar und empfehlenswert sein, Berater und beratende Organisationen einzuschalten, insbesondere dann, wenn die Betriebsorganisation klein ist und die Strahlenschutzfragen von begrenzter Komplexität sind.

(312) Ein solches Vorgehen wird die Betriebsorganisation in keinem Fall von ihrer Verantwortung entlasten. Die Rolle eines Beraters oder einer beratenden Organisation wird darin bestehen, Information und Rat nach Notwendigkeit zu erteilen. Es bleibt die Verantwortung der Betriebsorganisation, Entscheidungen und Maßnahmen auf der Grundlage solcher Ratschläge zu treffen, und die einzelnen Arbeitnehmer sind gehalten, die „Sicherheitskultur“ zu befolgen, indem sie sich beständig fragen, ob sie alles getan haben, was sie vernünftigerweise tun können, um einen sicheren Betrieb zu verwirklichen.

(313) Gleichermaßen wird der Einsatz von Beratern oder Beratungsgremien auch die Verantwortlichkeit der Behörde in keiner Weise mindern oder verändern. Darüber hinaus ist es, wenn die Behörde Berater einschaltet, besonders wichtig, dass diese frei von jeglichen Interessenkonflikten und in der Lage sind, unvoreingenommen zu beraten. Die Notwendigkeit der Transparenz bei der Entscheidungsfindung soll ebenfalls bedacht werden.

6.6.3 Berichterstattung über Zwischenfälle

(314) Eine routinemäßige Berichterstattung über Zwischenfälle und Unfälle mit Rückmeldung an die Anwender ist unerlässlich für den Notfallschutz. Ein solches System kann nur auf der Basis gegenseitigen Vertrauens funktionieren und zielführend sein. Die förmliche Bestätigung des Vertrauens einer Behörde in einen Anwender stellt das Genehmigungsverfahren dar. Für die Betriebsorganisationen ist es jedoch ebenso notwendig, der Behörde vertrauen zu können. Eine Hauptanforderung besteht darin, alle Anwender fair und in gleicher Weise zu behandeln. Die ehrliche Berichterstattung über ein Problem, kombiniert mit unverzüglichen Maßnahmen zur Besserung der Lage, soll gefördert und nicht geahndet werden.

6.6.4 Anforderungen an die Leitung

(315) Der erste und vielfach wichtigste der praktischen Schritte bei der Umsetzung der Empfehlungen der Kommission ist das Erarbeiten einer sicherheitsbasierten Haltung bei jeder einzelnen Person, die mit einer der zahlreichen Tätigkeiten von der Planung bis zur Entsorgung befasst ist. Dies kann nur erreicht werden durch eine ernsthafte Verpflichtung zur Schulung und die Anerkennung der persönlichen Verantwortlichkeit für Sicherheit, die von größtem Belang für die Geschäftsleitung ist.

(316) Die ausdrückliche Verpflichtung einer Einrichtung zur Sicherheit soll durch verfahrenstechnische Feststellungen, die auf der Ebene der Geschäftsleitung schriftlich niedergelegt werden, zum Ausdruck gebracht werden sowie durch die Errichtung formeller Führungsstrukturen für den Umgang mit dem Strahlenschutz, durch die Herausgabe von klaren Betriebsanweisungen und durch klare und nachweisbare Unterstützung derjenigen Personen, die für den Strahlenschutz für den Arbeitsplatz und die Umwelt direkt verantwortlich sind (ICRP 75, 1997a). Um diese Verpflichtung in effektive Maßnahmen umzusetzen, soll die Geschäftsführung geeignete Planungs- und Betriebskriterien benennen, organisatorische Maßnahmen definieren, klare Verantwortlichkeiten zuweisen um diese Verfahrenswesen in Kraft zu setzen, und eine Kultur schaffen, in der alle Personen innerhalb der Einrichtung die Bedeutung der Begrenzung sowohl normaler als auch potenzieller Strahlenexpositionen anerkennen.

(317) Es sollen Pläne für den Umgang mit Unfällen und Notfällen bestehen. Diese Pläne sollen regelmäßigen Überprüfungen und praktischen Übungen unterliegen und als Managementanforderungen schriftlich niedergelegt werden. Die Planung für Notfälle soll integraler Bestandteil normaler Betriebsverfahren sein. Etwaige Verlagerungen der Verantwortlichkeit, z. B. von der üblichen Leitungsstruktur auf einen Einsatzleiter für Notfallsituationen, sollen im Voraus geplant werden. Die Umsetzung neuer Erkenntnisse soll eingefordert und durch die Einführung geeigneter Mechanismen ermöglicht werden.

(318) Die Vorgehensweise in der Organisation soll alle Beschäftigten beteiligen und einbeziehen. Dies wird unterstützt durch eine effektive Kommunikation und die Förderung der Kompetenzen, die alle Beschäftigten in die Lage versetzen, einen verantwortlichen und sachkundigen Beitrag zu Gesundheits- und Sicherheitsbestrebungen zu leisten. Die sichtbare und aktive Führung durch die Geschäftsführung ist notwendig, um eine Kultur zu entwickeln und zu erhalten, die gesundheits- und sicherheitsförderlich ist. Das Ziel ist nicht einfach nur Unfälle zu vermeiden, sondern auch zu motivieren und Beschäftigte in die Lage zu versetzen, sicher zu arbeiten. Es ist wichtig, dass das Management Abläufe sicherstellt, bei denen die Beschäftigten bei Strahlenschutz-Problemen ein Feedback geben und dass sie bei der Entwicklung von Methoden, die gewährleisten, dass die Dosen so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar sind, voll eingebunden sind.

(319) Eine weitere, üblicherweise bei der Geschäftsleitung liegende Verantwortung ist es, dafür zu sorgen, dass betriebliche Dienste, die sich mit dem Schutz und der Gesundheit befassen, in Anspruch genommen werden können. Der Schutzdienst soll fachlichen Rat erteilen und alle notwendigen Überwachungen ausführen, die der Komplexität der Tätigkeit und ihren potenziellen Gefahren angemessen sind. Der Leiter des Schutzdienstes soll direkten Zugang zur Geschäftsführung haben. Die grundsätzliche Rolle des betriebsärztlichen Dienstes ist hier die gleiche wie bei jeder anderen Beschäftigung.

6.6.5 Übereinstimmung mit dem beabsichtigten Schutzstandard

(320) Die Messung oder Abschätzung von Dosen ist für die Praxis des Strahlenschutzes grundlegend. Weder die Organdosis noch die effektive Dosis können direkt gemessen werden. Werte dieser Größen müssen mit Hilfe von Modellen hergeleitet werden, die gewöhnlich Umwelt-, Stoffwechsel- und Dosimetriekomponenten enthalten. Im Idealfall sollen diese Modelle und die für ihre Parameter ausgewählten Daten realistisch sein, so dass ihre Ergebnisse als „beste Schätzungen“ beschrieben werden können. Wenn möglich, sollen die in diesen Ergebnissen enthaltenen Unsicherheiten abgeschätzt werden. (siehe Abschnitt 4.4).

(321) Alle mit dem Strahlenschutz befassten Organisationen sollen verpflichtet sein zu prüfen, ob Übereinstimmung mit ihren eigenen Zielen und Verfahren besteht. Die Betriebsleitung soll ein System zur Überprüfung ihrer Organisationsstruktur und ihrer Verfahren analog zur finanziellen Revision aufstellen. Nationale Behörden sollen ähnliche interne Revisionen durchführen und sollen die zusätzliche Pflicht und die Befugnis haben, sowohl den von den Betrieben erreichten Schutzgrad als auch den Grad der Übereinstimmung mit den behördlichen Weisungen zu bestimmen. Alle diese Verifizierungsmaßnahmen sollen auch die potenziellen Expositionen durch eine Überprüfung der Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigen. Verifizierungsmaßnahmen sollen eine Überprüfung der Qualitätssicherungsprogramme und eine gewisse Form der Inspektion beinhalten. Jedoch ist die Inspektion eine Art Stichprobe - sie kann nicht alle Eventualitäten abdecken. Sie wird am besten als ein Mechanismus angesehen, die Überprüften davon zu überzeugen, ihr eigenes Haus in Ordnung zu bringen und in Ordnung zu halten.

6.7 Literatur

Darby, S., Hill, D., Deo, H., et al., 2006. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand. J. Work Environ. Health* 32 (Suppl. 1), 1– 84.

IAEA, 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115. STI/PUB/996. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

IAEA, 2000a. Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety. Safety Requirements; Safety Standards GS-R-1. STI/PUB/1093. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

IAEA, 2000b. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment. Safety Guide WS-G2.3. STI/PUB/1088. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

IAEA, 2002. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements, Safety Standards Series No. GS-R-2. STI/PUB/1133. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

IAEA, 2004. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21(1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993

ICRP, 1991c. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62. Ann. ICRP 22 (3). ICRP, 1992. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63. Ann. ICRP 22 (4).

deutsch:

Strahlenschutz – Grundsätze für die Intervention zum Schutz der Bevölkerung im Strahlennotfall. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichungen 62 und 63. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm 1996

ICRP, 1993a. Protection from potential exposure: a conceptual framework. ICRP Publication 64. Ann. ICRP 23 (1).

ICRP, 1993b. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).

deutsch:

Schutz vor Radon-222 zu Hause und am Arbeitsplatz. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 65. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1996

ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24 (4).

ICRP, 1997a. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75. Ann. ICRP 27(1).

ICRP, 1997b. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2).

ICRP, 1997d. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Ann. ICRP 27 (Suppl).

ICRP, 1998b. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28 (4).

ICRP, 1999a. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1–2).

ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).

ICRP, 2001a. Doses to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31(1–3).

ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).

ICRP, 2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34 (2).

ICRP, 2005a. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35 (1).

ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35 (2).

ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35 (3).

ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M., et al., 2006. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 69, 533–597. Lubin, J.H., Wang, Z.Y., Boice Jr., J.D., et al., 2004. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int. J. Cancer* 109 (1), 132–137.

NEA, 2005. Nuclear Regulatory Decision Making. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France.

UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol. II: Effects. United Nations, New York, NY.

UNSCEAR, 2008. Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York, NY.

7. Medizinische Strahlenexpositionen von Patienten, Begleit- und Betreuungspersonen (Helfende Personen) sowie Probanden in der biomedizinischen Forschung

(322) Medizinische Strahlenexpositionen betreffen vorwiegend Personen (Patienten), die sich diagnostischen Untersuchungen, interventionellen Maßnahmen oder einer Strahlentherapie unterziehen. Auch Personen, die Patienten begleiten oder betreuen, werden strahlenexponiert. Zu diesen gehören Eltern und andere Personen, normalerweise Familienmitglieder oder enge Freunde, die Kinder während diagnostischer Verfahren halten oder Patienten nach der Verabreichung von Radiopharmaka oder während einer Brachytherapie nahekommen. Expositionen von Personen der allgemeinen Bevölkerung durch entlassene Patienten kommen ebenfalls vor, sind aber meist sehr gering. Darüber hinaus werden an Probanden in der biomedizinischen Forschung häufig medizinischen Verfahren angewendet, die bezüglich der Strahlenexposition mit denjenigen von Patienten vergleichbar sind. Alle diese Expositionsarten werden als medizinische Exposition bezeichnet. Das vorliegende Kapitel bezieht sich insbesondere auf folgende:

- die Expositionen einzelner Personen zu diagnostischen, interventionellen und therapeutischen Zwecken, einschließlich der Exposition von Embryonen/Föten oder Säuglingen infolge von medizinischen Expositionen schwangerer oder stillender Patientinnen,
- Expositionen (mit Ausnahme von beruflichen Expositionen), denen sich Personen wie z.B. Familienmitglieder oder enge Freunde wissentlich und willentlich aussetzen, während sie entweder in der Klinik oder zuhause Patienten während einer diagnostischen oder therapeutischen Strahlenanwendung begleiten und betreuen,
- Expositionen von Probanden im Rahmen der biomedizinischen Forschung, ohne dass für sie hiermit ein direkter Nutzen verbunden ist.

(323) Strahlenexpositionen von Patienten in der Medizin erfordern einen anderen Strahlenschutzansatz als andere geplante Expositionssituationen. Die Exposition erfolgt absichtlich und zum direkten Nutzen des Patienten. In der Strahlentherapie wird die biologische Wirkung einer hoch dosierten Bestrahlung (z.B. Zelltötung) zum Nutzen des Patienten eingesetzt, um Krebs oder andere Erkrankungen zu behandeln. Die Empfehlungen der Kommission bedürfen daher gesonderter Erläuterungen im Hinblick auf ihre Umsetzung bei medizinischen Strahlenanwendungen. Dies ist Gegenstand dieses Kapitels.

(324) Bei diagnostischen und interventionellen Verfahren geht es um die Vermeidung unnötiger Expositionen, während es bei der Strahlentherapie darauf ankommt, die erforderliche Dosis in dem zu behandelnden Volumen unter Vermeidung unnötiger Expositionen des gesunden Gewebes zu applizieren.

(325) Das Ziel ist, die Rechtfertigung medizinischer Verfahren und die Optimierung des Strahlenschutzes in Übereinstimmung mit den medizinischen Zwecken zu bringen. Die Empfehlungen der Kommission zum Strahlenschutz und zur Sicherheit in der Medizin sind in ICRP 73 (1996a) dargelegt und bleiben gültig. Diese Empfehlungen stellen die wichtigen Unterschiede dar, die zwischen der Umsetzung des Schutzsystems in der Medizin und der Umsetzung in den anderen beiden Expositions-kategorien (berufliche Exposition und Exposition der Bevölkerung) bestehen. Zu diesen Unterschieden gehören die folgenden:

- Der Grundsatz der Rechtfertigung gilt auf drei Ebenen in der Medizin wie im Absatz 7.1.1 beschrieben.
- Bei der Anwendung des Grundsatzes der Optimierung des Strahlenschutzes auf den Patienten beziehen sich Nutzen und Schaden auf dasselbe Individuum, den Patienten, dessen Dosis sich hauptsächlich aus den medizinischen Erfordernissen

ergibt. Die für berufliche Expositionen und Expositionen der Bevölkerung relevanten Dosisrichtwerte sind daher für Patienten nicht anwendbar. Gleichwohl bedarf es bezüglich der Patientenexposition gewisser Regelungen, so dass in ICRP 73 (1996a) die Anwendung von diagnostischen Referenzwerten empfohlen wird. Erläuterungen hierzu werden in der „Supporting Guidance 2“ (ICRP, 2001b) gegeben.

- Dosisgrenzwerte für den einzelnen Patienten werden nicht empfohlen, weil sie die Effektivität der Diagnostik oder Therapie reduzieren und damit mehr schaden als nutzen könnten. Der Schwerpunkt liegt deswegen auf der Rechtfertigung der medizinischen Verfahren und auf der Optimierung des medizinischen Strahlenschutzes.

(326) Das in ICRP 60 (1991b) eingeführte Rahmenkonzept des Strahlenschutzes wurde in einer Reihe von Veröffentlichungen weiter entwickelt, die nachfolgend angeführt werden. Die in diesen Veröffentlichungen gegebenen Empfehlungen, Erläuterungen und Ratschläge bleiben gültig und sind Bestandteil einer wachsenden Sammlung von Informationen zu medizinischen Expositionen, die von der Kommission zur Verfügung gestellt werden. [Siehe auch ICRP 105 (2007b)].

(327) Expositionen von Patienten sind beabsichtigt. Mit Ausnahme der Strahlentherapie besteht das Ziel nicht darin, eine Strahlendosis zu verabreichen, sondern darin, die Strahlung zu nutzen, um eine diagnostische Information zu erhalten oder eine interventionelle Maßnahme durchzuführen. Gleichwohl wird die Dosis absichtlich verabreicht und kann nicht beliebig verringert werden, ohne das beabsichtigte Ergebnis zu beeinträchtigen. Medizinische Strahlenanwendungen sind ihrer Natur nach freiwillig und mit der Erwartung eines direkten individuellen gesundheitlichen Nutzens für den Patienten verbunden. Der Patient bzw. ein Erziehungsberechtigter oder Vormund gibt hierzu seine Zustimmung bzw. sein Einverständnis. Entscheidungsgrundlage hierfür sind Informationen unterschiedlichen Umfangs nicht nur über den zu erwartenden Nutzen, sondern auch über die möglichen Risiken (einschließlich des Strahlenrisikos). Der Umfang der Information für die erforderliche Einverständniserklärung richtet sich nach der Höhe der Exposition (z.B. ob diagnostisch, interventionell oder therapeutisch) und nach den medizinischen Komplikationen, die aus der Strahlenexposition möglicherweise resultieren können.

(328) Ärzte und Angehörige anderer Gesundheitsberufe, die an den Strahlenanwendungen beteiligt sind, sollen über ausreichende Kenntnisse und praktische Erfahrungen im Strahlenschutz, einschließlich der physikalischen und biologischen Grundbegriffe, verfügen. Die letztendliche Verantwortung für medizinische Patientenexpositionen obliegt dem Arzt, der sich aus diesem Grund der Risiken und des Nutzens der verwendeten Verfahren bewusst sein soll.

(329) Medizinische Expositionen von Patienten durch externe Strahlung betreffen in der Regel nur einen begrenzten Teil des Körpers. Es ist wichtig, dass das medizinische Personal die Dosis in Normalgeweben innerhalb der bestrahlten Felder berücksichtigt. Es ist in solchen Situationen darauf zu achten, dass keine unerwünschten Gewebereaktionen auftreten.

7.1 Rechtfertigung medizinischer Verfahren

(330) Medizinische Strahlenexpositionen von Patienten erfordern eine andere und detailliertere Vorgehensweise beim Prozess der Rechtfertigung. Die medizinische Anwendung von Strahlung soll wie jede andere geplante Expositionssituation gerechtfertigt sein, auch wenn diese Rechtfertigung gewöhnlich durch Ärzte und nicht durch die Regierung oder Behörden erfolgt. Das wesentliche Ziel bei medizinischen Expositionen besteht darin, dem Patienten mehr zu nutzen als zu schaden, wobei ergänzend die mögliche Schädigung

des strahlenexponierten Personals und anderer Personen zu berücksichtigen ist. Die Verantwortung für die Rechtfertigung der Anwendung eines bestimmten Verfahrens obliegt den zuständigen Ärzten. Die Rechtfertigung medizinischer Verfahren bleibt daher wesentlicher Bestandteil der Empfehlungen der Kommission.

(331) Der Grundsatz der Rechtfertigung gilt bei der Strahlenanwendung in der Medizin auf drei Ebenen.

- Auf der ersten Ebene wird anerkannt, dass die Strahlenanwendung in der Medizin dem Patienten mehr nutzt als schadet. Diese Ebene der Rechtfertigung wird als gegeben angesehen und im Folgenden nicht weiter erörtert.
- Auf der zweiten Ebene wird ein spezifisches Verfahren mit einer bestimmten Zielsetzung definiert und gerechtfertigt (z.B. Thorax-Radiografien bei symptomatischen Patienten oder bei einer Gruppe von Personen mit einem besonderem Risiko für eine Erkrankung, die diagnostiziert und therapiert werden soll). Das Ziel der zweiten Ebene der Rechtfertigung besteht in der Beurteilung, ob die Strahlenanwendung normalerweise die Diagnostik oder Therapie verbessern oder notwendige Information über die exponierten Personen erbringen wird.
- Auf der dritten Ebene soll die Anwendung des Verfahrens bei einem bestimmten Patienten gerechtfertigt werden (d.h. es soll festgestellt werden, dass die jeweilige Anwendung dem individuellen Patienten mehr nutzt als schadet). Folglich soll jede einzelne medizinische Exposition unter Berücksichtigung der spezifischen Ziele der Strahlenanwendung und der Charakteristika der betroffenen Person vor der Untersuchung gerechtfertigt sein. Die zweite und dritte Ebene der Rechtfertigung werden im Folgenden erörtert.

7.1.1 Die Rechtfertigung eines bestimmten radiologischen Verfahrens (Ebene 2)

(332) Die Rechtfertigung eines radiologischen Verfahrens obliegt den nationalen und internationalen Fachgesellschaften, in Verbindung mit den nationalen Gesundheits- und Strahlenschutzbehörden sowie den jeweiligen internationalen Organisationen. Die Möglichkeit unfallbedingter oder unbeabsichtigter Expositionen soll dabei auch in Betracht gezogen werden. Die Entscheidungen sollen von Zeit zu Zeit überprüft werden, sobald weitere Informationen über Risiken und Wirksamkeit des jeweiligen Verfahrens sowie über neue Verfahren vorhanden sind.

7.1.2 Die Rechtfertigung eines Verfahrens für einen individuellen Patienten (Ebene 3)

(333) Bei der Rechtfertigung individueller Expositionen soll sichergestellt werden, dass die benötigte Information nicht bereits vorliegt und dass die vorgeschlagene Untersuchung die am besten geeignete Methode zur Beantwortung der klinischen Fragestellung ist. Bei dosisintensiven Untersuchungen, wie z.B. komplexen diagnostischen und interventionellen Verfahren, ist die individuelle Rechtfertigung besonders wichtig und soll alle verfügbaren Informationen berücksichtigen. Dazu gehören die Einzelheiten bezüglich des vorgeschlagenen sowie alternativer Verfahren, die Charakteristika des individuellen Patienten, die erwartete Dosis für den Patienten und die Verfügbarkeit von Informationen über vorausgegangene oder erwartete Untersuchungen oder Behandlungen. Oftmals wird es möglich sein, den Rechtfertigungsprozess durch die Vorabfestlegung von Überweisungskriterien und Patienten-Kategorien zu beschleunigen.

7.2 Optimierung des Schutzes bei medizinischen Expositionen

(334) Die Kommission verwendet nunmehr die gleiche konzeptionelle Verfahrensweise des quellenbezogenen Schutzes für alle Arten von Quellen. Im Fall der Exposition durch diagnostische und interventionelle medizinische Verfahren kommen diagnostische Referenzwerte mit dem Ziel der Optimierung des Schutzes zur Anwendung, die aber nicht der Beschränkung der Dosis bei einzelnen Patienten dienen. Vielmehr handelt es sich um einen Mechanismus zur Optimierung der Patientendosis entsprechend den medizinischen Zielsetzungen (siehe Abschnitt 7.2.1).

7.2.1 Diagnostische Referenzwerte

(335) Diagnostische Referenzwerte gelten für Strahlenexpositionen von Patienten durch bildgebende Verfahren, nicht für die Strahlentherapie. Sie sind nicht direkt verknüpft mit den numerischen Werten der Dosisgrenzwerte oder Dosisrichtwerte der Kommission. In der Praxis werden die Werte auf der Grundlage eines Perzentsils einer beobachteten Dosisverteilung für Patienten oder einen Referenzpatienten festgelegt. Die Festlegung soll durch medizinische Fachgremien in Verbindung mit nationalen Gesundheits- und Strahlenschutzbehörden getroffen und in regelmäßigen Zeitabständen überprüft werden, die einen Kompromiss zwischen der notwendigen Kontinuität und den langfristigen Veränderungen der beobachteten Dosisverteilungen darstellen. Die festgelegten Werte können für ein Land oder eine Region spezifisch sein.

(336) Diagnostische Referenzwerte werden bei der medizinischen Bildgebung verwendet, um zu prüfen, ob unter Routinebedingungen für ein bildgebendes Verfahren die Werte der daraus resultierenden Patientendosis oder die hierzu verabreichte Aktivität (Menge des radioaktiven Materials) ungewöhnlich hoch oder niedrig sind. Wenn das zutrifft, sollte vor Ort überprüft werden, ob der Strahlenschutz in angemessener Weise optimiert wurde oder ob Korrekturmaßnahmen erforderlich sind (ICRP, 1996a). Der diagnostische Referenzwert soll in einer leicht messbaren Größe ausgedrückt werden, die für das jeweilige Verfahren einen direkten Bezug zur Patientendosis aufweist. Screeningprogramme, wie z.B. die Mammografie bei symptomlosen Frauen der Bevölkerung, können diagnostische Referenzwerte erfordern, die sich von denen für die klinische Anwendung ähnlicher diagnostischer Verfahren unterscheiden. Weitere Erläuterungen sind in ICRP 105 (2007b) und in der "Supporting Guidance 2" (ICRP, 2001b) gegeben.

(337) Im Prinzip wäre es möglich, einen minimalen diagnostischen Referenzwert zu wählen, unterhalb dessen die Dosen zu niedrig wären, um eine hinreichende Bildqualität zu ermöglichen. Es ist jedoch schwierig, solche diagnostischen Referenzwerte festzulegen, da neben der Dosis auch andere Faktoren die Bildqualität beeinflussen. Dennoch soll, wenn die beobachteten Dosen oder verabreichten Aktivitäten beständig weit unter dem diagnostischen Referenzwert liegen, eine anwenderbezogene Überprüfung der Qualität der resultierenden Aufnahmen durchgeführt werden.

(338) Ausführliche Informationen über die Handhabung der Patientendosis bei interventionellen Verfahren unter Durchleuchtungskontrolle, der Computertomografie und der digitalen Radiologie sind in den Veröffentlichungen 85, 87, bzw. 93 (ICRP, 2000b, 2000d, 2004a) zu finden.

7.2.2 Strahlentherapie

(339) Bei der Strahlentherapie umfasst die Optimierung nicht nur die Erreichung der vorgeschriebenen Dosis im Tumor, sondern auch die Planung des Schutzes von gesunden

Gewebe außerhalb des Zielvolumens. Diese Aspekte der Strahlentherapie werden in ICRP 44 (1985a) erörtert.

7.3 Effektive Dosis bei medizinischen Expositionen

(340) Die Altersverteilungen für beruflich Strahlenexponierte und die Allgemeinbevölkerung (für die die effektive Dosis definiert ist) können sich von der Altersverteilung für Patienten, die sich medizinischen Verfahren mit ionisierender Strahlung unterziehen, durchaus unterscheiden. Die Altersverteilung selbst unterscheidet sich für verschiedene medizinische Verfahren in Abhängigkeit von der Prävalenz der Personen mit der zu diagnostizierenden Erkrankung. Aus diesen Gründen werden Risikoabschätzungen für medizinische Untersuchungen und Behandlungen mittels ionisierender Strahlung am besten unter Verwendung geeigneter Risikowerte für die gefährdeten Gewebe durchgeführt, die die jeweilige Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten berücksichtigen. Die effektive Dosis kann von Wert sein, wenn es darum geht, die relativen Dosen verschiedener diagnostischer Verfahren bzw. die Anwendung ähnlicher Technologien und Verfahren in verschiedenen Kliniken und Ländern, sowie die Anwendung verschiedener Technologien für die gleiche medizinische Untersuchung zu vergleichen – vorausgesetzt, dass der Referenzpatient bzw. die Patientenpopulationen hinsichtlich Alter und Geschlecht vergleichbar sind.

(341) Die Abschätzung und Bewertung der effektiven Dosis durch medizinische Expositionen von Patienten ist problematisch, wenn Organe und Gewebe nur partiell oder sehr ungleichmäßig exponiert werden, was insbesondere bei diagnostischen und interventionellen Verfahren der Fall ist.

7.4 Exposition von Schwangeren

(342) Vor jeder Strahlenanwendung bei Patientinnen ist es wichtig festzustellen, ob eine Schwangerschaft vorliegt. Durchführbarkeit und Durchführung medizinischer Expositionen während der Schwangerschaft bedürfen wegen der Strahlenempfindlichkeit des sich entwickelnden Embryos/Fötus einer besonderen Abwägung.

(343) Bei den meisten ordnungsgemäß durchgeführten diagnostischen Verfahren führen pränatale Dosen zu keiner gegenüber der entsprechenden Spontanrate messbaren Erhöhung des Risikos eines prä- oder postnatalen Todes, einer Entwicklungsschädigung einschließlich Fehlbildung oder einer Beeinträchtigung der geistigen Entwicklung. Es wird angenommen, dass das Lebenszeitrisiko für Krebs nach Exposition in utero dem nach Bestrahlung in der frühen Kindheit entspricht. Höhere Dosen, wie sie z.B. bei therapeutischen Verfahren vorkommen, können dagegen zu Entwicklungsschäden führen (siehe Abschnitt 3.4).

(344) Schwangere Patientinnen haben ein Recht darauf, über das Ausmaß und die Art der potenziellen Strahlenwirkungen informiert zu werden, die sich aus der Exposition in utero ergeben könnten. Wenn eine diagnostische radiologische Untersuchung medizinisch indiziert ist, so ist das mit der Nichtdurchführung verbundene Risiko für die Mutter fast immer größer als das aus der Untersuchung resultierende Risiko einer potenziellen Schädigung für den Embryo/Fötus. Einige Verfahren und Radiopharmaka, die in der Nuklearmedizin angewendet werden (z.B. Radiojod), können jedoch zu erhöhten Risiken für den Embryo/Fötus führen. Detaillierte Ausführungen hierzu hat die Kommission in ICRP 84 (2000a) gegeben.

(345) Vor Durchführung einer Strahlentherapie sowie bestimmter interventioneller Verfahren im Abdominalbereich ist es unerlässlich sich zu vergewissern, ob eine Schwangerschaft besteht. Krebserkrankungen, die nicht beckennah lokalisiert sind, können

gewöhnlich auch bei Schwangeren strahlentherapeutisch behandelt werden. Dies erfordert jedoch besondere Umsicht bei der Bestrahlungsplanung. So muss die erwartete Strahlendosis für den Embryo/Fötus einschließlich des Streustrahlenanteils abgeschätzt werden. Krebserkrankungen im Beckenraum können während der Schwangerschaft selten in angemessener Weise strahlentherapeutisch behandelt werden, ohne schwerwiegende oder tödliche Folgen für den Embryo/Fötus zu haben.

(346) Ein Schwangerschaftsabbruch aufgrund einer Strahlenexposition stellt eine individuelle Entscheidung dar, die durch zahlreiche Faktoren beeinflusst wird. Energiedosen unterhalb von 100 mGy für den Embryo/Fötus sollen nicht als Grund für einen Schwangerschaftsabbruch betrachtet werden. Bei embryonalen/fötalen Dosen oberhalb dieses Wertes soll die schwangere Patientin ausreichend informiert werden, um eine sachkundige Entscheidung treffen zu können, die auf den individuellen Gegebenheiten aufbaut – d.h. unter Berücksichtigung der abgeschätzten embryonalen/fötalen Dosis und der daraus resultierenden Risiken schwer wiegender Schäden an dem sich entwickelnden Embryo/Fötus sowie des Risikos einer Krebsentstehung während des späteren Lebens.

(347) Strahlenrisiken nach pränataler Strahlenexposition werden im Einzelnen in ICRP 90 (2003a) erörtert. Mit den Einzelheiten der Exposition von schwangeren Patientinnen befassen sich die Veröffentlichungen 84 (ICRP, 2000a) und 105 (ICRP, 2007b), wobei auch die Erwägungen erörtert werden, die hinsichtlich eines Schwangerschaftsabbruchs nach einer Strahlenexposition zu treffen sind. Auf Strahlenexpositionen von Schwangeren in der biomedizinischen Forschung wird im Abschnitt 7.7 eingegangen.

7.5 Unfallverhütung bei externer Strahlentherapie und Brachytherapie

(348) Die Unfallverhütung bei der externen Strahlentherapie und der Brachytherapie soll integraler Bestandteil der Planung von technischen Einrichtungen und Räumlichkeiten sowie der Arbeitsabläufe sein. Ein wichtiger Schwerpunkt der Unfallverhütung betraf lange Zeit die Anwendung verschiedener Maßnahmen zum Schutz vor den Folgen von Störfällen. Diese Vorgehensweise, die als „defence in depth“ bezeichnet wird, zielt auf die Vermeidung von technischem und menschlichem Versagen sowie auf die Verringerung der resultierenden Folgen im Ereignisfall ab. Die Kommission hat in den Veröffentlichungen 76, 86, 97 und 98 (ICRP, 1997b, 2000c, 2005b, 2005c) ausführliche Erläuterungen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit potenzieller Expositionen und zur Unfallverhütung gegeben.

7.6 Schutz von Betreuungs- und Begleitpersonen von Patienten, die mit Radionukliden behandelt werden

(349) Offene Radionuklide werden in der Diagnostik und Therapie verschiedener Erkrankungen in Form von Radiopharmaka verwendet, die dem Patienten durch Injektion, Ingestion oder Inhalation verabreicht werden. Diese Radiopharmaka können sich in Körpergewebe anreichern bis sie zerfallen oder sie können über verschiedene Pfade (z.B. Urin) ausgeschieden werden. Umschlossene Quellen werden in den Körper des Patienten implantiert.

(350) Vorsichtsmaßnahmen für die Bevölkerung sind nach diagnostischen nuklearmedizinischen Verfahren selten erforderlich. Einige nuklearmedizinische Behandlungsverfahren, vor allem diejenigen, bei denen Jod-131 verwendet wird, können aber zu erheblichen Expositionen anderer Personen führen, insbesondere derjenigen, die mit der Betreuung und Begleitung der Patienten befasst sind. Einzelpersonen der Bevölkerung, die für solche Patienten in der Klinik oder zu Hause sorgen, bedürfen daher einer individuellen Betrachtung.

(351) ICRP 94 (2004b) enthält Empfehlungen für die Entlassung von Patienten nach der Therapie mit offenen Radionukliden. Dazu gehört auch die Empfehlung, dass Kleinkinder und Säuglinge ebenso wie Besucher, die nicht mit der direkten Pflege oder Betreuung befasst sind, bezüglich des Strahlenschutzes wie Einzelpersonen der Bevölkerung zu behandeln sind (d.h. dass für sie der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung in Höhe von 1 mSv/Jahr gilt). Für Personen, die direkt mit der Betreuung und Pflege befasst sind, ist – anders als für Kleinkinder und Säuglinge – ein Dosisrichtwert von 5 mSv pro Einzelfall vernünftig (d.h. für die Dauer der Freisetzung nach der Therapie). Dieser Dosisrichtwert bedarf einer flexiblen Handhabung. So können z.B. höhere Dosen für Eltern schwerkranker Kinder durchaus akzeptabel sein.

(352) Die Schilddrüse ist bei Personen unter 15 Jahren strahlenempfindlicher als bei Erwachsenen, sodass besonders darauf geachtet werden soll, eine Kontamination von Säuglingen, Kindern und Schwangeren durch Patienten, die mit Radiojod behandelt werden, zu vermeiden.

(353) Die Entscheidung über die Hospitalisierung oder Entlassung eines Patienten nach der Therapie soll individuell unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren getroffen werden, was die Restaktivität im Patienten ebenso einschließt wie die Wünsche des Patienten, die familiären Umstände (insbesondere wenn Kinder vorhanden sind), Umweltfaktoren sowie bestehende Empfehlungen und Bestimmungen. In ICRP 94 (2004b) wird zur Verwendung von Rückhaltebehältern für die Rückhaltung von Urin Stellung genommen, wobei impliziert wird, dass ihre Verwendung unnötig ist.

(354) Die unbeabsichtigte Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung in Wartezimmern und öffentlichen Verkehrsmitteln ist gewöhnlich nicht hoch genug, um besondere Beschränkungen für Patienten der Nuklearmedizin zu fordern. Eine Ausnahme bilden diejenigen, die mit Radiojod behandelt wurden (Veröffentlichungen 73 und 94, ICRP, 1996a, 2004b).

(355) Im Prinzip gelten die gleichen Überlegungen, wenn Patienten mit permanent implantierten umschlossenen Quellen behandelt werden. Die verfügbaren Daten zeigen aber, dass in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Dosis für Betreuungs- und Begleitpersonen deutlich unter einem Wert von 1 mSv/Jahr bleibt. Eine Ausnahme bilden die seltenen Fälle, in denen die Partnerin des Patienten zum Zeitpunkt der Implantation schwanger ist und die antizipierte Dosis für die schwangere Partnerin 1 mSv in einem Jahr überschreiten könnte (ICRP 98, 2005c).

(356) Wenn ein Patient innerhalb der ersten Monate nach Implantation einer umschlossenen Quelle verstirbt, ergeben sich bei der Einäscherung des Leichnams (die in einigen Ländern häufig vorkommt) verschiedene Fragen im Zusammenhang mit 1) den radioaktiven Stoffen, die in der Asche des Patienten verbleiben, 2) den in die Luft freigesetzten radioaktiven Stoffen, die möglicherweise vom Personal des Krematoriums oder von Personen der Bevölkerung inhaliert werden. Aus den verfügbaren Daten geht hervor, dass die Einäscherung zugelassen werden kann, wenn die Implantation von Jod-125 zwölf Monate (bei Palladium-103 drei Monate) zurückliegt. Wenn der Patient vorher verstirbt, sollen spezifische Maßnahmen getroffen werden (ICRP, 2005c).

7.7 Probanden in der biomedizinischen Forschung

(357) Probanden leisten einen wesentlichen Beitrag zur biomedizinischen Forschung. Während einige Studien einen direkten Beitrag zur Erforschung von Erkrankungen leisten, liefern andere Informationen über den Metabolismus von Arzneimitteln oder von Radionukliden, die durch Kontamination des Arbeitsplatzes oder der Umwelt in den Körper gelangen können. Obwohl nicht alle diese Studien in medizinischen Einrichtungen durchgeführt

werden, schließt die Kommission die Exposition aller Probanden in der biomedizinischen Forschung in die Kategorie der medizinischen Strahlenexpositionen ein.

(358) Auf die ethischen und praktischen Gesichtspunkte der Teilnahme von Probanden an biomedizinischen Forschungsprojekten und ihrer Rechtfertigung ist die Kommission in ICRP 62 (1991c) eingegangen. In diesem Bericht werden auch Dosisrichtwerte für Probanden unter verschiedenen Bedingungen erörtert, wie in der Tabelle 8 kurz zusammengefasst (Kapitel 6).

(359) In vielen Ländern ist die Strahlenexposition von Schwangeren im Rahmen der biomedizinischen Forschung nicht ausdrücklich verboten. Es kommt jedoch selten vor, dass Schwangere als Probanden in entsprechende Studien einbezogen werden. Generell ist hiervon abzuraten, es sei denn, dass die Schwangerschaft an sich integraler Bestandteil der Forschung ist. In diesen Fällen sollen die Strahlenanwendungen zum Schutz des Embryos/Fötus strengen Kontrollen unterliegen.

7.8 Literatur

ICRP, 1985a. Protection of the patient in radiation therapy. ICRP Publication 44. Ann. ICRP 15 (2).

ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).

deutsch:

Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission – 1990. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichung 60. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York 1993

ICRP, 1991c. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62. Ann. ICRP 22 (3).

deutsch:

Strahlenschutz – Grundsätze für die Intervention zum Schutz der Bevölkerung im Strahlennotfall. In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Veröffentlichungen 62 und 63. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm 1996

ICRP, 1996a. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73. Ann. ICRP 26 (2).

ICRP, 1997b. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2).

ICRP, 2000a. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).

ICRP, 2000b. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30 (2).

ICRP, 2000c. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86. Ann. ICRP 30 (3).

ICRP, 2000d. Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87. Ann. ICRP 30(4).

ICRP, 2001b. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. ICRP Supporting Guidance 2. Ann. ICRP 31(4).

ICRP, 2003a. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90. Ann. ICRP 33 (1/2).

ICRP, 2004a. Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93. Ann. ICRP 34 (1). ICRP,

2004b. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94. Ann. ICRP 34 (2).

ICRP, 2005b. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97. Ann. ICRP 35(2).

ICRP, 2005c. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98. Ann. ICRP 35(3).

ICRP, 2007b. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (5).

8. Schutz der Umwelt

(360) Das Interesse am Schutz der Umwelt hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Das gilt für alle Gesichtspunkte menschlicher Aktivität. Im Zuge dessen sind viele Mittel zur Bewertung und Regulation der zahlreichen Formen menschlicher Einwirkung auf die Umwelt entwickelt worden und zur Anwendung gekommen. Der Kommission ist sich daher des wachsenden diesbezüglichen Beratungs- und Anleitungsbedarfs im Bereich des Strahlenschutzes bewusst, obgleich es keinerlei neue oder spezifische Gesichtspunkte gibt, die Anlass zur Sorge über die Wirkungen von Strahlung auf die Umwelt geben könnten. Die Kommission stellt darüber hinaus fest, dass auf internationaler Ebene gegenwärtig ein Mangel an Übereinstimmung besteht, wenn es darum geht, auf derartige Fragestellungen in Bezug auf Radioaktivität einzugehen. Sie ist daher der Auffassung, dass es nun notwendig ist, diese Fragen in eigener Initiative anzugehen.

8.1 Ziele des Strahlenschutzes der Umwelt

(361) Die Kommission erkennt an, dass im Unterschied zum Strahlenschutz des Menschen die Zielsetzungen des Schutzes der Umwelt komplex und schwer zu formulieren sind. Die Kommission schließt sich indessen den globalen Erfordernissen und notwendigen Bemühungen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt, zur Sicherung der Erhaltung der Arten und zum Schutz der Gesundheit und des Zustandes von natürlichen Lebensräumen, Gemeinschaften und Ökosystemen an. Sie stellt weiterhin fest, dass diese Ziele auf verschiedene Weise erreicht werden können, dass ionisierende Strahlung unter Umständen – je nachdem, welche Expositionssituation der Umwelt vorliegt – von untergeordneter Bedeutung sein kann und dass bei der Verwirklichung dieser Zielsetzungen Augenmaß gefragt ist.

(362) Die Kommission hat sich mit der Umwelt des Menschen bisher lediglich im Hinblick auf den Transfer von Radionukliden durch dieselbe befasst, vor allem in Bezug auf geplante Expositionssituationen, weil dies den Strahlenschutz des Menschen direkt betrifft. In solchen Situationen ist man bisher davon ausgegangen, dass die zum Schutz der Bevölkerung erforderlichen Standards der Umweltüberwachung hinreichen, um sicherzustellen, dass andere Spezies nicht gefährdet werden, und die Kommission ist weiterhin der Ansicht, dass dies wahrscheinlich zutrifft.

(363) Allerdings erachtet die Kommission heute die Einbeziehung aller Expositionssituationen in ihre Empfehlungen für notwendig. Ferner hält sie es für notwendig, ein breiteres Spektrum an Umweltsituationen – unabhängig davon, ob irgendeine menschliche Verbindung zu diesen besteht – zu berücksichtigen. Die Kommission ist sich ferner der für manche staatliche Behörde bestehenden Notwendigkeit bewusst, direkt und explizit zu demonstrieren, dass die Umwelt selbst in geplanten Expositionssituationen geschützt ist.

(364) Die Kommission glaubt daher, dass es eines übersichtlicheren Systems bedarf, um die Beziehungen zwischen Exposition und Dosis sowie zwischen Dosis und Wirkung und die Folgen solcher Wirkungen für nicht menschliche Spezies auf einer allgemeinen wissenschaftlichen Grundlage zu bewerten. Diese Fragestellung wurde in ICRP 91 (2003b) erstmals erörtert, mit der Schlussfolgerung, dass es notwendig sei, sich auf die Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Entwicklung eines systematischen Konzepts für den Schutz des Menschen zu stützen. Die Kommission versucht, das umfangreiche Wissen, das diesem Konzept zugrunde liegt, in pragmatische Empfehlungen umzusetzen, die für die Regulation verschiedener Expositionssituationen wertvoll sind, wobei die große Bandbreite von Fehlern, Unsicherheiten und Wissenslücken der verschiedenen Datenbestände Berücksichtigung findet.

(365) Der Vorteil eines derart umfassenden und systematischen Herangehens besteht darin, dass jede Änderung, die an einem Bestandteil des Systems erforderlich wird (etwa bei der Erfassung neuer wissenschaftlicher Daten oder bei Veränderungen gesellschaftlicher Verhaltensweisen oder einfach aufgrund von Erfahrungen, die bei der praktischen Anwendung gewonnen wurden), sogleich im Hinblick auf die Auswirkungen betrachtet werden kann, die sie anderswo innerhalb des Systems und auf das System als Ganzes haben kann. Ein solcher Ansatz kann nur auf der Grundlage eines numerischen Konzepts funktionieren, das einige entscheidende Referenzpunkte beinhaltet.

8.2 Referenztiere und -pflanzen

(366) In dieser Hinsicht hat sich beim Strahlenschutz für den Menschen die Entwicklung anatomischer und physiologischer Referenzmodelle (ICRP, 2002) als methodisch sehr hilfreich für die Kommission erwiesen. Sie kommt zu dem Schluss, dass ein vergleichbarer Ansatz eine wertvolle Grundlage für die Entwicklung weiterer Empfehlungen und Anleitungen zum Schutz anderer Arten sein wird. Die Kommission arbeitet daher an der Entwicklung einer kleinen Gruppe von Referenztieren und -pflanzen (Pentreath, 2005) für einige Grundtypen von Organismen, die für die wichtigsten Habitate typisch sind, sowie der zugehörigen Grunddaten. Auf der Grundlage derartiger Entitäten wird ein strukturierteres Herangehen möglich, um die Beziehungen zwischen Expositionen und Dosis sowie Dosis und Wirkungen sowie deren mögliche Folgen zu verstehen.

(367) Referenztiere und -pflanzen können als hypothetische Entitäten betrachtet werden, für die jeweils bestimmte grundlegende biologische Charakteristika einer vorgegebenen Tier- oder Pflanzenart angenommen werden. Diese werden auf der taxonomischen Ebene der jeweiligen Familie mit entsprechend definierten Merkmalen der Anatomie, Physiologie und des Lebenszyklus generalisiert. Sie selber sind daher nicht notwendigerweise unmittelbar Gegenstand des Schutzes, sollen aber – da sie als Referenzpunkte dienen – eine Grundlage für Entscheidungen über den Schutz der Umwelt bilden. Gegenwärtig werden einfache dosimetrische Modelle und entsprechende Datensätze für verschiedene Stadien des Lebenszyklus der Referenztiere und -pflanzen entwickelt. Ferner werden die für sie verfügbaren Daten über Strahlenwirkungen überprüft.

(368) Für die zur Verwirklichung der Zielsetzungen der Kommission vorzunehmenden Bewertungen bedarf es offenbar praktischer Hilfsmittel, die auf dem aktuellen Stand unseres Wissens über die Wirkungen von Strahlung auf verschiedene Tier- und Pflanzenarten beruhen. Es besteht jedoch, wenn man von Säugetieren absieht, ein genereller Mangel an Daten für die Aufstellung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen, die sinnvolle Schlussfolgerungen gestatten würden, insbesondere hinsichtlich der relativ niedrigen Dosisleistungen, die in den meisten Expositionssituationen wahrscheinlich resultieren werden. Tatsächlich sind die auf Strahlenwirkungen bezogenen Datenbestände für die Mehrzahl der Tiere und Pflanzen im Allgemeinen denen nicht unähnlich, die sich auf „chemische Toxizitäts“-Studien beziehen, indem die Werte, die erforderlich sind, um eine vorgegebene Wirkung hervorzurufen, viele Größenordnungen höher sind als diejenigen, die in der Mehrzahl von Umweltsituationen erwartet werden.

(369) Bei Strahlung gibt es eine andere Bezugsgröße, die natürliche Hintergrundstrahlung, der Tiere und Pflanzen kontinuierlich und „typischerweise“ ausgesetzt sind. Folglich können zusätzliche Strahlendosen für Tiere und Pflanzen mit denjenigen Dosisleistungen, von denen bekannt ist oder erwartet wird, dass sie bestimmte biologische Wirkungen auf diese Tier- und Pflanzenarten haben, und mit den normalerweise von ihnen in ihrer natürlichen Umgebung erhaltenen Dosisraten verglichen werden.

(370) Die Kommission schlägt daher nicht vor, irgendeine Form von „Dosisgrenzwerten“ in Bezug auf den Schutz der Umwelt festzulegen. Vielmehr beabsichtigt die Kommission mit der Festlegung von Daten für einige Referenztiere und -pflanzen, die in nachvollziehbarer Weise hergeleitet wurden und Gegenstand von Erwägungen hinsichtlich weiterer Maßnahmen werden können, Empfehlungen mit mehr Praxisbezug zu geben als in der Vergangenheit. Die Kommission wird dieses Konzept für die Erfassung und Auswertung von Daten verwenden, um in Zukunft umfassendere Empfehlungen zu geben, insbesondere im Hinblick auf diejenigen Gesichtspunkte oder Merkmale verschiedener Umweltsituationen, die wahrscheinlich für verschiedene Strahlenexpositionssituationen von Bedeutung sind.

8.3 Literatur

ICRP, 2002. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3/4).

ICRP, 2003b. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33 (3).

Pentreath, R.J., 2005. Concept and use of reference animals and plants. In: Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation, IAEA-CN-109, IAEA, Vienna, 411–420

Sachwortverzeichnis

(hervorgehobene Seitenzahlen beziehen sich auf im Glossar erklärte Begriffe)

A

Adaptive Response **29**
 Aktivitätszufuhr **20–21**, 64, 67, 69
 AMAD **18**, 69
 Apoptose **18**
 Äquivalentdosis **18**, **26–27**, **29**, **31**, 37, 57, 66, 70
 – Definition **27**
 attributabel **18**

B

Berufliche Strahlenexposition 68, 77, 97, 109
 – Definition 77
 Bestehende Expositionssituation 77, 104, 110
 Bioassay **19**
 Biologische Halbwertszeit **19**
 Brachytherapie **19**, 117, 122
 Bystander-Effekt **19**, 49

D

DDREF (Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor) **21**, 49–52, 56
 Deterministische Wirkungen (Reaktionen) 5, **32**, 40, 42, 44, 47, 57, 81, 90–92, 94
 Detriment
 – Verlust an Lebenszeit **25**, **29**, 53
 Detriment (siehe Schadensmaß) **19**, **24**, **29**, 52–53
 DMF (Dosismodifizierungsfaktor) **20**
 Dosis
 – effektive Dosis **20**, 37, 42, 57–72, 90, 93–94, 107, 111, 115, 121
 – effektive Folgedosis **20**, 68–69, 94, 111
 – kollektive effektive Dosis 71
 – verbleibende Dosis 16, **21**, 91, 102, 111
 – vermeidbare Dosis **21**, 102, 109, 111
 – zu erwartende **21**, 102–103, 106
 Dosisgrenzwert 4, 12, 14–17, **21**, 33–34, 43, 48, 59, 68–70, 81–83, 86, 88, 93–94, 97–98, 113, 118, 120, 123, 127
 Dosisleistungswirkungen 51
 Dosisrichtwert 15, **21**, 43–44, 69, 81–82, 86–92, 95, 97–98, 100, 109, 120, 123–124

E

effektive Dosis (siehe Dosis)
 Eingreifrichtwerte (Interventionsschwellen) 109, 111
 Exposition
 – der Bevölkerung 43, 70, 75, 78, 109–110, 117
 Expositionskategorien **23**, 42, 75, 77–78, 96, 109, 117
 Expositionssituationen
 – Geplante 76, 109

F

Fluenz **23**, **31**, 41

G

Ganzkörperexposition 67
 Genehmigungsinhaber **19**, **24**, 77
 Gewebereaktion **24**, **32**, 57
 Gewebe-Wichtungsfaktoren **20**, **28**, 37, 57, 61, 63, 65
 Gray **22**, **24**, 37, 58

J

Jahresaktivitätszufuhr **24**

K

Kerma **24**, 37
 Knochenmark **25**, 59, 61
 Körperdosisgrößen **25**, 57
 Krebs
 – Induktion 51, 64, 71
 – Inzidenz 49
 – Mortalität **29**, 50
 – Sterbewahrscheinlichkeit 100
 kriminelle Handlung 15, 30, 99–101

L

Lebenszeitrisiko 121
 Life Span Study **25**, 50
 lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung **22**
 Lineares Energieübertragungsvermögen (LET) **22**, **25**, **27**, **31–33**, 47–48, 55, 57–58, 60–61, 94
 Linear-Non-Threshold-Modell (LNT-Modell) **25**, 42, 49, 56, 59, 72

M

Medizinische Strahlenexposition 77–78, 96, 110, 117–118
 Modell der Linearität ohne Schwellendosis (LNT-Modell) **25**
 multifaktorielle Erkrankungen **22**

N

Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) **25**, 104, 106, 111
 Notfall-Expositionssituation **23**, **26**, 44, 76–77, 84–85, 88, 90, 93, 96, 101–103, 109–110

O

Operationelle Größen **25–26**, 66
 Optimierung
 – des Schutzes **21**, **24**, **26**, **28**, 34, 43–44, 70, 81, 83, 85–86, 89, 95, 99, 102–103, 107, 113, 120
 Organdosis **18**, **20–21**, **24**, **26**, **30**, 37, 48–49, 57–61, 64–66, 68, 70–71, 73, 94, 111, 115
 Organ-Folgedosis **26**, 67–68

P

Personendosis **18**, **27**, 66, 68–69

Personenüberwachung 70

Q

Qualitätsfaktor **18, 27, 37, 60**

Quellregion **27, 30**

R

Radon

– am Arbeitsplatz 104, 108

– in Wohnungen 16, 91, 104, 106

Referenzmensch **28, 65, 69**

Referenzparameter **28, 64**

Referenzperson (s. Referenzmensch) **26, 28, 64–65, 69, 71, 73**

Referenzphantom **27–28, 32**

Referenzschwellen (s. auch Eingreifrichtwerte) 88, 111

Referenztiere **28, 126–127**

Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) **27, 32, 37, 48, 58, 60–61, 63, 71, 94**

Repräsentative Person 35

Richtungs-Äquivalentdosis **29**

Risiko

– Abschätzung 41–42, 50, 71–72, 121

Risikoricthwert **29, 81, 89, 100**

S

Schwellendosis **29, 32–33, 42, 47, 54–55**

Sievert **18, 20, 26–27, 29–31, 37, 60, 64**

Spezifischer absorbierter Bruchteil **30**

Spontanrate **24, 30, 54, 121**

Sterbewahrscheinlichkeit 100

Stochastische Wirkungen 40, 47

Strahlenexposition der Bevölkerung **26, 30**

Strahlentherapie 120

Strahlungs-Wichtungsfaktor **26–27, 31, 37, 48, 57, 60–63, 65, 73**

T

Transfer von Radionukliden 36, 125

U

Umgang mit radioaktiven Stoffen **31**

Umgebungs-Äquivalentdosis **31**

V

verbleibende Dosis (siehe Dosis)

Verdoppelungsdosis **31, 52**

vermeidbare Dosis (siehe Dosis)

Voxelphantom **31**

Z

Zelltötung **31, 78, 117**