

Anwendung der effektiven Dosis bei medizinischen Untersuchungen

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 147. Sitzung am 3./4. Juli 1997

Veröffentlicht in: - Bundesanzeiger Nr. 213 vom 14. November 1997
- Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 41

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Strahlenschutzgrößen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen	4
3	Die effektive Dosis und ihr Anwendungsbereich	5
3.1	Effektive Dosis	5
3.2	Detriment	6
3.3	Wichtungsfaktoren und Risiko-Koeffizienten	6
3.4	Nutzen radiologischer bzw. nuklearmedizinischer Untersuchung und Behandlung	7
3.5	Einschränkungen und Besonderheiten der Anwendbarkeit der effektiven Dosis	8
4	Risikobeschreibung in der radiologischen Diagnostik	8
4.1	Individuelles Risiko	8
4.2	Kollektives Risiko der Patienten	9
5	Zusammenfassung und Empfehlungen	11
	Das Konzept der effektiven Dosis	11
	Die besonderen Bedingungen der medizinischen Strahlenexposition	11
	Die Anwendung des Konzeptes der effektiven Dosis in der medizinischen Diagnostik	11
6	Literatur	12
 Anlage A		
	Abschätzung des mittleren relativen Risikos stationärer Patienten unter Berücksichtigung ihrer Altersverteilung bei röntgendiagnostischen Untersuchungen	14

1 Einleitung

Die "effektive Dosis" wurde von der "Internationalen Strahlenschutzkommission" (ICRP) eingeführt, um ein nominelles stochastisches Strahlenrisiko nach Strahlenexpositionen, die im menschlichen Organismus nicht homogen verteilt auftreten, abzuschätzen (s. [ICRP 77, 91]). Das "United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation" (UNSCEAR) hat sich 1993 nach eingehender und auch kontroverser Diskussion entschlossen, die effektive Dosis auch für die Quantifizierung der medizinischen Strahlenexposition zu verwenden (s. [UN 93]). Es wurde hierin vor allem eine Möglichkeit gesehen, die Strahlenexposition bei der Anwendung ionisierender Strahlen in der medizinischen Diagnostik für verschiedene Techniken und Untersuchungsverfahren sowie ihre Anwendung in verschiedenen Ländern mit Hilfe der effektiven Dosis zu vergleichen.

Es wurde dabei zunächst nicht erwogen, die effektive Dosis in der medizinischen Diagnostik für Risikoabschätzungen zu verwenden. In der öffentlichen Diskussion sind diese in den letzten Jahren jedoch immer stärker in den Vordergrund getreten. Im Gegensatz zu der Strahlenexposition am Arbeitsplatz muß bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen gesehen werden, daß jeder einzelne Patient einen unmittelbaren Nutzen durch diese Untersuchungsverfahren erwarten kann. Im Gegensatz zur beruflichen Strahlenexposition, die möglichst niedrig gehalten wird, wird in der Medizin eine bestimmte Dosis benötigt, um z.B. in der Röntgendiagnostik eine diagnostisch aussagefähige Bildqualität zu erreichen. Dennoch ist man bemüht, die Strahlendosis des Patienten in der medizinischen Diagnostik so niedrig wie möglich zu halten, ohne die Qualität des Untersuchungsergebnisses zu gefährden. Die ICRP machte in ihrer Publikation Nr. 34 von 1982 [ICRP 82] den Vorschlag, für eine angenäherte Schätzung des individuellen Risikos von Röntgenuntersuchungen die Risiko-Koeffizienten anzuwenden; 1996 schlägt sie in ihrer Publikation Nr. 73 [ICRP 96] vor, die effektive Dosis auch zur Quantifizierung von Dosen und Risiken in der Medizin zu verwenden.

Eine Analyse bzw. Bewertung verschiedener Untersuchungsverfahren in der Medizin mit Hilfe der effektiven Dosis sollte daher neben dem möglichen Risiko auch den Nutzen der Strahlenexposition berücksichtigen. Dies kann in individuellen Fällen und vergleichenden Betrachtungen durchaus erreicht werden. Kollektive effektive Dosen für eine Gesamtbevölkerung können mit Einschränkungen jedoch nur zu vergleichenden Zwecken herangezogen werden.

Die effektive Dosis ist definitionsgemäß die Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben, wobei die von der ICRP empfohlenen Wichtungsfaktoren für die Organe und Gewebe den relativen Beitrag der Organe zum stochastischen Strahlenrisiko berücksichtigen. Diese Wichtungsfaktoren stellen Mittelwerte über Altersklassen (0 - 75 Jahre), beide Geschlechter und Durchschnittswerte für eine Gesamtbevölkerung dar. Sie repräsentieren damit eine Altersverteilung, die von der der Patienten in der röntgenologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik deutlich abweicht.

Die effektive Dosis erlaubt keine Aussagen über das Auftreten deterministischer Effekte, die allerdings bei der weitaus überwiegenden Zahl der diagnostischen Verfahren keine Rolle spielen.

Ferner muß bedacht werden, daß die Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik, insbesondere in der Röntgendiagnostik, extrem inhomogen im Organismus verteilt sein kann. Häu-

fig werden nur Teile von Organen und Geweben mit unterschiedlicher Strahlenempfindlichkeit exponiert.

Im allgemeinen liegen die Strahlendosen in einem niedrigen Bereich, für den keine epidemiologischen Daten zum Strahlenrisiko beim Menschen ermittelt werden können, die eine Abweichung von einer nichtexponierten Vergleichsgruppe ergeben. Risikowerte können daher nur durch Extrapolation für diese Dosisbereiche erhalten werden und beinhalten damit einen zusätzlichen Grad von Ungenauigkeit.

Aus all diesen Gründen kann die effektive Dosis zur Bewertung in der medizinischen Diagnostik nur herangezogen werden, wenn

- die Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Ausgangsdaten,
- die Altersverteilung der exponierten Patienten im Vergleich zur Altersverteilung der Gesamtbevölkerung,
- die oftmals eingeschränkte Lebenserwartung der Patienten und
- der unmittelbare Nutzen für den Patienten

berücksichtigt werden [Str 95].

2 Strahlenschutzgrößen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen

Ausgangsgröße für jede Dosimetrie ist die Energiedosis im Gewebe. Aus ihr werden Dosisgrößen wie z.B. die Äquivalentdosis oder die effektive Dosis abgeleitet. Dabei werden strahlenbiologische und epidemiologische Erkenntnisse berücksichtigt (s. auch [Dre 93, 95, DIN 94, NAR 94]). Eine grundlegende Annahme im Strahlenschutz für die Risikoabschätzung (stochastische Wirkungen, $D \ll 1$ Gy) ist die Proportionalität zwischen Dosis und Risiko. Darauf basierend wird bei einer inhomogenen Dosisverteilung in einem Organ der über das Gesamtvolumen des Organs gemittelte Dosiswert verwendet.

In Abhängigkeit von den Zielvorgaben im Strahlenschutz werden folgende Punkte berücksichtigt:

a) *Rechtfertigung*

Zur Abwägung von Nutzen und Risiko ist eine möglichst realitätsnahe Erfassung eines Detriments bzw. Schadens notwendig. Im medizinischen Strahlenschutz ist die Darstellung des Detriments mit einer einzigen Größe nicht sinnvoll, weil insbesondere auch patientenbezogene soziale und psychologische Fakten zu berücksichtigen sind. In der Medizin beruht die Rechtfertigung einer Anwendung ionisierender Strahlen auf medizinischen Überlegungen, welche die Verhältnisse im Einzelfall berücksichtigen müssen. Dabei sollte die Gesamtheit der individuellen Organdosen sowie die zeitliche und räumliche Dosisverteilung für ihre individuelle Risiko- und Detrimentüberlegung betrachtet werden.

b) Optimierung

Dosisgrößen, wie z. B. Einfalldosis, Dosis-Flächen-Produkt, Dosis am Bildempfänger, werden als Meßgrößen verwendet, um die Exposition zu erfassen, die so gering wie vernünftigerweise möglich zu halten ist (ALARA Prinzip), u.a. auch durch die Einführung von Richt- oder Referenzwerten. Gewichtete Organdosen können bei der Optimierung als risikoproportionale Indikatoren (z.B. beim Vergleich der Untersuchungstechniken in der Röntgendiagnostik mit verschiedenen Aufnahmespannungen, unterschiedlicher Empfindlichkeit der Film-Folien-Systeme, analoger und digitaler Aufnahmetechnik, der Computertomographie und in der Nuklearmedizin) hilfreich sein.

c) Grenzwerte

Grenzwerte gelten bei medizinischer Anwendung jedoch nur für das medizinische Personal. Für Patienten sind keine Grenzwerte festgelegt. Es ist eine definierte Größe gefordert, durch die die Exposition quantifiziert werden kann. Die von der ICRP eingeführte effektive Dosis E [ICRP 77, 91] hat den Vorteil, mit einem Risiko/Detriment verknüpft zu sein und einen einzigen numerischen Wert zu liefern. Dieser Wert ist definiert durch das Festlegen der Beträge der Wichtungsfaktoren w_T bzw. w_R (s. Kapitel 3).

3 Die effektive Dosis und ihr Anwendungsbereich

Die folgende Empfehlung befaßt sich mit der effektiven Dosis und ihrem Anwendungsbereich sowie mit Modifikationen für die Risikobewertung in der Medizin, bei denen Risiko-Koeffizienten zur Anwendung kommen, die das Alter der exponierten Personen berücksichtigen.

3.1 Effektive Dosis

Der Begriff „effektive Dosis“ wurde von der ICRP [ICRP 77, 91] eingeführt, um bei inhomogenen Strahleneinwirkungen sowohl von innen als auch von außen die Exposition der für das stochastische Strahlenrisiko relevanten Gewebe und Organe in praktikabler Form zu erfassen.

Die effektive Dosis E ist die Summe der mit den zugehörigen Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T multiplizierten Organ-Äquivalentdosen H_T in relevanten Organen und Geweben:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad w_T = \frac{a_T}{\sum_T a_T} \quad \sum_T w_T = 1$$

Durch die Faktoren w_T werden die einzelnen Organ-Äquivalentdosen H_T entsprechend ihren relativen Beiträgen zu den stochastischen Strahlenwirkungen gewichtet, wobei a_T den nominalen Organ-Risiko-Koeffizienten bezeichnet.

Die Organ-Äquivalentdosis H_T ist das Produkt aus dem Mittelwert D_T der Energiedosis - gemittelt über das Volumen eines Gewebes, eines Organs oder eines Körperteils T , im Falle der Haut gemittelt über die gesamte Oberfläche - und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R für die vorliegende Strahlenqualität R :

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

Wirken mehrere Strahlenqualitäten zusammen, so ist die Organ-Äquivalentdosis die Summe der Produkte aus dem Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R und der durch Strahlung der Strahlenqualität R erzeugten mittleren Energiedosis $D_{T,R}$:

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

Bei dieser Definition der Organ-Äquivalentdosis nach ICRP 60 [ICRP 91] werden durch den Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R Unterschiede in der biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlenqualitäten berücksichtigt. Zahlenwerte von w_R sind in ICRP 60 festgelegt.

Unter Berücksichtigung der Definition von H_T gilt:

$$E = \sum_{T,R} w_T w_R \cdot D_{T,R}$$

Die effektive Dosis ist keine meßbare Größe.

3.2 Detriment

Zur Beschreibung des stochastischen Strahlenrisikos eines Einzelnen oder einer Gruppe wurde der Begriff „Detriment“ eingeführt. Es setzt sich - entsprechend der Exposition der Organe und Gewebe und ihrer Wirkungen - aus verschiedenen Komponenten zusammen:

- der Sterbewahrscheinlichkeit aufgrund von strahleninduziertem Krebs einschließlich Leukämie (Mortalität),
- der Erkrankungswahrscheinlichkeit für strahleninduzierten Krebs einschließlich Leukämie ohne Todesfolge,
- der Wahrscheinlichkeit für vererbare Wirkungen,
- dem Verlust an Lebenszeit durch strahleninduzierten Krebs einschließlich Leukämie.

3.3 Wichtungsfaktoren und Risiko-Koeffizienten

Bei der Bestimmung der effektiven Dosis wird von Gewebe-Wichtungsfaktoren ausgegangen, deren Summe auf 1 normiert ist. Die Gewebe-Wichtungsfaktoren wurden in ICRP-Publikation 60 [ICRP 91] gegenüber der ICRP-Publikation 26 [ICRP 77] geändert und sollen den relativen Beitrag der Organe zum Detriment für eine hypothetische Weltbevölkerung (gemittelt aus 5 Völkern) aufgrund neuerer epidemiologischer Daten der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki berücksichtigen. Die ICRP betont ausdrücklich, daß für Zwecke des Strahlenschutzes die gleichen Gewebe-Wichtungsfaktoren für alle Altersklassen und beide Geschlechter gelten.

Das Strahlenrisiko ist bei Kindern und Jugendlichen höher als bei Erwachsenen insbesondere im höheren Alter. Die Altersabhängigkeit des Strahlenrisikos läßt sich durch altersspezifische Risiko-Koeffizienten berücksichtigen.

Nach ICRP 60 [ICRP 91] wurden die in Japan bei mittleren und hohen Dosis- und hohen Dosisleistungswerten beobachteten Effekte unter der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung und der Anwendung eines Dosis-Dosisleistungs-Reduktionsfaktors (DDREF) von 2 auf niedrigere Dosisbereiche extrapoliert. Die röntgendiagnostischen Expositionen liegen, ebenso wie die nuklearmedizinischen, im niedrigen Dosisbereich. Die Risiko-Koeffizienten können unter Berücksichtigung des Alters zum Zeitpunkt der Exposition auch in der Medizin angewandt werden.

Das Konzept der effektiven Dosis wurde ursprünglich eingeführt, um bei beruflich strahlenexponierten Personen und der Gesamtbevölkerung die Einwirkung von verschiedenen Dosen in verschiedenen Körpergeweben so zu erfassen, daß sie gut mit der Gesamtheit der stochastischen Wirkungen korreliert. Wird für Patienten die „pro Kopf“ gemittelte effektive Dosis herangezogen, werden allerdings wesentliche Fakten außer acht gelassen. Beispielsweise wird die Röntgendiagnostik keineswegs gleichmäßig auf alle Einwohner angewendet. Gerade Untersuchungen mit hohen Dosen werden gehäuft bei älteren Patienten durchgeführt, bei denen aufgrund des Alters und ihrer Krankheit nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, daß sich stochastische Strahlenfolgen noch manifestieren. Zudem macht es in der radiologischen Diagnostik wenig Sinn, das Strahlenrisiko isoliert von den Krankheits- und Behandlungsrisiken zu betrachten, ohne den Nutzen radiologischer Untersuchungen oder Behandlungen zu erwägen [Ste 93; Schi 94].

3.4 Nutzen radiologischer bzw. nuklearmedizinischer Untersuchung und Behandlung

Der Nutzen der Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin ist bei einer Vielzahl von ärztlichen Fragestellungen trotz des Einsatzes anderer bildgebender Verfahren (Sonographie, Kernspintomographie und Endoskopie) weiterhin offensichtlich, wie einige Beispiele verdeutlichen:

- Frühzeitige Entdeckung von Veränderungen des Skeletts und der Gelenke sowie Verlaufsbeobachtungen der Therapieerfolge mit Hilfe der Röntgendiagnostik und der Szintigraphie
- Erkennen von Lokalisation und Ausdehnung traumatischer und tumoröser Knochenprozesse mit Kontrolle unter Behandlung
- Röntgendiagnostik der Thoraxorgane, speziell der Lunge zur Früherkennung von lokalisierten und disseminierten Erkrankungen und zur Therapiekontrolle
- Computertomographie mit überlagerungsfreien und kontrastreichen Querschnittsbildern zur Entdeckung krankhafter Veränderungen insbesondere des Gehirns und Rückenmarks, Thorax und Abdomens sowie Verfolgung der Therapie
- Verbesserte Früherkennung des Brustkrebses durch Mammographie und Erhöhung der Heilungsaussichten
- Interventionelle Radiologie zur risikoärmeren Behandlung als Ersatz für risikoreiche Operationen

Die effektive Dosis ist von Vorteil, wenn Expositionen miteinander verglichen werden, die sich bei ähnlichen Strahlenanwendungen in der medizinischen Diagnostik ergeben, und wenn für die exponierten Patientengruppen eine ähnliche Alters- und Geschlechtsverteilung angenommen werden kann. Beim Vergleich von Risiken aus einer Exposition in der medizinischen Radiologie mit einer beruflich bedingten oder einer Umgebungsexposition muß aber die unterschiedli-

che Altersverteilung der Exponierten beachtet werden. Dies muß durch Anwendung altersspezifischer Risiko-Koeffizienten oder anderer Korrekturen geschehen.

3.5 Einschränkungen und Besonderheiten der Anwendbarkeit der effektiven Dosis

Einschränkungen und Besonderheiten bei der Anwendung des Risikokzeptes, dessen Ausdruck die effektive Dosis ist, zeigen sich bei einigen Beispielen aus der Medizin:

- Bei der interventionellen Radiologie können u.U. lokal sehr hohe Expositionen auftreten, und die Dosen einiger Gewebe, vor allem der Haut, können in den Bereich der Schwellendosis für deterministische Schäden gelangen. Mit entsprechenden Korrekturen (Vernachlässigung hoher lokaler Hautdosen) kann das stochastische Strahlenrisiko für diesen Patienten nach dem Prinzip der effektiven Dosis bei Berücksichtigung des Alters abgeschätzt werden.
- Bei Untersuchungen der Extremitäten - diese machen fast 1/5 aller Röntgenuntersuchungen aus - werden bei Bestimmung der effektiven Dosis die Organdosen ausgedehnter Organe (rotes Knochenmark, Knochen, Muskulatur, Haut) über den ganzen Körper gemittelt. Aufgrund des geringen Anteils dieser Organe im Feld ergibt sich für diese Röntgenuntersuchungen ein kleiner Wert für die effektive Dosis.
- Bei der vorgeburtlichen Strahlenexposition ist die effektive Dosis der Mutter nicht die entscheidende Größe, sondern vielmehr die Dosis des Embryos bzw. Feten, die in der Röntgendiagnostik mit der Organdosis des Uterus gleichzusetzen ist.
- Bei Kindern und Jugendlichen muß vor allem bei der Bestimmung der Organdosis des Knochenmarks die gegenüber Erwachsenen völlig andere anatomische Verteilung des roten Knochenmarks im Skelett beachtet werden.
- Bei der Bewertung nuklearmedizinischer Untersuchungen muß auf Probleme durch Radionuklidverteilungen, die durch mögliche Erkrankungen und den dadurch bedingten Stoffwechsel gegenüber der "Referenz-Person" verändert sind, geachtet werden.

4 Risikobeschreibung in der radiologischen Diagnostik

Das Strahlenrisiko hängt stark vom Alter zum Zeitpunkt der Exposition ab. In ICRP 60 [ICRP 91], Annex C, Abb. C-5 ist diese Altersabhängigkeit des zusätzlichen Lebenszeit-Mortalitätsrisikos in Prozent pro Sv dargestellt (s. Abb. A 1). Falls in der Medizin, ausgehend von einer bestimmten patientenspezifischen effektiven Dosis, das Risiko einer diagnostischen Untersuchung angegeben werden soll, so muß zwischen dem individuellen Risiko des Patienten und dem Kollektivrisiko, das auf der Basis der summierten individuellen Dosen erhalten wird, unterschieden werden.

4.1 Individuelles Risiko

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlen wird immer durch den individuellen Nutzen bestimmt, gegen den das Risiko abgewogen werden muß. Zur Abschätzung des individuellen Strahlenrisikos eines Patienten, dessen Alter ja bekannt ist, können die Angaben zum Krebs-

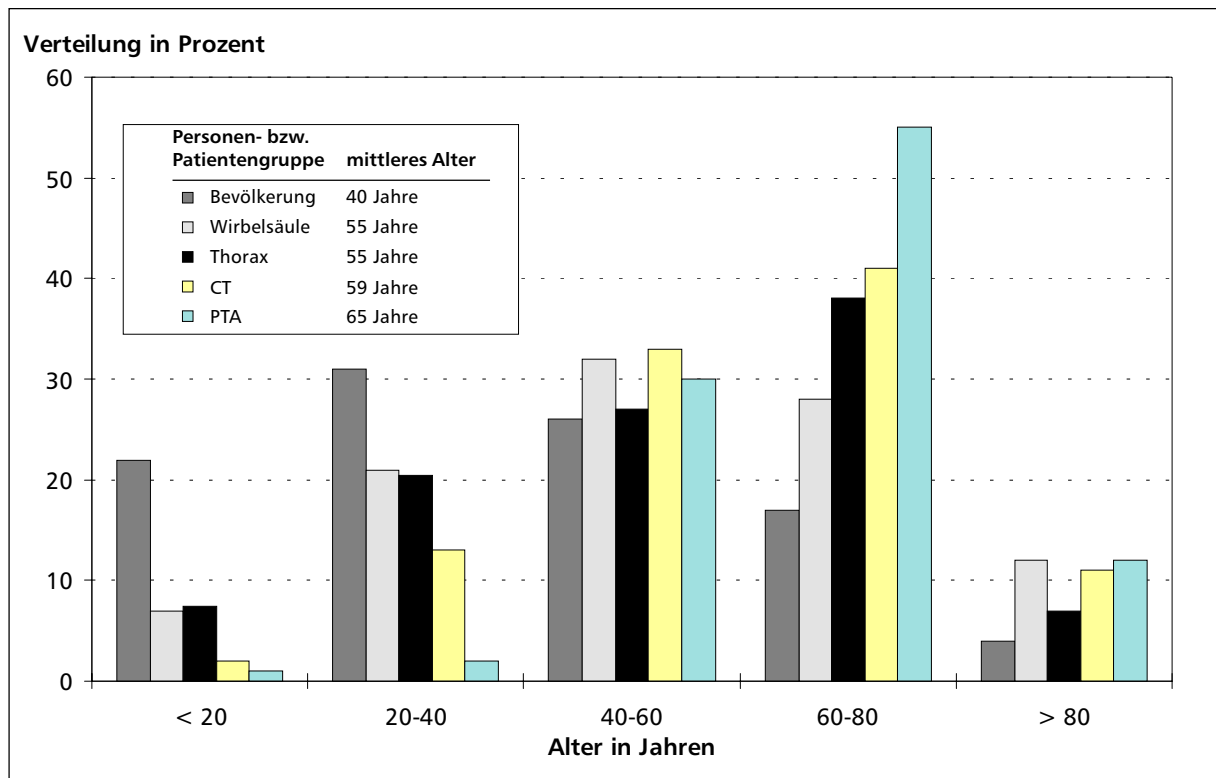


Abb. 1 Altersverteilung verschiedener Patientengruppen in der Radiologie im Vergleich zur Altersverteilung der deutschen Bevölkerung (Quellen: Bevölkerung: Statistisches Jahrbuch 1992 [Sta 92], Wirbelsäule und CT: Klinikum Nürnberg Nord 1992/93 [Schm 96], Thorax: Stender [Ste 96], PTA: Deutschland 1990 - 94 [Schm 97a,b])

Mortalitätsrisiko in Abhängigkeit vom Alter nach ICRP 60 [ICRP 91] verwendet werden (s. Abb. A 1). So wird z.B. das Krebs-Mortalitätsrisiko eines 1 -10jährigen Kindes mit ca. 14,5 % pro Sv effektiver Dosis (Mittelwert für beide Geschlechter) und das Risiko eines 70jährigen Patienten mit ca. 1% pro Sv angegeben. Außer der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit kann auch eine individuell sehr unterschiedliche Disposition für das Entstehen und Überstehen einer Krebserkrankung bestehen. Außerdem kommt bei Exposition von jungen Patienten das genetische Risiko hinzu, das bei älteren Patienten keine Rolle spielt.

4.2 Kollektives Risiko der Patienten

Ausgehend von der Altersabhängigkeit des Strahlenrisikos (s.o.) und neueren epidemiologischen Daten hat die ICRP in ihrer Publikation Nr. 60 [ICRP 91] mittlere Strahlenrisiken für stochastische Effekte für zwei relevante Kollektive angegeben, nämlich für Berufstätige (18-65 Jahre) und für die allgemeine Bevölkerung. Das mittlere Detriment für die allgemeine Bevölkerung beträgt 7,3% pro Sv gegenüber 5,6 % pro Sv für Berufstätige. Bezüglich des Lebenszeit-Mortalitätsrisikos werden Mittelwerte von 5% pro Sv für die Gesamtbevölkerung bzw. 4% pro Sv für die beruflich Strahlenexponierten angegeben.

Die Anwendung dieser nicht differenzierten Risiko-Koeffizienten ist für Patienten nicht sinnvoll. Die zwei Kollektive (allgemeine Bevölkerung und Berufstätige) sollten daher um ein drit-

Tab. 1 *Modifizierende Faktoren für Risiko-Koeffizienten für Patientengruppen in der Radiologie in Bezug auf den Risikofaktor der allgemeinen Bevölkerung*

Modifizierende Faktoren für Risiko-Koeffizienten		
Autoren	[Vei 95]	[Wu 96]
Wirbelsäule	0,42	0,60
Thorax	-	0,61
Abdomen/Becken	0,51	-
CT	0,48	0,45
Angiographie	0,43	-
Angioplastie	-	0,31

tes relevantes Kollektiv der Patienten ergänzt werden, dessen Altersverteilung von den beiden anderen deutlich abweicht (s. Abb. 1). Analog bietet sich dabei die Einführung altersspezifischer mittlerer Risiko-Koeffizienten für Patienten an, die bei Bedarf durch weitere patientenbezogene Faktoren ergänzt werden können und die sich aus der Erkrankung ergeben können.

In Kenntnis der Altersverteilung der Patienten (s. Abb. 1), möglicher weiterer modifizierender Faktoren und der vorherrschenden Häufigkeit der Untersuchungsarten in der Radiologie, kann man mit Hilfe des altersabhängigen Lebenszeit-Risikos nach ICRP 60 [ICRP 91] ein mittleres kollektives Risiko für Patienten abschätzen. Es muß jedoch bedacht werden, daß die individuellen Strahlendosen in der röntgenologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik in den meisten Fällen in einem Dosisbereich liegen, für den keine gemessenen sondern nur durch Extrapolation erhaltene Risikowerte vorliegen [Str 95].

Es gibt aufgrund einer repräsentativen Stichprobe in Akutkrankenhäusern Angaben zur Altersverteilung stationärer Patienten für sieben dosisintensive Untersuchungen, die zusammen ca. 86% der kollektiven effektiven Dosis durch die stationär durchgeführte Röntgendiagnostik ausmachen. Aus diesen Daten ist das mittlere kollektive Risiko stationärer Patienten abgeschätzt worden (Tab. A 1, [Vei 95]). Es ergeben sich je nach Untersuchungsart und der dazu gehörigen Altersverteilung der Patienten unterschiedliche Reduktionsfaktoren für das Risiko der Patientengruppen im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung (vergl. Tab. 1).

Wie in der Anlage A dargestellt, errechnet sich im Mittel ein modifizierender Faktor von ca. 0,5 für die stationären Patienten gegenüber dem mittleren nominellen Bevölkerungsrisiko nach ICRP 60 (5% pro Sv). Das bedeutet: Für stationäre Patienten kann, aufgrund des im Vergleich zur Normalbevölkerung höheren Anteils von älteren Personen, im Mittel mit einem zusätzlichen Lebenszeit-Krebstmortalitäts-Risiko von 2,5 % pro Sv bzw. mit einem mittleren Detriment von 3,7 % pro Sv gerechnet werden.

Für ambulante Patienten ist dieser Korrekturfaktor sicherlich höher als 0,5 anzusetzen, da diese im Mittel jünger sind als stationäre Patienten. So erscheint ein Faktor von 0,6 bis 0,7 gegenüber dem ICRP 60-Wert für die ambulanten Röntgendiagnostik-Patienten als realistisch, wie er in England [Wa 91] bzw. in den Niederlanden [Be 91] berechnet wurde. Das würde ein mittleres

Risiko für Patienten von 3,3 % pro Sv für die Lebenszeit-Mortalität bzw. von 4,8 % pro Sv für das Detriment ergeben.

5 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Konzept der effektiven Dosis

Das Konzept der effektiven Dosis wurde von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) für die Abschätzung des nominellen stochastischen Strahlenrisikos bei inhomogener Organ-Dosisverteilung für beruflich strahlenexponierte Personen entwickelt. Später hat die ICRP Änderungen erarbeitet, um die Anwendung der effektiven Dosis auch auf die Gesamtbevölkerung zu ermöglichen.

Die besonderen Bedingungen der medizinischen Strahlenexposition

Eine Anwendung der effektiven Dosis zur Bewertung des Strahlenrisikos in der medizinischen Diagnostik ist aus folgenden Gründen nicht ohne weiteres möglich:

Die Risiko-Koeffizienten nach ICRP und somit die Gewebe-Wichtungsfaktoren stellen Mittelwerte für das stochastische Strahlenrisiko für Personen aller Altersklassen dar. Die Anwendung dieser Risiko-Koeffizienten ist für Patienten nicht sinnvoll, u.a. da bei dieser Gruppe die Altersverteilung von der einer Normalbevölkerung abweicht.

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren gelten für eine weitgehend gleichmäßige Bestrahlung einzelner Organe und Gewebe. Im Unterschied hierzu ist bei der medizinischen Diagnostik die Strahlendosis im Organismus inhomogen verteilt. So werden bei medizinischen Untersuchungen häufig nur Teile von Organen und Geweben exponiert, die sehr unterschiedliche Strahlenempfindlichkeiten aufweisen können. Es muß ferner berücksichtigt werden, daß die stochastischen Strahlenrisiken in den niedrigen Dosisbereichen, die in der medizinischen Diagnostik auftreten, nur durch Extrapolation von höheren Dosisbereichen abgeschätzt werden können. Alle diese Punkte erschweren die Ermittlung einer effektiven Dosis und die Herleitung eines Risikowertes für einzelne Untersuchungen in der medizinischen Diagnostik.

Die Anwendung des Konzeptes der effektiven Dosis in der medizinischen Diagnostik

Die effektive Dosis ist auf der Basis der bisher vorliegenden Daten nicht für die Abschätzung des mittleren kollektiven Strahlenrisikos aus röntgendiagnostischen oder nuklearmedizinischen Untersuchungen für eine größere Population geeignet. Bei ihrer Anwendung auf einzelne Untersuchungen müssen patientenbezogene Faktoren berücksichtigt werden, insbesondere das Lebensalter bei Exposition und bei einem Teil der Patienten die deutlich eingeschränkte Lebenserwartung, die sich aus der Krankheit ergibt. Die effektive Dosis ist jedoch von Nutzen, wenn unterschiedliche Untersuchungsarten und ihre Bewertung miteinander verglichen und Optimierungen herbeigeführt werden sollen.

Für den internationalen Vergleich zwischen verschiedenen Staaten und der Beurteilung der Strahlenexposition durch die medizinische Diagnostik über verschiedene Jahre kann die effektive

Dosis für die Berichterstattung sinnvoll sein. Bei der Ermittlung der effektiven Dosis und bei der Beurteilung vor allem eines kollektiven Risikos müssen Daten auf gleicher Basis erhoben und bewertet werden.

Zur Abschätzung des Risikos können die altersabhängigen Risiko-Koeffizienten für die Krebsmortalität nach ICRP 60 [ICRP 91] herangezogen werden. Diese Risiko-Koeffizienten bewegen sich zwischen 14,5% pro Sv für ein 1 - 10jähriges Kind bis zu 1% pro Sv für 70jährige Patienten. Aus diesem Grund ist an eine Indikation zur röntgendiagnostischen bzw. nuklearmedizinischen Untersuchung jüngerer Patienten ein noch strengerer Maßstab anzulegen als bei Patienten im fortgeschrittenen Lebensalter.

Für die Ermittlung der mittleren Risiko-Koeffizienten von Patienten ergeben sich je nach Untersuchungsart und der dazugehörigen Altersverteilung der Patienten unterschiedliche modifizierende Faktoren gegenüber den Risiko-Koeffizienten der Gesamtbevölkerung. Im Mittel errechnen sich modifizierende Faktoren von etwa 0,5 (für stationäre Patienten) bzw. von 0,6 bis 0,7 (für ambulante Patienten) im Vergleich zum Risiko der Gesamtbevölkerung.

In der radiologischen bzw. nuklearmedizinischen Diagnostik macht es wenig Sinn, das Strahlenrisiko getrennt von dem individuellen Nutzen, den der Patient durch die radiologischen bzw. nuklearmedizinischen Untersuchungen oder Behandlungen erfährt, zu betrachten. Die Angabe von verallgemeinernden Risiko-Zahlen für Patienten ist in der radiologischen bzw. nuklearmedizinischen Diagnostik (z.B. durch Angaben von Sterbeziffern auf der Basis von Kollektivdosen) ohne Berücksichtigung des Nutzens der Untersuchungen oder des Risikos der unterlassenen Untersuchungen und der krankheitsbedingten Lebenserwartung nicht vertretbar.

6 Literatur

- [Be 91] Beentjes, L.B.; Timmermanns, C.W.M.:
Patient doses in the Netherlands. *Radiat. Prot. Dosim.* 36 (1991) 265-268
- [DIN 94] Deutsche Industrie-Normen DIN:
Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik: Strahlenschutz. DIN 6814 Teil 5, C (Entwurf September 1994)
- [Dre 93] Drexler, G.; Panzer, W.; Petoussi, N.; Zankl, M.:
Effective dose - how effective for patients? *Radiat. Environ. Biophys.* 32 (1993) 209-219
- [Dre 95] Drexler, G.; Panzer, W.:
Dosimetrische Kenngrößen, Methodik der Dosisverteilung, Anwendbarkeit und Grenzen des Konzepts der Effektivdosis. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Bd. 30. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995, S. 29
- [ICRP 77] International Commission on Radiological Protection ICRP:
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Oxford: Pergamon Press, 1977
- [ICRP 82] International Commission on Radiological Protection ICRP:
Protection of the Patient in Diagnostic Radiology. ICRP Publication 34. Oxford: Pergamon Press, 1982
- [ICRP 91] International Commission on Radiological Protection ICRP:
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991

- [ICRP 96] International Commission on Radiological Protection ICRP:
Radiological Protection and Safety in Medicine. ICRP Publication 73. Oxford: Pergamon Press, 1996
- [NAR 94] Normenausschuß Radiologie (NAR) im DIN:
Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik; Dosisgrößen und Dosiseinheiten;
Änderung 1. DIN 6814, Teil 3 A 1 (Entwurf Juni 1994)
- [Schi 94] Schicha, M.; Wellner, U.:
Nutzen/Risiko-Betrachtung in der nuklearmedizinischen Diagnostik. Nucl.-Med. 33 (1994) 155-166
- [Schm 96] Schmidt, Th.:
Daten aus dem Klinikum Nürnberg Nord zur Altersverteilung bei Röntgenuntersuchungen der
Wirbelsäule und CT. Persönliche Mitteilung 1996
- [Schm 97a] Schmidt, Th.; Wucherer, M.:
Radiation Safety. Joint WHO/ISH Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional
Radiology. BfS-ISH-Berichte 178/97 (1997) 23-33
- [Schm 97b] Schmidt, Th.; Wucherer, M.:
Strahlenexposition und Strahlenrisiko bei interventionellen Maßnahmen. In: Strahlenschutz in
Forschung und Praxis, Band 41 (im Druck)
- [Sta 92] Statistisches Bundesamt:
Jahrbuch 1992
- [Ste 93] Stender, H.-St.:
Die unterlassene Röntgenuntersuchung - Nutzen- und Risiko-Vergleich. Akt. Radiol. 3 (1993) 135-139
- [Ste 96] Stender, H.-St.:
Altersverteilung bei Thoraxuntersuchungen in Niedersachsen. Persönliche Mitteilung 1996
- [Str 95] Streffer, C.; Müller, W.-U.:
Bewertung des Strahlenrisikos durch die Röntgendiagnostik. Veröffentlichungen der
Strahlenschutzkommission, Band 30. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995, S. 317
- [StrV 89] Verordnung zum Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung -
StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321,1926),
zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2113)
- [UN 93] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR:
Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of
Atomic Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.
New York: United Nations 1993
- [Vei 95] Veit, R.:
Effektive Dosis und Risiko in der Röntgendiagnostik.
Jahresbericht 1994 des Bundesamtes für Strahlenschutz, S. 76 - 78 (1995)
- [Wa 91] Wall B.F.:
British Medical X-Ray Statistics and their Relevance for Radiation Protection Policies. Radiat.
Prot. Dosim. Vol. 36, No 2/4 (1991) 303-307
- [Wu 96] Wucherer, M.; Schmidt, Th.:
Modifizierende Faktoren für Risiko-Koeffizienten in der Radiologie. Persönliche Mitteilung
1996

Anlage A

Abschätzung des mittleren relativen Risikos stationärer Patienten unter Berücksichtigung ihrer Altersverteilung bei röntgendiagnostischen Untersuchungen

Um das relative Risiko für eine Bevölkerungsgruppe in Bezug auf das nominelle Risiko der Bevölkerung nach ICRP mit einer bestimmten Altersverteilung für bestimmte Maßnahmen abzuschätzen, benötigt man die Aufteilung der effektiven Dosis für diese Maßnahmen in Altersklassen und das relative Risiko dieser Altersklassen im Vergleich zum mittleren Bevölkerungsrisiko.

a) Altersverteilung

Die Altersverteilung wurde in einer repräsentativen Stichprobe (INFRATEST) in Akutkrankenhäusern erhoben und zwar für 7 Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik. In Anlehnung an den Bericht der Vereinten Nationen [UN 93] wurden 4 Altersklassen gebildet, nämlich

Gruppe I	0 - 15 Jahre
Gruppe II	16 - 40 Jahre
Gruppe III	41 - 64 Jahre und
Gruppe IV	über 65 Jahre.

Die Altersverteilung bzw. die Verteilung der kollektiven effektiven Dosis auf diese Altersklassen für diese Untersuchungsarten ist Tabelle A 1 zu entnehmen. Aus Tabelle A 1 ist ferner ersichtlich, daß der Schwerpunkt der Untersuchungshäufigkeit in der Altersklasse 4, nämlich älter als 65 Jahre liegt.

b) Effektive Dosis E_k

Die mittlere effektive Dosis für jede Untersuchungsart k wurde aus Messungen des Dosis-Flächenproduktes gewonnen. Hier liegen Erhebungen aus den Jahren 1992 und 1993 [Ber 95] vor. In Tabelle A 2 sind für verschiedene Untersuchungsarten die mittleren effektiven Dosiswerte angegeben. Aus der ebenfalls angegebenen Frequenz dieser Untersuchungsarten kann deren Anteil an der gesamten effektiven Dosis berechnet werden.

Die ausgewählten 7 Untersuchungsarten tragen zu 86 % zur gesamten effektiven Dosis aus allen stationär durchgeführten röntgendiagnostischen Maßnahmen in Akutkrankenhäusern bei.

c) Altersabhängigkeit des Risikos

Da die Beobachtungen an den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki noch nicht abgeschlossen sind, wird z. Zt. das relative Risikomodell für die Projektion in die Zukunft favorisiert. Das Risiko (s. Abb. A 1) ist nach Abb. C-5 in ICRP 60 [ICRP 91] altersabhängig. Aus dieser Abbildung läßt sich für die gewählten Altersklassen (siehe oben) ein mittleres Lebenszeit-Risiko angeben. Daraus kann ein relatives Risiko r_i für die gewählten Altersklassen bezogen auf die Standardbevölkerung angegeben werden (Tab. A 3). Aus der Summation der Produkte des relativen Risikos mit dem Dosisanteil d_i pro Altersklasse

$$R_i = \sum r_i d_i$$

ergibt sich der das relative Risiko modifizierende Faktor dieser Untersuchungsart für die betrachtete Patientengruppe. Der mittlere modifizierende Faktor für das Risiko stationärer Patienten liegt je nach Untersuchungsart offensichtlich zwischen 0,38 (Darmtrakt) und etwa 0,5 (Abdomen, Becken, CT). In Tabelle A 1 sind für 7 Untersuchungsarten die modifizierenden Faktoren angegeben. Eine gewichtete Mittelung für 7 Untersuchungsarten ergibt einen modifizierenden Faktor von 0,47 für stationäre Patienten insgesamt.

Literatur

- [Ber 95] Bernhardt, J.H.; Veit, R.; Bauer, B.:
Erhebungen zur effektiven Dosis und zur Kollektivdosis bei der Röntgendiagnostik in den alten Bundesländern. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 30. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995, S. 179
- [ICRP 91] International Commission on Radiological Protection ICRP:
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991
- [UN 93] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR:
Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with scientific Annexes. New York: United Nations 1993

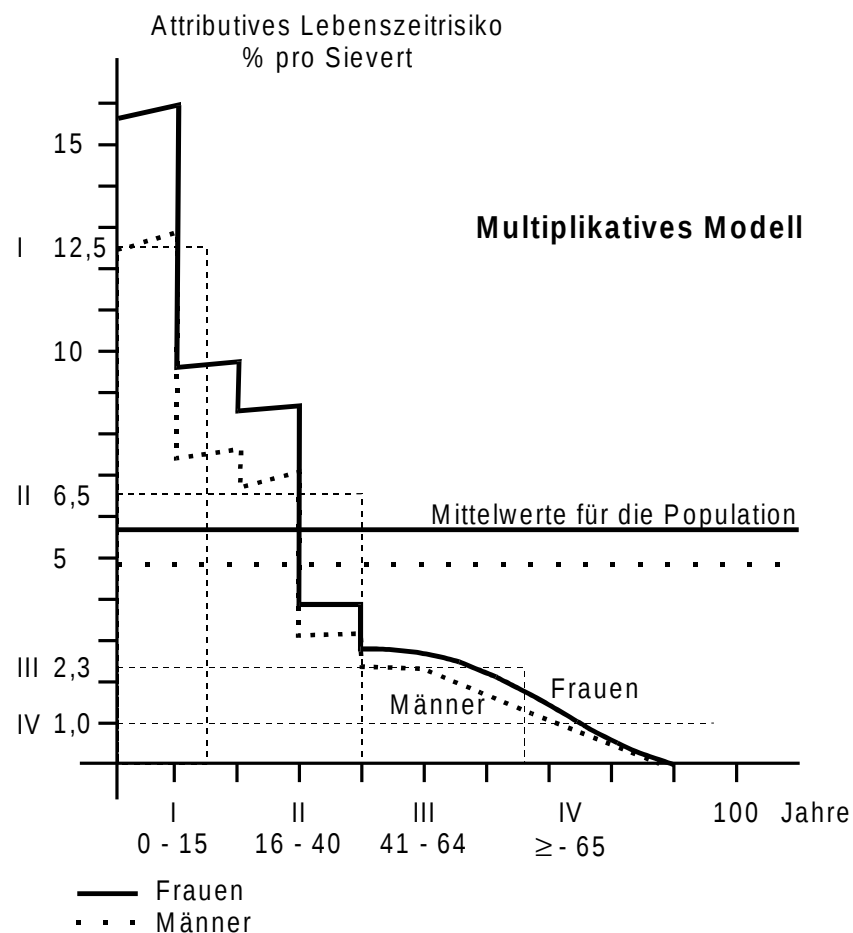


Abb. A 1: Lebenszeit-Risiko pro Altersklasse, entwickelt aus Abb. C-5 in ICRP 60 [ICRP 91]

Altersklassen u. deren relatives Strahlenrisiko r bzgl. des mittleren Risikos der Bevölkerung (ICRP 60 Annex C)	Wirbelsäule % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	Abdomen und Becken % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	Oesophagus und Magen % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	Darm % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	Harntrakt % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	Angio- graphie % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit	CT % Dosisanteil d_i^* Häufigkeit
I 0 - 15 Jahre $r_I = 2.4$	1,5 0,0075	3,3 0,017	6,4 0,033	0 0	2,8 0,14	3,4 0,017	4,8 0,0245
II 16 - 40 Jahre $r_{II} = 1.25$	12,5 0,126	20,2 0,205	16,9 0,175	10,9 0,109	19,1 0,194	8,1 0,083	13,5 0,138
III 41 - 64 Jahre $r_{III} = 0.44$	31,9 0,3215	27,6 0,281	25,8 0,267	31,5 0,315	34,4 0,349	45,9 0,467	34,9 0,358
IV ≥ 65 Jahre $r_{IV} = 0.19$	54,1 0,545	48,9 0,497	50,8 0,525	57,6 0,576	43,7 0,443	42,6 0,433	46,8 0,4795
Total	100% 1	100% 1	99,9% 1	100% 1	100% 1	100% 1	100% 1
rel. koll. Risiko $\sum r d_i =$ Risiko- Reduktionsfaktor für stationäre Patienten	0,42	0,51	0,51	0,38	0,51	0,43	0,48

* Der Dosisanteil d_i pro Altersklasse errechnet sich aus der Annahme, daß die Dosis pro Untersuchungsart D konstant ist für die Altersklassen II bis IV und für die Altersklasse I D/2 beträgt.

Tab. A1:

Altersstruktur stationärer Patienten (nach INFRATEST) für sieben dosisrelevante Untersuchungsarten (ca. 86% der stationären kollektiven effektiven Dosis) und daraus abgeleitetes relatives kollektives Risiko dieser Patienten gegenüber dem der allgemeinen Bevölkerung

Tab. A 2: Röntgenuntersuchung stationärer Patienten: Effektive Dosis, Häufigkeit und relativer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis

Untersuchungsart	Effektive Dosis pro Untersuchung (in mSv)	Häufigkeit x 1000 pro Jahr (INFRATEST *)	% Anteil an der gesamten effektiven Dosis
Thorax	0,3	8.869	
Extremitäten	0,06	2.580	
Wirbelsäule	1,2	917	3,0
Becken	1,05	405	3,1
Abdomen	1,17	610	
Hüfte	0,54	349	
Schädel	0,03	983	
Ösophagus + Magen	8,27	144	3,2
Dünndarm	16,38	15	5,3
Dickdarm	18,46	93	
Galle	7,08	140	
Harntrakt	4,65	580	7,3
Arteriographie	18,18	362	17,8
Phlebographie	1,64	157	
Mammographie	0,5	188	
CT (Körpergebiet)	11,4	1.506	46,5
Sonstige	3	229	
Gesamt			86,3

*) Alte Bundesländer (67 Mio.)

Tab. A 3: Relatives Risiko pro Altersklasse, graphisch ermittelt aus Abb. C-5 [ICRP 91]

Altersklassen (nach [UN 93])		Lebenszeit R_i % pro Sv	Relatives Risiko $r_i = R_i/R$
0 - 15	I	12.5	2.4
16 - 40	II	6.5	1.25
41 - 64	III	2.3	0.44
≥65	IV	1.0	0.19

R: Mittelwert für die Population (m,w): 5,2% pro Sv