

Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und deren Auswirkungen auf das nationale Strahlenschutzrecht

Rolf MICHEL

Institut für Radioökologie und Strahlenschutz
Leibniz Universität Hannover
michel@irs.uni-hannover.de

Kurzfassung. Mit der Publikation der Empfehlung 103 der ICRP im Jahr 2007 hat eine neue Runde der Aktualisierung der internationalen und nationalen Regelwerke begonnen. Obwohl sich das Regelwerk des Strahlenschutzes als robust erwiesen hat, werden einige grundlegende Neuerungen zu erwarten sein. Auch neue Erkenntnisse der Strahlenbiologie werden Veränderungen im Regelwerk notwendig machen, um das System des Strahlenschutzes dem Stand der Wissenschaft anzupassen.

1. Einleitung:

Im Jahr 2007 hat die ICRP ihre neue grundlegende Empfehlung 103 veröffentlicht [1]. Sie löst die Empfehlung 60 [2] aus dem Jahr 1990 ab, auf der sowohl der IAEA Basic Safety Standard (BSS) [3] und die EU Grundnormen [4] als auch die deutsche Strahlenschutzverordnung [5] und die Röntgenverordnung [6] beruhen. Mit der neuen ICRP Empfehlung [1] steht die Überarbeitung der internationalen und nationalen Regelwerke an. Sowohl für die IAEA BSS als auch die EU Grundnormen liegen Entwürfe [7,8] vor.

In dieser Arbeit wird ein Überblick über einige Aspekte des sich abzeichnenden zukünftigen Systems des Strahlenschutzes gegeben. Darüber hinaus werden einige neue Erkenntnisse und aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen des Strahlenschutzes diskutiert. Dabei können hier nur wenige Themen angesprochen werden; es sei daher auch auf die Vortragsfolien unter www.zsr.uni-hannover.de verwiesen.

2. ICRP 103: Die neuen Empfehlungen aus dem Jahr 2007

Die wichtigste Folgerung aus der neuen ICRP 103 ist, dass das System des Strahlenschutzes sich in den letzten anderthalb Jahrzehnten als robust erwiesen hat. ICRP 60 enthielt mit dem Übergang vom additiven zum multiplikativen Modell der Beschreibung stochastischer Risiken wesentliche Neuerungen mit der Konsequenz massiver Änderungen der Grenzwerte für die berufliche Exposition. ICRP 103 enthält zwar auch eine ganze Reihe von Neuerungen, die ihre Auswirkungen auf das Strahlenschutzrecht haben werden, aber die grundsätzlichen Einschätzungen von Strahlenrisiken sind erfreulich konstant geblieben. Während die nominellen Wahrscheinlichkeitskoeffizienten stochastischer Strahlenwirkungen (Tab. 1) sich für somatische Effekte nur wenig zu geringeren Werten verändert haben, sind die Werte für die genetischen Schäden deutlich abgesenkt worden. Nach wie vor sind genetische Schäden nach Bestrahlung bei lebend geborenen Menschen nicht beobachtet worden.

Die Wahrscheinlichkeitskoeffizienten sind nach wie vor aus Tierexperimenten abgeleitet, werden aber von der ICRP in ihrer Bedeutung deutlich heruntergestuft.

Tab. 1: Schadensadjustierte nominelle Wahrscheinlichkeitskoeffizienten stochastischer Strahlenwirkungen nach Bestrahlung bei niedrigen Dosisraten nach ICRP 103 [1].

exponierte Bevölkerung	Risiko nach Schadensart in 10^{-2} Sv^{-1}		
	Krebs	Erbschäden	gesamt
erwachsene „beruflich Strahlenexponierte“	4,1 ICRP 60: 4,8	0,1 ICRP 60: 0,8	4,2 ICRP 60: 5,6
gesamte Bevölkerung, alle Altersgruppen	5,5 ICRP 60: 6,0	0,2 ICRP 60: 1,3	5,7 ICRP 60: 7,3

Mit der Fortschreibung der nominellen Schadenskoeffizienten geht in ICRP 103 eine Aktualisierung der Gewebewichtungsfaktoren w_T einher. Wesentlichste Änderung ist die neue Einschätzung der genetischen Risiken. Damit werden die Gewebewichtungsfaktoren für die Keimdrüsen von 0,2 auf 0,08 gesenkt. Dies hat – zusammen mit einer etwas anderen Einteilung der „restlichen Gewebe“ – dann auch Veränderungen der übrigen Gewebewichtungsfaktoren zur Folge.

In ICRP 103 werden auch die Strahlungswichtungsfaktoren w_R leicht modifiziert; für Protonen wurde der Strahlungswichtungsfaktor von 5 auf 2 gesenkt und für Neutronen wurde die Stufenfunktion aus ICRP 60 durch eine neue, veränderte kontinuierliche Funktion ersetzt. Für Neutronenenergie unterhalb 10 keV gilt jetzt ein w_R von 2,5.

Wenn diese neuen Festlegungen der Strahlungs- und Gewebewichtungsfaktoren auch den Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnis widerspiegeln, was zu begrüßen ist, so ist doch zu befürchten, dass eine nachfolgende Revision der Dosisgrößen zu weiterer Verwirrung führen kann und die Vergleichbarkeit historischer Daten weiter erschwert.

Was bleibt also unverändert seit ICRP 60?

- Die LNT-Hypothese wird als Grundlage der Einschätzung von stochastischen Risiken benutzt.
- Die Prinzipien des Strahlenschutzesystems (Rechtfertigung, Optimierung und Dosisbegrenzung) bleiben erhalten.
- Die effektive Dosis wird für Planung und Überwachung (compliance) benutzt.
- Nominellen Risikokoeffizienten (basierend auf dem Krebsrisiko) von 5% pro Sv werden empfohlen.
- Die Dosisgrenzwerte bleiben unverändert.
- Die empfohlenen generische Risiko-Richtwerte (constraints) bleiben unverändert: für Beschäftigte 2×10^{-4} pro Jahr, für die Bevölkerung 10^{-5} pro Jahr.

Bei Strahlendosen unterhalb von etwa 100 mSv im Jahr wird von der ICRP 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 so genannten linearen Modells ohne Schwellendosis, das „linear-non-threshold“ (LNT) model, stellt nach Ansicht der ICRP den besten praktischen Ansatz zur Regulation des Risikos durch Strahlenexposition dar und ist dem Vorsorgeprinzip angemessen. Die Kommission ist der Ansicht, dass das LNT-Modell nach wie vor im Sinne der Vorsorge eine konservative Grundlage für den Strahlenschutz in Bereichen niedriger Dosis und Dosisleistung ist.

Die probabilistische Eigenschaft stochastischer Wirkungen und die Eigenschaften des LNT-Modells machen es nach Einschätzung der ICRP 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.

- 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 empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Die ICRP unterscheidet weiterhin drei Kategorien von Strahlenexpositionen: berufliche Expositionen, Expositionen der Bevölkerung und medizinische Expositionen. Neu ist die Unterscheidung von drei Expositionssituationen (exposure situations):

- **Geplante Expositionssituationen** sind solche, 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.
- **Bestehende Expositionssituationen** sind solche, die bereits bestehen, wenn eine Entscheidung über ihre Kontrolle getroffen werden muss. Eingeschlossen sind z.B. auch Situationen, die natürliche Strahlung und Rückstände früherer Tätigkeiten betreffen. Auch ehemals geplante Situationen, die nicht mehr den heutigen Strahlenschutzstandards genügen, sind als existierende Situationen anzusehen.
- **Notfall-Expositionssituationen** sind Strahlenexpositionen, die in einem Notfall, der während Tätigkeiten oder Arbeiten auftreten oder sich daraus entwickeln kann, Sofortmaßnahmen erfordern. Es sind nicht routinemäßige Situationen oder nicht routine-mäßige Ereignisse, die bzw. das unverzügliche Maßnahmen erfordern, 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.

Die Dosisgrenzwerte in geplanten Expositionssituationen bleiben unverändert. Sie betragen für die allgemeine Bevölkerung 1 mSv pro Jahr, wobei unter speziellen Umständen über 5 Jahre gemittelt werden darf. Für die berufliche Exposition ist der empfohlene Grenzwert 20 mSv pro Jahr, gemittelt über 5 Jahre, wobei allerdings die einzelnen Jahresdosen 50 mSv nicht überschreiten sollen.

Diese Grenzwerte gelten allerdings nur bei geplanten Expositionssituationen. Neu im System des Strahlenschutzes ist die Anwendung von Dosisgrenzwerten, Richtwerten (constraints) und Referenzwerten in den verschiedenen Expositionssituationen (Abb. 1). Dosisgrenzwerte gelten ausschließlich für geplante Expositionssituationen und sollen die Exposition der Beschäftigten und der Mitglieder der allgemeinen Bevölkerung aus **allen** regulierten Quellen begrenzen. Bei existierenden oder Notfall-Situationen kann eine Be-

grenzung nicht möglich sein, daher wären Grenzwerte hier unsinnig. Hier ist – wie bei geplanten Situationen – lediglich Optimierung des Schutzes möglich.

Die ICRP betont sehr stark die Bedeutung der Optimierung des Schutzes nach dem ALARA (*as low as reasonably achievable*) Prinzip, Strahlenexpositionen so niedrig wie sinnvollerweise möglich zu halten unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls und wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aspekte. Praktisch bedeutet Optimierung die Einführung von Richtwerten und Referenzwerten (Abb. 2).

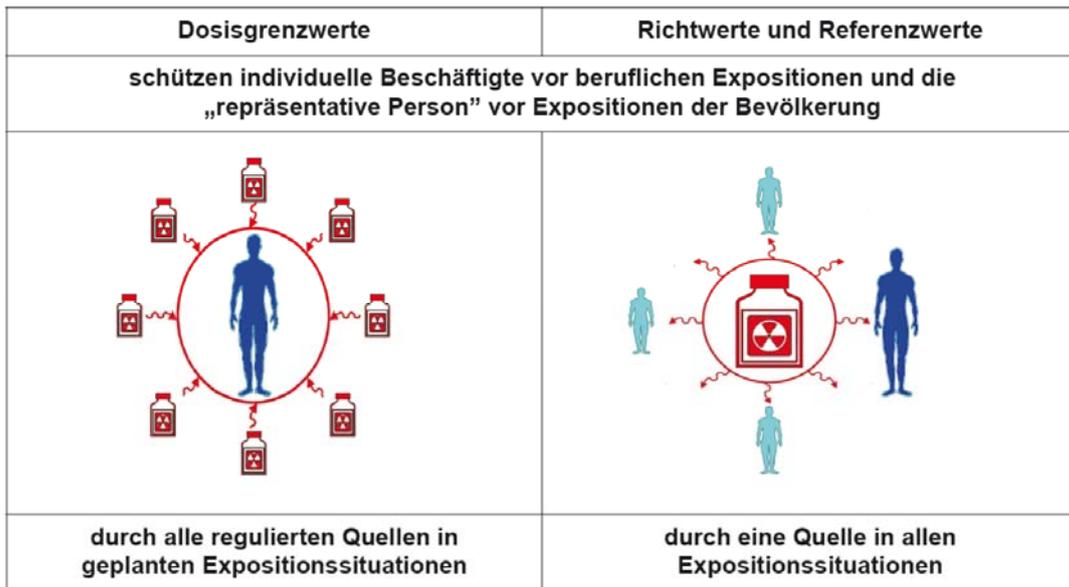


Abb. 1: Der Quellenbezug im ICRP Schutzsystem [1].

Der **Dosisrichtwert** (engl. constraint) dient bei geplanten Expositionssituationen der prospektiven und quellenbezogenen Beschränkung der individuellen Dosis aus einer regulierbaren Quelle und liegen unterhalb der Grenzwerte. 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.

Der **Referenzwert** 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. Es sind quellenbezogene Dosisrichtwerte und Referenzwerte, die sich auf einzelne alles beherrschende Quellen für alle kontrollierbaren Expositionssituationen beziehen.

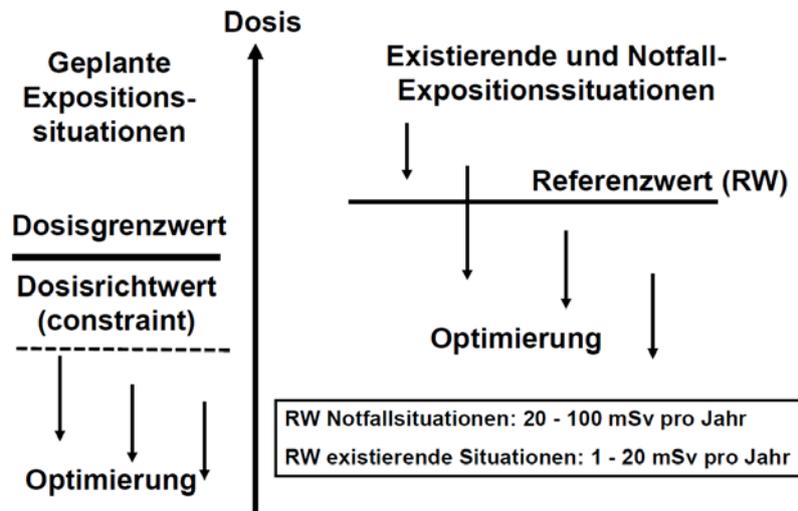


Abb. 2: Dosisricht- und Grenzwerte sowie Referenzwerte im ICRP 103 Schutzsystem.

Die ICRP gibt Bandbreiten für die Richt- und Referenzwerte. Außerhalb der Bandbreiten wird die Festlegung von Richt- oder Referenzwerten als nicht angemessen betrachtet. Die Optimierung erhält in existierenden und Notfallsituationen besondere Bedeutung; sie soll oberhalb und unterhalb der Referenzwerte erfolgen. In Notfallsituationen hält die ICRP Referenzwerte zwischen 20 mSv und 100 mSv im Jahr für sinnvoll. Der Referenzwert gibt hier die höchste, aufgrund der Planungen nicht zu überschreitende verbleibende Dosis infolge einer radiologischen Notfallsituation an. In existierenden Situation empfiehlt die ICRP eine Bandbreite von Referenzwerten zwischen 1 mSv und 20 mSv pro Jahr. Diese Referenzwerte sollen z.B. auch für Radon in Wohnungen gelten.

Die ICRP hebt darauf ab, dass der Prozess der Optimierung die Dosisverteilung in der betroffenen Population nicht nur die Mittelwerte der Expositionen in einer Bevölkerung zu berücksichtigen hat, sondern vor allem auch für die am höchsten exponierten Teile der Bevölkerung wirksam sein soll. Ein Referenzwert von 1 mSv pro Jahr wird als langfristiges Ziel bei existierenden Situationen angestrebt. Die Bandbreiten der Richtwerte für berufliche Strahlenexpositionen in geplanten Situationen liegen ebenfalls zwischen 1 mSv und 20 mSv im Jahr. Die gleiche Bandbreite soll z.B. auch für Richtwerte für helfende Personen von Patienten, die mit Radiopharmaka behandelt werden, gelten. Für die Expositionen der Bevölkerung in geplanten Situationen sollen ≤ 1 mSv pro Jahr liegen.

3. Der Weg durch die internationalen und in die nationalen Regelwerke

Obwohl sowohl für die IAEA BSS als auch die EU Grundnormen Entwürfe vorliegen [7,8], ist es schwierig vorauszusagen, wann und mit welchem exakten Inhalt sie endgültig verabschiedet werden. Noch ungewisser ist der Zeitpunkt, an dem ICRP 103 ihren Niederschlag in einer novellierten Strahlenschutzverordnung finden wird.

Man kann feststellen, dass die EU Grundnormen durch Zusammenfassung verschiedener Richtlinien umfangreicher als bisher sein werden. Sie sollen neben den alten EU Grundnormen [4] auch die Medizinverordnung [9], die Notfallverordnung [10], die Verordnung über Tätigkeiten in fremden Anlagen [11] und die Verordnung zu hochradioaktiven Strahlungsquellen [12] ersetzen und damit zu Grundnormen „aus einem Guss“ werden. Allerdings bleiben einige Bereiche des Strahlenschutzes außen vor: die Richtlinien über den Transport radioaktiver Abfälle [13], über die Nukleare Sicherheit [14], die Höchstmengenverordnung [15] sowie die Ratsentscheidung über den frühen Austausch von

Information im Falle eines nuklearen Notfalls [16] und die Richtlinie zur Überwachung des Trinkwassers [17].

Die EU Grundnormen [8] werden das Konzept der drei Expositionssituationen nach ICRP 103 übernehmen und alle Aspekte des Schutzes vor ionisierender Strahlung und vor künstlichen und natürlichen Radionukliden abdecken. Das regulatorische System des Strahlenschutzes geht weiterhin von dem bewährten Grundsatz aus, dass alle menschlichen Handlungen, die Expositionssituation von Mensch und Umwelt verändern und deren radiologische Risiken nicht außer Acht gelassen werden können, regulatorischen Kontrolle unterliegen sollen und der Anzeige oder Genehmigung bedürfen, es sei denn, sie sind von der Kontrolle ausgeschlossen, da gesetzliche Regelungen nicht anwendbar oder die regulatorische Kontrolle ineffektiv ist, oder sie sind explizit ausgenommen von der regulatorischen Kontrolle. Die Entlassung aus der Kontrolle erfolgt über den formalen Akt der Freigabe, für die die EU Grundnormen Kriterien nennen wird. Nicht enthalten sind im Entwurf der EU Grundnormen Regelungen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Wie die bestehende Richtlinie [4] aus dem Jahr 1996 enthält der neue Entwurf der EU Grundnormen [8] die Forderung nach einer realistischen Ermittlung der Strahlenexposition. Bisher ist diese Forderung in Deutschland noch nicht umgesetzt und man wird abwarten müssen, ob es diesmal bei der Umsetzung der EU Grundnormen in deutsches Recht möglich sein wird und man damit einen Schritt weiter zu einer Vergleichbarkeit von Dosisangaben im Europäischen Raum kommen wird.

4. Neue Erkenntnisse zu biologischen Strahlenwirkungen

Wenn auch die Einschätzung der gesundheitlichen Risiken ionisierender Strahlung oben als robust beschrieben wurde, bedeutet dies nicht, dass es nicht kontroverse Aspekte und neue wissenschaftliche Erkenntnisse gibt, die ihren Einfluss auf das zukünftige Strahlenschutzrecht haben werden. Einige Punkte sollen hier kurz angesprochen werden.

Die Situation ist derzeit dadurch gekennzeichnet, dass wir eine Fülle von Wissen über die zellulären Wirkungen ionisierender Strahlung haben und dass die Epidemiologie zuverlässige Erkenntnis über die Wirkungen auf den gesamten Organismus geliefert hat. Wie allerdings die modellmäßige Brücke zwischen der zellulären Ebene und dem Gesamtsystem Organismus zu schlagen ist, ist weitgehend unbekannt und Gegenstand aktueller Strahlenforschung. Die daraus resultierende Problematik wird am Beispiel des sog. Dose Rate Effectiveness Faktor DDREF deutlich: ICRP benutzt einen DDREF von 2, UNSCEAR nicht. Nach Einschätzung der SSK [18] gibt es aus der epidemiologischen Erkenntnis keine Notwendigkeit einen DDREF ungleich 1 anzunehmen. Dies ist auch die Haltung von UNSCEAR [19]. ICRP 103 benutzt weiterhin einen DDREF von 2 mit Hinweis auf strahlenbiologische Erkenntnis auf zellulärer Ebene, die eine geringere Wirkung protrahierter Exposition bei niedrigen Dosisraten gegenüber kurzzeitiger Exposition mit hoher Dosisrate ausweisen. Unabhängig davon, wie diese Kontroverse am Ende aufgelöst werden wird, ist aber zu betonen, dass eine Entscheidung für einen DDREF gleich 2 oder 1 nicht einen Automatismus der proportionalen Grenzwertänderung nach sich zieht.

Ein anderes Thema aktueller wissenschaftlicher Diskussion betrifft die Unterscheidung deterministischer und stochastischer Schäden. Nach klassischer Definition sind deterministische Schäden biologische Strahlenwirkungen, bei denen der Schweregrad des Schadens von der Dosis abhängt und der Schaden erst oberhalb einer Schwellendosis auftritt. Als Beispiele deterministischer Schäden werden meist Erythem, Haarausfall, Sterilität, das akute Strahlensyndrom (ARS) und die Linsentrübung durch Kataraktbildung genannt.

Es sind die Katarakte der Augenlinse, die die Diskussion um deterministische und stochastische Schäden ausgelöst haben. In verschiedenen Studien wurde eine Erhöhung der

Kataraktrate nach Strahlenexpositionen in der Größenordnung von 0,5 Gy und relative Risiken von ungefähr 1,5 nach Strahlenexposition von 1 Gy beobachtet. Da vergleichbare Effekte nach kurzfristigen Expositionen und nach Expositionen, die über einen längeren Zeitraum auftraten, beobachtet wurden, sind die Dosis- und Risikowerte nicht zum Grenzwert für eine jährliche Augenlinsendosis, sondern zu einer Berufslebensdosis in Beziehung zu setzen. Der gegenwärtig nach der Strahlenschutzverordnung geltende jährliche Grenzwert der Augenlinsendosis von 0,15 Gy entspricht bei einer 20-jährigen Expositionszeit einer kumulativen Dosis von 3 Gy. Diese Dosis ist fast um den Faktor 6 höher als die Dosis, für die zusätzliche Katarakte beobachtet wurden, und bewirkt nach dem heutigen Kenntnisstand mehr als eine Verdoppelung des spontanen Kataraktrisikos. Die SSK hat hierzu im Jahr 2009 eine Empfehlung [20] verabschiedet. ICRP und IAEA haben inzwischen reagiert und Absenkungen des Grenzwertes der Augenlinsendosis empfohlen [21,22].

Ein anders aktuelles Thema betrifft die Fragestellung, ob Nicht-Krebserkrankungen wie kardiovaskuläre Erkrankungen auch als stochastische Strahlenschäden auftreten? Es ist lange Stand wissenschaftlicher Erkenntnis, dass hohe Strahlenexpositionen des Herzen oder des Halses bei der Strahlentherapie ein erhöhtes Risiko für Herzerkrankungen und Schlaganfälle zur Folge haben. Ob dies auch für Strahlenexpositionen unterhalb 1 Gy gilt, ist unklar. In einer Studie der japanischen Überlebenden der Atombombenexplosionen, die die Jahre 1950 – 2003 umfasste, fanden Shimizu et al. [23] erhöhte Risiken für Tod durch Schlaganfall und Herzerkrankungen im Dosisbereich 0,5 Gy bis 2 Gy, wobei die Befunde unter 0,5 Gy statistisch nicht signifikant waren. Die Autoren betonen, dass ihre Befunde robust gegenüber verschiedenen Confoundern wie Lebensstil und anderen soziodemographischen Faktoren seien. Derzeit werden mit Spannung die Ergebnisse einer Studie der Arbeiter erwartet, die in der sowjetischen Wiederaufarbeitungsanlage Majak über viele Jahre relativ hoher beruflicher Strahlenexposition ausgesetzt waren. Allerdings ist dem Vernehmen nach auch hier der Hauptstreitpunkt, der die Publikation der Ergebnisse verzögert, wie die Vielzahl der möglichen Confounder zu berücksichtigen ist.

Vielleicht müssen wir uns in der Zukunft von der einfachen Einteilung möglicher Strahlenschäden in deterministische und stochastische Effekte verabschieden. Es kann durchaus sein, dass ein medizinischer Endpunkt sowohl stochastisch als auch deterministisch erreicht werden kann. Das könnte zu neuen Definitionen für deterministische und stochastische Schäden führen, etwa in dem Stil:

- Deterministische Schäden: Aufgrund massiven Zelltods fallen Funktionalitäten von bestimmten Zellsystemen, Geweben und Organen aus und es kommt zu systemischen Effekten wie Nekrosen, ARS, Katarakte der Augenlinsen,
- Stochastische Schäden: Aufgrund von zellulären Veränderungen (genetisch, epigenetisch, proteomisch, ...) kommt es zu systemischen Effekten (Krebs, Leukämie, Katarakte der Augenlinsen,...). Wenn immer die Wahrscheinlichkeit eines systemischen Schadens mit dem Alter zunimmt, muss man davon ausgehen, dass ein solcher Schaden durch Einwirkung einer Noxe, z.B. ionisierender Strahlung, als stochastischer Effekt mit einem multiplikativen Modell verstärkt werden kann.

6. Schlussfolgerungen

Permanente Veränderungen im Strahlenschutz sind unvermeidbar, da die Wissenschaft sich immer weiter entwickelt. Derzeit ist das System relativ stabil. Die Entwicklung ist positiv. Mit ICRP 103 existiert eine solide Grundlage zur Ausgestaltung des Strahlenschutzregelwerks in der näheren Zukunft. Aber Veränderungen und auch Überraschungen sind aus dem Bereich der Wissenschaft noch zu erwarten. Obwohl die Risiken relativ sicher quantifiziert sind, ist unser Unverständnis der biologischen Phänomene im Übergang von sub-

zellulären und zellulären Effekten zu den systemischen Effekten des Gesamtorganismus noch beträchtlich. Der wissenschaftliche und regulatorische Fortschritt des Strahlenschutzes sind wesentliche Bestandteile einer Kultur des Strahlenschutzes [24], die in die allgemeine Bevölkerung zu tragen, zu den großen Herausforderungen unserer Zeit gehört.

7. Referenzen

- [1] ICRP: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 37 (2-4) (2007).
- [2] ICRP: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP Volume 21/1-3 (1991).
- [3] IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series 115 (1996).
- [4] Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996, laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionising radiation .
- [5] BMU, Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793).
- [6] BMU, Röntgenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604).
- [7] IAEA, IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Draft 3.0, January 2010
- [8] EC, Draft European Basic Safety Standards Directive – Version 24 February 2010.
- [9] EC, Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom.
- [10] EC, Council Directive 89/618/Euratom of 27 November 1989 on informing the general public about health protection measures to be applied and steps to be taken in the event of a radiological emergency.
- [11] EC, Council Directive 90/641/Euratom of 4 December 1990 on the operational protection of outside workers exposed to the risk of ionising radiation during their activities in controlled areas.
- [12] EC, Council Directive 2003/122/Euratom of 22 December 2003 on the control of high-activity sealed radioactive sources and orphan sources.
- [13] EC, Council Directive 2006/117/Euratom on the shipment of radioactive waste.
- [14] EC, Council Directive 2009/71/Euratom on a framework for nuclear safety supplements the Basic Safety Standards.
- [15] EC, Council Decision 87/600 Euratom establishing arrangements for the early exchange of information in the event of a radiological emergency.
- [16] EC, Council Regulation 87/3954/Euratom laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
- [17] EC, Euratom Directive 98/83/EC, The Drinking Water Directive (DWD).
- [18] SSK, Krebsrisiko durch mehrjährige Expositionen mit Dosen im Bereich des Grenzwertes für die Berufslebensdosis nach § 56 StrlSchV, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 215. Sitzung der SSK am 20.04.2007, veröffentlicht im BAnz Nr. 183a vom 28.09.2007.
- [19] UNSCEAR, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, 2000, www.unscear.org.
- [20] SSK, Strahleninduzierte Katarakte, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 234. Sitzung der SSK am 14.05.2009, veröffentlicht im BAnz Nr. 180a vom 27.11.2009.
- [21] ICRP, Statement on Tissue Reactions, approved by the Commission on April 21, 2011.
- [22] IAEA, IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Draft 2.6. 2011.
- [23] Y. Shimizu et al., Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003, *BMJ* 2010;340:b5349 doi:10.1136/bmj.b5349
- [24] R. Michel, Was ist und warum bemühen wir uns um eine Kultur des Strahlenschutzes? *Strahlenschutz-PRAXIS* 15 (2009) No. 4, pp. 36 – 51.