



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Kollektivdosis

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 55. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 08. November 1984
Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 126a vom 12. Juli 1985
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 1

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	3
2	Historische Entwicklung und gegenwärtige Rechtslage	3
3	Kollektivdosis als Schadensmaß.....	6
4	Kollektivdosis als Hilfsmittel der Optimierung und zum Vergleich von Schutzvorkehrungen	8
5	Möglichkeiten zur Quantifizierung der Strahlenexposition einer Personengruppe	10
6	Zusammenfassung	11
	Anhang: Begriffsdefinitionen	12

1 Einleitung und Problemstellung

Zu den Aufgaben des Strahlenschutzes gehört neben dem Schutz der Einzelperson auch die Erfassung und Reduzierung der Strahlenexposition von Gruppen beruflich strahlenexponierter Personen und von Bevölkerungsgruppen. Hieraus erwächst die Aufgabe, für Aufsichts- und Optimierungsaufgaben angemessene Kenngrößen für die Strahlenexposition eines solchen Personenkollektivs zu definieren, die nicht nur die auftretenden Dosiswerte, sondern auch die Anzahl der exponierten Personen berücksichtigen.

Unter rein statistischen Gesichtspunkten käme (a) die Angabe der Verteilung der Personenzahl auf die einzelnen Dosisklassen (bei geeigneter Wahl der Klassengrenzen) oder (b) - bereits stark vereinfacht - die Angabe von Personenzahl und Dosismittelwert in Frage. Als noch weiter vereinfachtes Maß der Gesamtexposition bietet sich (c) die "Kollektivdosis" an, die als Produkt aus der Anzahl der exponierten Personen und dem arithmetischen Mittel aller auftretenden Dosen definiert ist.

Es soll daher im folgenden untersucht werden, ob die Kenngröße Kollektivdosis ein sinnvolles Maß für die Strahlenexposition einer exponierten Personengruppe darstellt. Insbesondere soll untersucht werden, ob die Kollektivdosis

- (I) als Maß der strahlenbedingten "Schadenserwartung"
- (II) als Instrument der Optimierung des Strahlenschutzes und zum Vergleich von Schutzvorkehrungen

geeignet ist und sich hierdurch als sinnvolles Expositionsmaß erweist. Diese Prüfung soll unter Einbeziehung sowohl des naturwissenschaftlichen Kenntnisstandes als auch der Rechtslage durchgeführt werden. Des weiteren soll geprüft werden, ob andere Möglichkeiten zur sinnvollen Kennzeichnung der Strahlenexposition von Bevölkerungsgruppen zur Verfügung stehen.

Unter der Kurzbezeichnung "Dosis" ist im folgenden stets die effektive Äquivalentdosis (effektive Dosis) einer Einzelperson zu verstehen. Zur Unterscheidung von der Kollektivdosis wird sie gelegentlich auch als "Individualdosis" bezeichnet.

2 Historische Entwicklung und gegenwärtige Rechtslage

Die heutigen Grundsätze des Strahlenschutzes, insbesondere der Grundsatz der Rechtfertigung und der Grundsatz der Optimierung, finden sich in Ansätzen schon in den ersten "Internationalen Empfehlungen für Röntgenstrahlen- und Radiumschutz" (27.7.1928). Durch den Begriff der "genetisch signifikanten Dosis" wurde erstmalig versucht, die Strahlenexposition einer ganzen Personengruppe zu quantifizieren. Das Optimierungsprinzip ist zuerst in Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) enthalten, die 1950 auf dem VI. Internationalen Radiologiekongreß beschlossen wurden. In der Publikation Nr. 1 der ICRP aus dem Jahre 1958 findet sich der Hinweis auf die Saldierung der schädlichen Wirkungen und des Nutzens der Strahlenanwendung. Auch die neuen Empfehlungen Nr. 26 der ICRP aus dem Jahre 1977 gehen von den entsprechenden Grundsätzen aus:

- „(a) Es darf keine Tätigkeit gestattet werden, deren Einführung nicht zu einem positiven Netto-Nutzen führt;
- (b) alle Strahlenexpositionen müssen so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist;
- (c) die Äquivalentdosis von Einzelpersonen darf die von der Kommission für die jeweiligen Umstände empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten.“

Diese Strahlenschutzgrundsätze werden von der ICRP kurz bezeichnet mit

- (a) Prinzip der Rechtfertigung,
- (b) Prinzip der Optimierung,
- (c) Prinzip der Dosisgrenzwerte.

Die zweite Forderung, die Strahlenexposition unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Gesichtspunkte so gering wie vernünftigerweise erreichbar zu halten (ALARA-Prinzip^{*)}), muß durch Bezug auf eine oder erforderlichenfalls mehrere Größen quantifiziert werden, mit denen sich solche Expositionen beschreiben lassen. Als Maß für die Strahlenexposition der einzelnen betroffenen Personen wird die von dieser Person erhaltene Individualdosis verwendet. Als Maß für die Gesamtstrahlenexposition aller betroffenen Personen ließe sich u. U. das Produkt aus der mittleren Individualdosis und der Zahl der betroffenen Personen verwenden. Für dieses Produkt wurde von der ICRP der Begriff "Kollektivdosis" eingeführt (z.B. Publikationen Nr. 22 - 1973 - und Nr. 26 der ICRP).

Die EG-Richtlinie vom 15. Juli 1980^{**)} schließt sich in Artikel 6 den Strahlenschutzgrundsätzen der ICRP an:

"Bei der Begrenzung der aus kontrollierbaren Strahlenexpositionen herrührenden individuellen und kollektiven Dosen ist von folgenden allgemeinen Grundsätzen auszugehen:

- (a) Jede Tätigkeit, die eine Strahlenexposition mit sich bringt, muß durch die mit dieser Tätigkeit verbundenen Vorteile gerechtfertigt sein;
- (b) jede Strahlenexposition ist so niedrig zu halten, wie dies vernünftigerweise erreichbar ist;
- (c) unbeschadet des Artikels 11 (geplante außergewöhnliche Strahlenexposition) darf die Summe der erhaltenen Dosen und der Folgedosen die in diesem Titel festgelegten Dosisgrenzwerte für strahlenexponierte Arbeitskräfte, Lehrlinge und Studierende sowie für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht überschreiten."

In Ergänzung hierzu wird in der genannten EG-Richtlinie in Artikel 13 zur Strahlenexposition der Bevölkerung folgendes ausgeführt:

^{*)} "all exposures shall be kept as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account"

^{**)} Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 15. Juli 1980 zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlen festgelegt wurden.

- "(1) Jeder Mitgliedsstaat hat dafür Sorge zu tragen, daß der Beitrag jeder Tätigkeit zur Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung unter Berücksichtigung der Grundsätze nach Artikel 6 a) und b) auf den Minimalwert beschränkt bleibt, der für diese Tätigkeit notwendig ist.
- (2) Die Summe dieser Beiträge ist ständig zu kontrollieren; insbesondere muß die aus der Gesamtheit dieser Beiträge herrührende genetische Dosis geschätzt werden.
- (3) Die Mitgliedsstaaten unterrichten die Kommission regelmäßig über die Ergebnisse dieser Kontrollen und Schätzungen."

In diesen EG-Grundnormen werden allerdings weder Vorschriften zur quantitativen Ermittlung des bei ICRP genannten Netto-Nutzens einer mit Strahlenexposition verbundenen Tätigkeit zum Zweck ihrer Rechtfertigung noch Vorschriften zur Quantifizierung des "Optimierungsgebots" für Strahlenexpositionen gegeben. Die Begrenzung der Kollektivdosis wird in Artikel 6 neben der Begrenzung der Individualdosis als allgemeines Ziel genannt, dem nach den Grundsätzen der Rechtfertigung, Optimierung und individuellen Dosisgrenzwerte zu folgen ist. Der Regelungsteil der EG-Richtlinie enthält keinen weiteren Hinweis auf die Kollektivdosis, auch nicht Abs. (2) von Artikel 13, da sich die dort genannte "Summe von Beiträgen" zur Strahlenexposition auf die Beiträge verschiedener Tätigkeiten, nicht auf eine Summation der Dosen verschiedener Personen bezieht. Die vorausgehende EG-Richtlinie fordert an der Art. 6 entsprechenden Stelle neben der individuellen Dosisbegrenzung die Begrenzung der Anzahl strahlenexponierter Personen. Die EG-Richtlinie ist für die EG-Staaten rechtsverbindlich, denn nach Artikel 161 des Euratomvertrages ist jeder Mitgliedsstaat verpflichtet, das in einer an ihn gerichteten Richtlinie festgelegte Ziel zu verwirklichen, jedoch bleibt ihm dabei die Wahl der Form und der Mittel, dieses zu erreichen, frei.

Bereits in der Ersten Strahlenschutzverordnung vom 24. Juni 1960 sind für die Bundesrepublik Deutschland die entsprechenden Strahlenschutzgrundsätze festgelegt worden. Es hieß hier,

- daß die Strahlenexposition von Personen und strahlenempfindlichen Sachgütern Dritter oder der Allgemeinheit auch unterhalb der festgesetzten Dosiswerte so gering wie möglich zu halten ist,
- daß die Verbreitung radioaktiver Stoffe so gering wie möglich zu halten ist, um die Gefahr ihrer Aufnahme in den menschlichen Körper auf ein Mindestmaß zu beschränken, und
- daß unbeschadet der Vorschriften über die Ableitung radioaktiver Stoffe nur möglichst geringe Mengen dieser Stoffe in Luft und Wasser gelangen dürfen.

Die erforderlichen Maßnahmen dienen nicht nur der Einhaltung bestimmter Grenzwerte von Dosen der Aktivitätskonzentrationen, sie sollen vielmehr allgemein ein Optimum des Strahlenschutzes gewährleisten.

In § 28 Abs. 1 der geltenden Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 (StrlSchV) werden diese Strahlenschutzgrundsätze wiederholt:

"Wer eine Tätigkeit nach § 1 dieser Verordnung ausübt oder plant, ist verpflichtet,

1. jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden,
2. jede Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in dieser Verordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten."

Es ist üblich geworden, die Forderung des § 28 (1) Satz 2 als "Minimierungsgebot" zu bezeichnen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß der deutsche Ordnungsgeber nicht die Minimierung der Strahlenexposition um jeden Preis verlangt, sondern daß dieses Gebot unter "Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles" gilt. Dem Grundsatz "so niedrig wie möglich" wird daher nicht durch eine Minimierung der Strahlenexposition ohne Rücksicht auf den Umfang der erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Mittel, sondern durch eine Minimierung unter Berücksichtigung des Verfassungs-Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit von Mittel und Zweck entsprochen. Hierin ist nach Ansicht der SSK diejenige Form der "Optimierung des Strahlenschutzes" zu sehen, die sich im Rahmen der in unserem Land geltenden Rechtsgrundsätze und gerichtlich getroffenen Entscheidungen bewährt hat und mit der die Ziele des Optimierungsgebotes nach Art. 6 der EG-Richtlinie verwirklicht werden.

3 Kollektivdosis als Schadensmaß

Für stochastische Strahlenwirkungen, d. h. nach Maßgabe einer dosisabhängigen Zufallsverteilung eintretende Strahlenwirkungen ohne Schwellendosis, ist die Schadenserwartung einer Bevölkerungsgruppe (s. Anhang) auch im Bereich niedriger Dosen von Null verschieden und nimmt mit der Größe der betrachteten Bevölkerungsgruppe zu. Die Schadenserwartung ist jedoch nur dann der Kollektivdosis proportional, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten nachteiligen Strahlenwirkung proportional zur Dosis und der Wichtungsfaktor für den Schweregrad der Wirkung unabhängig von der Dosis ist. Die Gültigkeit dieser Beziehung zwischen Schadenserwartung und Kollektivdosis hängt daher von der Gültigkeit der angenommenen Proportionalität*) zwischen Strahlenrisiko und Dosis ab.

3.1 Dosis-Wirkungsbeziehung für genetische Effekte

Im Gegensatz zur Induktion von Krebs durch Strahlung gibt es bisher beim Menschen noch keine gesicherten Befunde über Erbschäden bei Nachkommen strahlenexponierter Eltern, die mit statistischer Signifikanz auf den Einfluß der Bestrahlung zurückzuführen sind. Die Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos für den Menschen basieren auf strahlengenetischen Untersuchungen an Tieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sprechen dafür, daß das Postulat der Proportionalität zur Dosis für die Häufigkeit strahleninduzierter Mutationen, d. h. für das Risiko von Erbschäden, bei niedrigen Dosen gerechtfertigt ist, auch wenn keine epidemiologischen Daten vorliegen.

3.2 Dosis-Wirkungsbeziehung für die Kanzerogenese

*) in mathematisch nicht präzise zutreffender, aber oft benutzter Ausdrucksweise: Linearität

Der Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehung ist abhängig von der Strahlenqualität, wobei zwischen locker ionisierenden Strahlen (niedriges lineares Energieübertragungsvermögen (LET)) und dicht ionisierenden Strahlen (hohes LET) zu unterscheiden ist. Die vorliegenden epidemiologischen Untersuchungen über die Krebshäufigkeit bei bestrahlten Personengruppen deuten im Falle einer Bestrahlung bei niedrigem LET und hoher Dosisleistung für viele Arten maligner Erkrankungen auf eine nach oben konkave Kurve der Dosis-Wirkungsbeziehung hin. Bei Strahlen mit hohem LET lassen sich die epidemiologischen Befunde besser durch eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung beschreiben.

Alle diese Befunde zum Strahlenkrebsrisiko beziehen sich fast ausschließlich auf höhere Dosen bzw. auf Bestrahlungen mit hoher Dosisleistung. Über die Dosis-Wirkungsbeziehung im Bereich niedriger Dosen gibt es keine experimentell abgesicherten Daten; das mögliche Strahlenrisiko bei niedrigen Dosen muß daher auf der Basis von Modellen extrapoliert werden. Einen möglichen Ansatzpunkt für solche Modelle liefern Untersuchungen über die Transformation von Zellen in Zellkulturen und tierexperimentelle Untersuchungen zur Krebs-erzeugung. Ionisierende Strahlung weist als Charakteristikum auf, daß die Energie in statistisch fluktuierenden Beträgen auf einzelne Zellen übertragen wird. Bei niedrigen Dosen bedeutet dies, daß in einer dosisproportionalen Anzahl einzelner Zellen Strahlungsenergie absorbiert wird, in der Mehrzahl der Zellen dagegen nicht. Für die auf die Einzelzelle bezogene Eintrittswahrscheinlichkeit von Effekten, die auf Veränderungen (Mutationen, Transformationen) in der einzelnen Zelle beruhen, kann daher Proportionalität zur Energiedosis angenommen werden, solange interzelluläre Wechselwirkungen keinen Einfluß haben.

Daraus allein kann aber nicht der Schluß gezogen werden, daß die zu erwartende Anzahl der durch Strahlung induzierten malignen Erkrankungen dosisproportional ist, da die Wahrscheinlichkeit einer einzelnen transformierten Zelle, eine maligne Erkrankung zu induzieren, außerordentlich gering ist und da bei der Induktion einer malignen Erkrankung auch gewebliche Faktoren Einfluß nehmen können. Dies ist im Einklang mit experimentell bestätigten Abweichungen von der Linearität in beiden Richtungen (konkav oder konvex nach oben gekrümmte Kurven); als Beispiele dafür seien die Dosis-Wirkungskurven von Lungenadenomen bei Mäusen und von Mammatumoren bei zwei verschiedenen Rattenstämmen genannt. Darüber hinaus ist zu beachten, daß die Dosis-Wirkungsbeziehung für einzelne maligne Erkrankungen unterschiedlich ist, wobei - z. B. bei der Entstehung von Mammatumoren - zusätzlich hormonelle Einflüsse eine Rolle spielen.

3.3 Bewertung

In Anbetracht der tatsächlichen Nichtlinearität der Dosis-Wirkungsbeziehung für viele Formen der Tumorinduktion durch locker ionisierende Strahlen kann die Annahme einer Dosisproportionalität bei theoretischen Extrapolationen von hohen zu niedrigen Dosen als Beitrag zu einer konservativen Schätzung individueller Risiken gewertet werden. Diese Überschätzung ist nach dem Vorsorgeprinzip zur Begründung der Festlegung individueller Dosisgrenzwerte durchaus geeignet.

Die Annahme einer Dosisproportionalität der Wahrscheinlichkeit für Tumorinduktion würde formal auch die zu Beginn des Abschnitts 3 genannte Voraussetzung für die Verwendbarkeit der Kollektivdosis als "Schadensmaß" erfüllen. Hier aber besteht der schwerwiegende Einwand, daß die bei tatsächlicher Nichtlinearität mit einer dosisproportionalen Extrapolation von hohen zu niedrigen Dosen einhergehende Überschätzung des Risikos der Tumorinduktion eine auch nur annähernd genaue Schätzung der Schadenserwartung bei kleinen Dosen nicht

erlaubt. Von der Verwendung der Kollektivdosis als Schadensmaß, insbesondere für Zwecke der Planung und Rechtsordnung, muß wegen der mangelnden Kenntnis der tatsächlichen Zahlenwerte der Schadenserwartung bei niedrigen Dosen abgeraten werden.

In der Publikation Nr. 37 der ICRP aus dem Jahre 1982 (insbesondere Abschnitte 42 und 52) wird mit dem Argument, daß auch bei nichtlinearer Dosis-Wirkungsbeziehung einem kleinen Dosiszuwachs ein dazu proportionaler Risikozuwachs entspricht, die rechnerisch entsprechende Zunahme der Schadenserwartung in einer Population als "quellenbezogene Schadenserwartung" (objective health detriment) bezeichnet. Für den Bereich kleiner Dosen und im Hinblick auf Planungs- und Rechtszwecke einer Schadensschätzung ist jedoch auch hier der Hinweis wichtig, daß die bei kleinen Dosen in die Berechnung eingehenden Risikoeffizienten zahlenmäßig nicht genügend genau bekannt sind.

Im Strahlenschutzrecht der Bundesrepublik Deutschland dient zur Begründung eines Dosisgrenzwertes für die Bevölkerung nicht die zahlenmäßig unsichere Betrachtung der Schadenserwartung, sondern der Vergleich der zivilisatorischen mit der natürlichen Strahlenexposition des Menschen; die Einführung eines Grenzwertes für die Kollektivdosis in die Gesetzgebung ist nicht sinnvoll. Die Dosisgrenzwerte für beruflich Strahlenexponierte sind gemäß der Publikation Nr. 26 der ICRP aus einem Vergleich konservativ geschätzter individueller stochastischer Strahlenrisiken mit den Gesundheitsrisiken anderer, als relativ wenig gefährdet erwiesener Berufsgruppen sowie aus Kenntnissen über die Einsatzschwellen nichtstochastischer Strahlenwirkungen abgeleitet.

4 Kollektivdosis als Hilfsmittel der Optimierung und zum Vergleich von Schutzvorkehrungen

Die Begrenzung der Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenschäden auf ein Maß, das im Vergleich zu anderen vergleichbaren Risiken einer betrachteten Personengruppe akzeptabel ist und das durch den Nutzen der Strahlenanwendung gerechtfertigt ist, ist eines der Strahlenschutzziele der ICRP. Die ICRP betont, daß das o.a. Ziel nicht nur die Einhaltung der empfohlenen Dosisgrenzwerte für Einzelpersonen, sondern darüber hinaus die Optimierung der Strahlenanwendung und des Strahlenschutzes erfordert. Durch die Forderung der Optimierung soll gewährleistet werden, daß die Dosisgrenzwerte nur in begründeten Fällen ausgeschöpft werden. Als Mittel dazu sollen alle Strahlenexpositionen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Gesichtspunkte so gering wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden (ALARA-Grundsatz).

Es gibt verschiedene Methoden des Optimierens - vgl. Publikation Nr. 37 der ICRP -, die jedoch sämtlich noch nicht den Stand erreicht haben, daß sie generalisiert angewendet werden können. Nach den speziellen Vorschlägen der ICRP-Publikation Nr. 26 sollte keine Tätigkeit gestattet werden, deren Ausführung keinen positiven Netto-Nutzen erbringt. Unter Verwendung betriebswirtschaftlicher Begriffe wird in den Publikationen Nr. 22, Nr. 26 und Nr. 37 der ICRP als Netto-Nutzen einer bestimmten Tätigkeit z. B. eines Produktionsvorganges, die Differenz zwischen Brutto-Nutzen und Kostensumme definiert. Ein mit dieser Tätigkeit verbundener finanzieller Aufwand für Strahlenschutzeinrichtungen und -maßnahmen sowie der monetäre Gegenwert der aus der verbleibenden Exposition von Personen resultierenden Schadenserwartung werden in die Kostensumme einbezogen. Nach dem Konzept der ICRP wird hierzu der Einheit der Kollektivdosis ein Geldwert zugeordnet. Als "Optimierung" (genauer:

Optimierung des Netto-Nutzens) wird das Auffinden desjenigen Umfanges des Strahlenschutzes angesehen, bei dem die Summe aus Strahlenschutzaufwand und Kosten der Schadenserwartung ein Minimum erreicht. Ausgenommen von dieser monetären Interpretation des Optimierungsprinzips ist die Optimierung der Exposition von Patienten aufgrund medizinischer Indikationen (Publikation Nr. 26 der ICRP, Absätze 195 - 209).

Abgesehen von der bereits dargelegten Unmöglichkeit, im niedrigen Dosisbereich die Schadenserwartung überhaupt annähernd abzuschätzen, ergeben sich für die Ausführung des genannten Optimierungsansatzes der ICRP im einzelnen folgende Schwierigkeiten:

- a) Je nachdem, ob man den monetären Gegenwert einer bestimmten Schadenserwartung aus Überlegungen zum Gegenwert der Arbeitskraft, aus Analogien zu Schadenersatzregelungen oder zur Festsetzung von Versicherungssummen, aus dem Anteil des Einzelnen am Volkseinkommen oder anderen Einschätzungen ableitet, ergeben sich sehr verschiedene Beträge, durch deren Wahl das Ergebnis einer solchen Optimierungsrechnung in weiten Grenzen verändert werden kann.
- b) Bei Anwendung des Optimierungsansatzes der ICRP auf den Strahlenschutz der Bevölkerung, und damit bei Übertragung des Begriffes "Netto-Nutzen" aus der betriebswirtschaftlichen in die volkswirtschaftliche Dimension, ergeben sich schwierige Fragen des Bezugssystems. Hierzu gehört das Problem der Nicht-Identität der Träger von Nutzen, Strahlenschutzkosten und Schadenerwartungskosten ebenso wie die unterschiedliche monetäre Schadensbewertung in verschiedenen Staaten bei grenzüberschreitender Ausbreitung radioaktiver Emissionen mit Wasser und Luft, sowie die Möglichkeit einer weit in der Zukunft liegenden Schadensmanifestation.

Die Schwierigkeiten der Abschätzung der Schadenserwartung bei gegebener Kollektivdosis, der Festlegung eines monetären Gegenwertes für eine gegebene Schadenserwartung und der Anwendbarkeit des Gedankens der Netto-Nutzen-Optimierung im volkswirtschaftlichen Bereich erlauben es nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht, der Methode der Kosten-Nutzen-Analyse im Zusammenhang mit rechtlichen Regelungen eine praktikable Funktion zuzuweisen.

Als Optimierungsaufgabe kann man schließlich auch den Vergleich und die Wahl zwischen alternativen technischen Lösungen ansehen, die mit der Strahlenexposition von Personengruppen verbunden sind:

Dies gilt im Bereich der beruflichen Exposition zum Beispiel für die Optimierung von Arbeitsabläufen, beim Vergleich der Effizienz verschiedener, alternativer Schutzvorkehrungen, oder bei der Erkennung zeitlicher Änderungen der kollektiven Exposition durch eine Strahlenquelle. Im Vergleich zwischen den bei ähnlichem Aufwand in Betracht kommenden Möglichkeiten kann man auch ohne quantitative Kenntnis von Risikokoeffizienten und monetären Schadensäquivalenten davon ausgehen, daß der Ablaufplan mit der kleineren Kollektivdosis das Optimum darstellt. Da die auftretenden Individualdosen in einem engen Dosisbereich liegen, ist nämlich die Kollektivdosis in der Regel ein Maß für die Anzahl der eingesetzten Personen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich auch weiterhin, entsprechend der Richtlinie "IWRS II" *) die in Kernenergieanlagen anfallenden Kollektivdosen zum Zwecke

*) Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor; Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung und des Betriebs der Anlage vom 4.8.1981

der Optimierung zu ermitteln und zu dokumentieren. Hierdurch wird auch der Forderung des Art. 6 der EG-Richtlinie entsprochen. Grenzwertfestlegungen für die Kollektivdosis werden jedoch aus den unter Kapitel 3.3 dargelegten Gründen nicht für sinnvoll gehalten.

Für die Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung kommt die Kollektivdosis aus den bereits genannten Gründen als entscheidende Kenngröße der Optimierung von technischen Verfahren und Strahlenschutzeinrichtungen nicht in Betracht. Optimierungskriterien sind daher in der Durchführung des Paragraphen 28 Absatz 1 der Strahlenschutzverordnung - neben der absoluten Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung nach § 45 StrlSchV - stets die Forderung nach Verbesserung der Strahlenschutztechniken, z. B. der Filter-, Rückhalte- und Transporttechniken sowie die unmittelbare Emissionsbegrenzung bei Kernenergieanlagen gewesen. Dieses nicht schematisierte Optimierungsverfahren hat zu einer - verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition - sehr kleinen mittleren Expositionen der Bevölkerung geführt.

5 Möglichkeiten zur Quantifizierung der Strahlenexposition einer Personengruppe

Wie in Abschnitt 3 und 4 gezeigt, kommt die Kollektivdosis als Maß der strahlenbedingten Schadenserwartung oder als Hilfsmittel der Optimierung des Strahlenschutzes - und somit als sinnvolles Maß für die Strahlenexposition einer Personengruppe - nur in Ausnahmefällen in Frage. Die SSK greift daher auf die in der Einleitung unter (a) genannte Möglichkeit der Einteilung in Dosisklassen zurück.

Werden statistische Kennwerte für die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Strahlenquellen benötigt, sollten für diesen Zweck die Größen der Bevölkerungsgruppen in einzelnen Dosisklassen verwendet werden. Die Größe der mit weniger als $3 \mu\text{Sv}$ pro Jahr exponierten Bevölkerungsgruppe sollte jedoch nicht als eine für Bilanzierungen und Vergleiche sinnvolle Maßzahl angesehen werden. Dieser Wert liegt weit unterhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition und beträgt 1% des für die Bevölkerung geltenden Dosisgrenzwertes von $0,3 \text{ mSv}$ pro Jahr. Die Bevölkerungsgruppe mit Dosen oberhalb $3 \mu\text{Sv}$ pro Jahr wird als diejenige angesehen, auf die sich Bilanzierungen und Vergleiche der Strahlenexposition richten sollten. Sinnvoll kann daher die Angabe der Größe dieser Gruppe und gegebenenfalls des arithmetischen Mittelwertes der effektiven Dosis in dieser Gruppe sein. In besonderen Fällen kann es zweckmäßig sein, weitere Klassengrenzen einzuführen.

Weder die Kollektivdosis noch das vorgeschlagene Klassifizierungssystem sollten jedoch in gesetzliche Bestimmungen aufgenommen werden.

6 Zusammenfassung

Die Strahlenschutzkommission hat die Verwendbarkeit der Kollektivdosis als Schadensmaß und als Hilfsmittel zur Optimierung des Strahlenschutzes der beruflich Strahlenexponierten und der Bevölkerung geprüft. Sie kommt aufgrund einer ausführlichen Analyse zu folgendem Ergebnis:

- (1) Die von der ICRP seit vielen Jahren vertretenen Grundsätze der Rechtfertigung von Strahlenexpositionen, der Optimierung des Strahlenschutzes und der individuellen Dosisgrenzwerte finden sich dem Sinne nach auch in der EG-Richtlinie von 1980 und in der Strahlenschutzverordnung von 1976. Damit liegt eine rechtlich bindende Verpflichtung zur Optimierung des Strahlenschutzes vor; jedoch bleibt formal-rechtlich freigestellt, ob die Kollektivdosis als Instrument zum Erreichen dieses Zieles geeignet ist. Die SSK empfiehlt, die Kollektivdosis nicht in rechtliche Regelungen aufzunehmen.
- (2) Die Kollektivdosis ist als Schadensmaß nur dann geeignet, wenn die zur Berechnung der Schadenserwartung benötigten Risikokoeffizienten in dem zu betrachtenden Dosisbereich ausreichend bekannt sind. Es muß hervorgehoben werden, daß die Risikokoeffizienten für die im praktischen Strahlenschutz relevanten Dosisbereiche aus Abschätzungen und nicht aus quantitativen Ermittlungen hervorgegangen sind. Dies gilt insbesondere für Dosisbereiche, die für die Bevölkerung wichtig sind.
- (3) Der betriebswirtschaftliche Ansatz der ICRP zur Nutzensoptimierung kommt wegen nicht ausreichender Kenntnis von monetären Gegenwerten für die strahlenbedingte Schadenserwartung nach gegenwärtiger Kenntnis für gesetzliche Regelungen nicht in Frage. Die bereits in der Vergangenheit entwickelten Optimierungsinstrumente der Verbesserung von emissionsreduzierenden Techniken sowie der Festlegung von individuellen Dosisgrenzwerten und von Emissionsgrenzwerten haben sich in bezug auf den Strahlenschutz der Bevölkerung bewährt.
- (4) Bei Arbeitsabläufen in Kernenergieanlagen hält die SSK die Optimierung des Strahlenschutzes der Beschäftigten mit dem Instrument der Minimierung der Kollektivdosis und den Vergleich von Schutzvorkehrungen unter Verwendung der Kollektivdosis als Vergleichsmaßstab für geeignet.
- (5) Werden statistische Kennwerte für die Strahlenexposition der Bevölkerung benötigt, sollten für diesen Zweck die Größen der Bevölkerungsgruppen in einzelnen Dosisklassen verwendet werden. Die Größe der mit weniger als 3 μSv pro Jahr exponierten Bevölkerungsgruppe sollte jedoch nicht als eine für Bilanzierungen und Vergleiche sinnvolle Maßzahl angesehen werden.

Anhang

Begriffsdefinitionen

Kollektivdosis

Die Kollektivdosis in einer Bevölkerungsgruppe ist das Produkt aus dem Mittelwert der effektiven Äquivalentdosis in dieser Bevölkerungsgruppe und der Anzahl der Personen dieser Gruppe. Der Zahlenwert der Kollektivdosis in einer Bevölkerungsgruppe ist die Summe aus den Zahlenwerten der effektiven Äquivalentdosen aller Personen dieser Bevölkerungsgruppe. Die Kollektivdosis in einer Bevölkerung ist die Summe der Kollektivdosen der einzelnen Bevölkerungsgruppen. Die Klassifikation nach Bevölkerungsgruppen soll deutlich machen, daß bei der Anwendung der Kollektivdosis ein Entscheidungsspielraum vorhanden ist, welche Gruppen einbezogen werden sollen, z. B. nur die Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen oder die Gesamtbevölkerung.

Genetisch-signifikante Dosis

Die genetisch signifikante Dosis ist gleich der Summe der mit der jeweiligen Kindererwartung multiplizierten Einzelgonadendosen der Personen eines Kollektivs, dividiert durch die gesamte Kindererwartung des betrachteten Kollektivs.

Strahlenrisiko

Das Strahlenrisiko einer Einzelperson für bestimmte, nachteilige biologische Strahlenwirkungen bei einer bestimmten effektiven Äquivalentdosis ist die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieser Wirkungen. Die Einzelperson kann zur Vereinfachung mit der Referenzperson nach ICRP gleichgesetzt werden. Diese wird durch Körpermaße und -funktionen beschrieben, die aus Mittelwerten einer Bevölkerungsgruppe gewonnen werden.

Risikoeffizient

Der Risikoeffizient ist der Quotient aus der Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten, nachteiligen Strahlenwirkung und der effektiven Äquivalentdosis. Sofern die Eintrittswahrscheinlichkeit der Dosis eindeutig zugeordnet werden kann, ist dieser Quotient berechenbar; nur bei Proportionalität zwischen Dosis und Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten nachteiligen Strahlenwirkung ist der Risikoeffizient dosisunabhängig.

Schadenserwartung

Die Schadenserwartung (detriment) in einer Bevölkerungsgruppe infolge einer Strahlenexposition ist eine Kenngröße für die erwarteten nachteiligen biologischen Strahlenwirkungen an Einzelpersonen dieser Bevölkerungsgruppe unter Berücksichtigung ihres Schweregrades und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit. Die Schadenserwartung wird für kleine Eintrittswahrscheinlichkeiten beschrieben durch das Produkt aus der Personenzahl und der Summe der mit den jeweiligen Schweregraden gewichteten Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen nachteiligen Strahlenwirkungen. Sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Dosis proportional, so ist die Schadenserwartung der Kollektivdosis proportional. Die Schadenserwartung ist ein statistischer Begriff, nämlich der mathematische Erwartungswert oder Schätzwert des Ausmaßes

von Strahlenschäden. Es handelt sich also um eine Rechengröße, nicht um eine Angabe über tatsächlich eingetretene Schadensfälle.