

Konsequenzen aus den Empfehlungen der ICRP 103 für den Strahlenschutz in Deutschland

Gemeinsames Positionspapier der mit dem Strahlenschutz befassten deutschen
Fachgesellschaften zu wesentlichen Schwerpunkten von ICRP 103

Deutsch-Schweizerischer Fachverband für Strahlenschutz e.V. (FS)

Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP)

Deutsche Gesellschaft für Medizinischen Strahlenschutz (DGMS)

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN)

Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie (DEGRO)

Deutsche Röntgengesellschaft (DRG)

Gesellschaft für Biologische Strahlenforschung (GBS)

Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)

Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)

Zusammenfassung

Die Empfehlungen der ICRP 103 stellen eine Weiterentwicklung und Klarstellung der bisherigen Konzeption des Strahlenschutzes dar. Insbesondere werden die Bedeutung und die Anwendungsgrenzen des LNT-Modells aufgezeigt. Neue biologische und physikalische Erkenntnisse werden angemessen berücksichtigt. Die bisherige Vorgehensweise im Strahlenschutz wird grundsätzlich bestätigt. Nach Auffassung der mit dem Strahlenschutz befassten deutschen Fachgesellschaften, im folgenden kurz "Fachgesellschaften" genannt, geben die Empfehlungen der ICRP 103 keine Veranlassung, prinzipielle Veränderungen im Strahlenschutz zu fordern.

Die ICRP regt an, weitergehende Optimierungsstrategien mittels Optimierungsrandbedingungen ("constraints") einzuführen. Dieses Konzept konkretisiert und präzisiert den seit langem bestehenden Grundsatz der Notwendigkeit einer Optimierung unterhalb von Grenzwerten. Dies wird von den Fachgesellschaften ausdrücklich begrüßt. Auf internationaler und nationaler Ebene muss intensiv diskutiert werden, um Lösungswege zu einer Verbesserung der Optimierungsverfahren zu finden.

Es besteht, abgesehen von der Augenlinse, keine Veranlassung, Grenzwerte zu verändern oder alters- bzw. geschlechtsspezifische Gewebe-Wichtungsfaktoren einzuführen.

Vorbemerkung

Die 2007 verabschiedeten neuen Empfehlungen der ICRP 103 bedeuten für den praktischen Strahlenschutz eine Konsolidierung der bisherigen Strahlenschutzkonzeptionen. Die ICRP empfiehlt Verbesserungen; grundsätzliche Änderungen der Konzeption sind aus der ICRP-Empfehlung jedoch nicht ableitbar.

ICRP 103 bestätigt im Wesentlichen sowohl qualitativ als auch quantitativ die bisherigen Schätzungen für strahleninduzierte Gesundheitseffekte. Sie bestätigt ebenfalls die grundsätzlichen Strahlenschutzstrategien der Rechtfertigung, der Optimierung und der Begrenzung, die sich bewährt haben und die auch im deutschen Strahlenschutzrecht verankert sind. Insbesondere werden in ICRP 103 keine Veränderungen der Dosis-Grenzwerte empfohlen.

Auch eine im Detail möglicherweise von ICRP 103 abweichende Bewertung einzelner Aspekte sowie die Berücksichtigung neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse geben nach Auffassung der Fachgesellschaften derzeit keine Veranlassung, Verschärfungen des Strahlenschutzrechts in Deutschland zu fordern. Dies deutlich zu betonen und als Konsens ihrer gemeinsamen Position zu formulieren ist der Zweck dieser Stellungnahme der Fachgesellschaften. Weiterhin soll sie einen Diskussionsbeitrag im Rahmen der Überarbeitung der neuen EU-Grundnormen und der IAEA Basic Safety Standards (BSS) leisten. Dieses Positionspapier erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern es beschränkt sich auf einige Schwerpunkte der ICRP-Empfehlungen.

1. Risikoschätzungen

1.1 Das Modell der Linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwelle (LNT-Modell)

Die Risikoschätzungen in ICRP 103 beruhen, ebenso wie in früheren ICRP-Empfehlungen, auf dem LNT-Modell. Dieses Modell ist eine Rechenregel auf der Basis der Annahme, dass die karzinogene und mutagene Wirkung von ionisierender Strahlung linear mit der Dosis zunimmt und keinen Dosiswellenwert aufweist (Linear, No-Threshold).

Abschätzungen des Dosis-Risikozusammenhangs, eine zentrale Aufgabe der Strahlenforschung, basieren in der Regel auf Auswertungen epidemiologischer Studien im Dosisbereich oberhalb von etwa 50 bis 100 mSv. Um Aussagen für den wichtigen Bereich von einigen 10 mSv oder einigen mSv zu erhalten, ist man daher auf die Extrapolation vom hohen in den niedrigen Dosisbereich angewiesen. Bei dieser Extrapolation werden strahlenbiologische Ergebnisse sowie biophysikalische und onkologische Wirkungsmechanismen berücksichtigt.

Auf der Grundlage strahlenepidemiologischer Studien ist im Dosisbereich deutlich oberhalb der natürlichen Strahlenexposition ein solcher dosisproportionaler Zusammenhang gut gesichert. Dies trifft sowohl für akute Strahlenexpositionen (hauptsächlich die Studien über die Atombombenüberlebenden) als auch für chronische Strahlenexpositionen (z.B. die Uran-Bergarbeiter-Studien) zu.

Weniger gut gesichert ist jedoch der Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehung im Bereich niedriger Dosen und Dosisleistungen (unterhalb einiger 10 mSv bzw. 1 mSv/a). In diesem Dosisbereich ist es der Epidemiologie aufgrund der dort vorhandenen statistischen Unsicherheiten grundsätzlich nicht möglich, den Kurvenverlauf hinreichend genau zu ermitteln. Viele strahlenepidemiologische Studien, vor allem auch die wichtigen Studien zu den Atombombenüberlebenden, sind mit der Annahme eines linearen Dosis-Wirkungszusammenhangs verträglich, allerdings kann auch keine der Studien eine Schwellendosis definitiv ausschließen. Wenn eine Schwelle für die effektive Dosis bzw. die effektive Dosisleistung existieren würde, läge sie nach den Studien über die Atombombenüberlebenden für akute Expositionen unterhalb von 60 mSv, bzw. für jahrzehntelange chronische Expositionen nach der europäischen Radonstudie unterhalb von 2 mSv/a.

Auch die strahlenbiologische Forschung konnte bisher diese Lücke nicht schließen. Die Karzinogenese im Organismus der Säugetiere und des Menschen ist ein vielstufiger, komplexer Prozess, der systemische Reaktionen auf allen Ebenen der Biologie (molekular, zellulär, geweblich, usw.) mit einschließt. Dosis-Wirkungsbeziehungen können für verschiedene biologische Endpunkte (quantitativ und qualitativ) durchaus unterschiedlich sein. Es finden sich auf zellulärer Ebene viele Effekte, für die ein nicht-linearer Wirkungsmechanismus als nachgewiesen gilt. Darunter sind solche mit hyperlinearer Form (z.B. Bystander-Effect), sublinearer Form (z.B. Adaptive Response) oder auch mit Schwellenwerten (z.B. Immunsuppression). Auch auf molekularer Ebene sind nicht-lineare Effekte denkbar. Ob bei der Gesamtbetrachtung der Wirkungskette der strahleninduzierten Karzinogenese eher einer

dieser nicht-linearen Effekte "durchschlägt" bzw. dominiert, oder ob ein linearer Dosis-Wirkungszusammenhang als eine Art "Ausmittlung" durch eine Überlagerung vielfältiger nicht-linearer Mechanismen entsteht, kann im niedrigen Dosisbereich heute noch nicht entschieden werden.

Die ICRP 103 räumt Missverständnisse und Unklarheiten um die Bedeutung und Anwendungsgrenzen des LNT-Modells aus. Dieses stellt eine für Strahlenschutz Zwecke zweckmäßige und praktikable Konvention für eine Dosis-Wirkungsbeziehung, jedoch keine Beschreibung eines Wirkungsmechanismus dar. Auch wenn durchaus davon auszugehen ist, dass auf molekularer, zellulärer und geweblicher Ebene eine Vielzahl nicht-linearer Effekte existieren, die Einfluss auf das Strahlenrisiko haben, ist die LNT-Annahme in Hinblick auf die epidemiologischen Studien im hohen Dosisbereich und aus Praktikabilitätsgründen als Konvention für die Zwecke des Strahlenschutzes gerechtfertigt. Es ist jedoch von grundsätzlicher Bedeutung festzuhalten, dass es sich im Bereich niedriger Dosen (unterhalb von einigen 10 mSv und unterhalb von etwa 1 mSv/a) um eine nach wie vor unbewiesene Annahme handelt. Auf diese Trennung zwischen einem Wirkungsmechanismus auf der Grundlage nachgewiesener biologischer Wirkungen auf der einen Seite und einer pragmatischen zahlenmäßigen Annahme zu Strahlenschutz Zwecken auf der anderen Seite wird in ICRP 103 ausdrücklich hingewiesen.

Das LNT-Modell ist von außerordentlicher Tragweite für die generelle Konzeption des Strahlenschutzes. Das Prinzip der Rechtfertigung, das ALARA-Prinzip, die Definition der effektiven Dosis und vieles mehr beruhen in wesentlichen Teilen auf dieser Annahme. Unter der Voraussetzung, dass die oben erläuterte Interpretation stets Berücksichtigung findet, stellt das LNT-Modell auch künftig eine tragfähige Basis für die Strahlenschutzkonzeption dar.

1.2 Kollektivdosis

Unter der uneingeschränkten Annahme, dass im Bereich niedriger Dosen lineare Dosis-Wirkungsbeziehungen gelten, ist es gleichbedeutend, ob eine kleine Zahl von Personen eine hohe Dosis erhält oder eine große Zahl eine sehr kleine, wenn das Produkt beider Faktoren, die Kollektivdosis, identisch ist. Für Situationen mit sehr kleinen Dosen, die viele Personen betreffen, ist es jedoch sinnvoll, eine Grenze für die Individualdosis zu definieren, unterhalb derer die Angabe einer Kollektivdosis als Maß für das Kollektivrisiko nicht mehr aufrechterhalten werden kann ("Unerheblichkeitsschwelle"). Für diese Zwecke ist bereits vor vielen Jahren das sog. 10 μ Sv-Konzept entwickelt worden ("De-minimis-Prinzip"), das u.a. im Rahmen der Freigaberegulungen Anwendung findet. Als Instrument der Optimierung im Strahlenschutz ist das Kollektivdosiskonzept in vielen Fällen geeignet. Es findet jedoch bei der Abschätzung der Folgen von Strahlenexpositionen mit kleinen Dosen in großen Personengruppen schnell seine Grenzen. Es ist ungeeignet, wenn es um die Schätzung von Todeszahlen im Bereich kleiner Dosen geht. Die ICRP 103 empfiehlt wegen der bestehenden Unkenntnis des Krebsrisikos bei niedrigen Dosen und Dosisleistungen, Todesfallberechnungen im Bereich kleiner Dosen grundsätzlich zu unterlassen.

1.3 Risikoeffizienten und Dosis-Dosisleistungs-Reduktionsfaktor (DDREF)

Die quantitative Verknüpfung zwischen Körperdosen und Risikoerhöhung erfolgt durch die so genannten Risikoeffizienten. Sie geben spezifiziert nach Alter, Geschlecht und Organ (Tumorlokalisation) die Erhöhung des Risikos pro Dosiserhöhung an.

Zur Abschätzung der Risikoeffizienten wendet die ICRP 103 ein Modell an, mit dem das Risiko auf der Grundlage von altersgemittelten Inzidenzdaten aus epidemiologischen Studien (vor allem der Studien über die Atombombenüberlebenden) anstelle von Mortalitätsraten

(ICRP 60) als gewichtete Größe angegeben wird. Die Gewichtung erfolgt durch Berücksichtigung der Überlebenswahrscheinlichkeit nach einer Tumorerkrankung, des Verlusts an Lebenszeit und Lebensqualität. Die so ermittelten relativen Beiträge der einzelnen Organe zum Gesamtrisiko bilden die Grundlage zur Ermittlung der Gewebewichtungsfaktoren der effektiven Dosis. Die ermittelten absoluten Risikoeffizienten ("nominal risk coefficients") liegen etwa 20% unterhalb der bisherigen Schätzungen aus ICRP 60.

Bei der Abschätzung der Risikoeffizienten für den Bereich kleiner Dosen und kleiner Dosisleistungen geht die ICRP 103 davon aus, dass die uneingeschränkte Anwendung des LNT-Modells zu einer Überschätzung des Risikos führt. Wie bereits in ihren vergangenen Empfehlungen setzt sie daher (für Niedrig-LET-Strahlung) einen Reduktionsfaktor von $DDREF=2$ für kleine Dosen und kleine Dosisleistungen an (dose and dose rate effectiveness factor, DDREF). Die Verwendung dieses Faktors ist nicht unumstritten. Auch die Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) plädiert für $DDREF=1$ d.h. für die Anwendung des unmodifizierten LNT-Modells. Auf der anderen Seite sind seit langem Wirkungsmechanismen wie z.B. die Akkumulation von somatischen Mutationen sowie Beobachtungen an menschlichen Kollektiven (z.B. Thorotrast-Patienten) bekannt, aus denen sich eine Abhängigkeit des Krebsrisikos von der Dosisleistung ergibt.

Abschätzungen auf der Grundlage bestimmter Modelle und Annahmen unterliegen naturgemäß gewissen Unsicherheiten. Grenzwertfestlegungen (s.u.), die auf Risikoeffizienten beruhen, müssen demnach robust sein gegenüber diesen Unsicherheiten und innerhalb deren Grenzen. Auch bei eventuellen Einschränkungen bezüglich der LNT-Annahme, der Modelle bei der Ermittlung der Risikoeffizienten und der Anwendung eines DDREF müssen festgelegte Grenzwerte ihre Schutzwirkung in ausreichendem Umfang behalten. Nach Auffassung der Fachgesellschaften erfüllen die gegenwärtig gültigen Grenzwerte diese Vorgabe.

2. Risikobegrenzung, Dosisbegrenzung

Ein Hauptziel des Strahlenschutzes ist die Begrenzung des durch ionisierende Strahlung verursachten Risikos bezüglich stochastischer Wirkungen. Risiken – individuell als auch kollektiv – sind jedoch einer Messung bzw. einer messtechnischen Überwachung nicht unmittelbar zugänglich. Daher wird im gegenwärtig praktizierten Strahlenschutz eine Risikobegrenzung durch die Begrenzung von (messtechnisch erfassbaren oder berechenbaren) Dosisgrößen und die Festlegung von Dosisgrenzwerten umgesetzt. Dabei wird unterstellt, dass die verschiedenen Dosisgrößen jeweils indirekte und angenäherte Maße für das mittlere Strahlenrisiko in einer betrachteten Gruppe darstellen.

Die Fachgesellschaften sind ebenso wie die ICRP der Ansicht, dass die tatsächlich bestehenden alters- und geschlechtsspezifischen Unterschiede der Risikoeffizienten nicht in allen Details in den Dosisgrößen abgebildet werden müssen. Denn zum einen ist mit Blick auf die Variationsbreite der individuellen Strahlenempfindlichkeit die Verwendung von geschlechts- und altersspezifischen Gewebewichtungsfaktoren bei der Definition der effektiven Dosis wenig sinnvoll; die effektive Dosis stellt kein Maß für das individuelle Risiko dar. Zum anderen soll der Strahlenschutz nach dem Optimierungsgebot in der Weise organisiert werden, dass die tatsächlichen Expositionen deutlich unterhalb der Grenzwerte liegen, sodass es auf zahlenmäßige Feinheiten der Grenzwerte und der Gewebewichtungsfaktoren nicht ankommt. Im Rahmen der Optimierung ist das präzisierte Konzept der Optimierungsrandbedingungen zielführender (s. Kap 3.).

Im Gegensatz hierzu sind bei einer individueller retrospektiven Ermittlung des Strahlenrisikos natürlich die alters- und geschlechtsspezifischen Unterschiede (z.B. bei Kindern, für die

Brustdrüse, den Hoden und das Ovar) zu berücksichtigen. Insbesondere bei der retrospektiven Risikoermittlung ist es zur Berücksichtigung der Verminderung der Lebensqualität notwendig, inzidenzbasierte Risikoeffizienten zu verwenden.

Mit Ausnahme der Augenlinse sind die derzeit in Deutschland gültigen Dosisgrenzwerte robust gegenüber einer Modifikation der verwendeten Methodik zur Risikoabschätzung (z.B. Verwendung inzidenzbasierter Risikoeffizienten). Nach Auffassung der Fachgesellschaften gilt dies auch für die Diskussion um DDREF=1.

3. Optimierung

Die ICRP bestätigt in ihrer Empfehlung 103 die Grundprinzipien des Strahlenschutzes, nämlich Rechtfertigung, Optimierung und die Anwendung von Dosisgrenzwerten.

Der Optimierung wird eine besondere Bedeutung beigemessen und als zentraler Punkt des Strahlenschutzes für alle Arten der Exposition (geplante Situationen, Notfallsituationen und existierende Situationen) angesehen. Die Fachgesellschaften stimmen dieser Aussage ausdrücklich zu. Als wesentlich sehen sie an, dass ein Optimierungsprozess installiert ist, der alle Umstände des Einzelfalles berücksichtigt. Das Ergebnis muss nicht notwendigerweise die Option mit der niedrigsten Dosis sein, wie von der ICRP ausdrücklich betont wird.

Als ein wichtiges Hilfsmittel der Optimierung sieht die ICRP das Konzept der "dose constraints" oder "reference levels", wobei "dose constraints" für Situationen anzuwenden sind, in denen es Dosisgrenzwerte gibt, die "reference levels" für sonstige Situationen.

Die Begriffe "dose constraint" und "reference level" der ICRP werden hier als "Optimierungsrandbedingungen" zusammengefasst, d.h. als prospektive und quellenbezogene Restriktionen der Individualdosis für die Optimierung des Strahlenschutzes in Bezug auf eine Quelle. ("Constraint" ist die direkte englische Übersetzung von "Randbedingung".) Optimierungsrandbedingungen in diesem Sinne sollen als ein Mittel der Optimierung in bestimmten Fällen eingesetzt werden. In weiten Bereichen sind solche Optimierungsrandbedingungen im Strahlenschutz bereits eingeführt und haben sich bewährt (z.B. diagnostische Referenzwerte in der Medizin). Es ist jedoch durchaus die Einführung weiterer Optimierungsrandbedingungen zu diskutieren, z.B. dort, wo auf der Basis neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse Verbesserungen im Strahlenschutz erreicht werden können. Die Fachgesellschaften unterstreichen ausdrücklich die Aussage der ICRP, dass "dose constraints" nicht als Grenzwerte anzusehen sind. Für die Wahl der Optimierungsrandbedingungen gibt die ICRP Bandbreiten vor. Eine Optimierung unterhalb von 10 $\mu\text{Sv/a}$ halten die Fachverbände für nicht gerechtfertigt.