Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

http://www.ssk.de

Risiko und Grenzwertsetzung

Zusammenfassung der Klausurtagung 2015 der SSK

Verabschiedet in der 279. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 03./ 04. Dezember 2015

INHALT

1 Motivation ... 3

2 Zusammenfassung der Vorträge ... 3

2.1 Jack Valentin: Geschichte und Grundlagen der ICRP-Grenzwerte ... 3

2.2 Wolfgang-Ulrich Müller: Die Bedeutung von Detriment, DDREF, Unsicherheit und Attributivität für Risikobewertung und Grenzwertsetzung ... 4

2.3 Heinz Otten: Berufsbedingte Risiken ... 5

2.4 Gerhard Frasch: Berufliche Expositionen mit ionisierender Strahlung ... 6

2.5 Roy Shore: Risk of cancer attributable to doses of ionizing radiation within the occupational limits ... 7

2.6 Peter Jacob: Herz-Kreislauferkrankungen nach Strahlenexposition mit einer Dosis von einigen hundert Millisievert ... 8

2.7 Maria Blettner: Krebsrisiken nach Exposition mit niedrigen Dosen im Kindesalter ... 9

2.8 Heidi Danker-Hopfe: Stellungnahme der EU (SCENIHR) zu potentiellen gesundheitlichen Risiken durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern – ein Update ... 9

2.9 Rüdiger Greinert: Risiken von UV-Strahlung: Epidemiologische, molekulargenetische und epigenetische Befunde als Grundlage der Risikoabschätzung ... 10

2.10 Emilie van Deventer: Harmonization of approaches for protection against ionizing and non-ionizing radiation ... 11

2.11 Rainer Gellermann, Martin Steiner: Maßstäbe zum Schutz der Umwelt ... 12

2.12 Andrea Hartwig: Grundlagen der Grenzwertsetzung für genotoxische Kanzerogene in Deutschland und Europa ... 13

2.13 Ortwin Renn: Wie bedrohlich sind systemische Risiken und warum werden sie unterschätzt? ... 14

2.14 Bernd Grosche: Krebsrisiken durch Radon ... 15

2.15 Wolfgang Weiss: Richtwerte für den Schutz von Einsatzkräften und die Bevölkerung in Notfallsituationen ... 15

2.16 Ortwin Renn: Risk Governance: Eine neue Perspektive zum Umgang mit komplexen Risiken ... 16

2.17 Dittmar Lack, Thomas Fliß: Nachweis der Langzeitsicherheit von Untertagedeponien für toxische Abfälle ... 16

2.18 Tobias Lindborg: From site understanding to dose calculation in the safety assessment SR-Site in Sweden ... 17

2.19 Mark Lohmann: Gesundheitliche Risiken und Grenzwerte – Wahrnehmung der Bevölkerung und Konsequenzen für die Risikokommunikation ... 18

3 Schlussfolgerungen ... 18

Literatur ... 20

Autoren der Vorträge ... 21

1 Motivation

Im März 2014 beauftragte das BMUB die SSK, sich mit den fachlichen Grundlagen für die Begründung der Grenz- und Richtwerte zu befassen. Dabei sollte sie auf die vorangegangenen Diskussionen zur Bewertung des DDREF (SSK 2014) und zu Dosiswirkungsbeziehungen für Herz-Kreislauferkrankungen (SSK 2012) Bezug nehmen. In einem ersten Schritt sollten die Werte für beruflich strahlenexponierte Personen betrachtet werden, die Werte für die Allgemeinbevölkerung erst im Anschluss.

Die SSK nahm diesen Beratungsauftrag zum Anlass, sich im Rahmen ihrer Klausurtagung 2015 (22. und 23. April 2015) einen allgemeinen Überblick über die verschiedenen Aspekte des Themenkomplexes Risiko und Grenzwertsetzung zu verschaffen.

2 Zusammenfassung der Vorträge

Das Programm der Klausurtagung 2015 umfasste 19 Vorträge, die einen Bogen schlugen von den Anfängen der von der ICRP empfohlenen Grenzwerte über den Umgang mit Risiken und Grenzwertsetzung in den verschiedensten Arbeits- und Lebensumständen bis hin zur Wahrnehmung und Kommunikation von Risiken. Im Einzelnen waren dies die nachstehend aufgeführten Beiträge, die die Darstellungen der Vortragenden wiedergeben und nicht notwendigerweise die Auffassung der SSK darstellen.

2.1 Jack Valentin: Geschichte und Grundlagen der ICRP-Grenzwerte

Jack Valentin gab einen geschichtlichen Überblick über die Rolle der ICRP bei der Bewertung des Risikos, das von ionisierender Strahlung ausgeht, und bei der Minimierung dieses Risikos. Dabei ging er insbesondere darauf ein, wie sich die Philosophie der Risikominimierung im Laufe der Zeit geändert hat.

Der Einsatz ionisierender Strahlung in vielen Bereichen des täglichen Lebens in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts führte dazu, dass bei den Anwendern Strahlenschäden auftraten. Aus diesem Grund entwickelte sich parallel dazu ein Bewusstsein für die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Risikominimierung zu entwickeln und mithilfe der drei Prinzipien „Zeit, Abstand, Abschirmung“ Schadensbegrenzung zu betreiben. Das Bestreben, ein sichereres Konzept für die Anwendung ionisierender Strahlung zu entwickeln, kulminierte in der Gründung der ICRP im Jahr 1928, die im gleichen Jahr erstmalig Grundlagen zu Schutzmaßnahmen bei der Anwendung ionisierender Strahlung veröffentlichte. Grundannahme dieser ersten Veröffentlichung war, dass durch angemessene Schutzmaßnahmen alle Schäden vermieden werden können. Dabei wurden Dosisgrenzwerte noch nicht als Werkzeug der Minimierung eingesetzt. Der erste Dosisgrenzwert (entsprechend etwa 500 mSv/a) der ICRP wurde 1934 veröffentlicht. Da radioaktive Substanzen jedoch weiterhin sorglos für Kosmetika, Lebensmittel und Kleidung eingesetzt wurden, wurde 1950 die höchste zulässige Dosis auf 0,3 r/Woche herabgesetzt (entsprechend etwa 150 mSv/a). Mit diesem Sicherheitsfaktor sollte Rücksicht auf Empfindlichkeitsunterschiede genommen werden.

Die Häufung der Leukämie-Inzidenzen in der Folge des Atombombenabwurfs über Hiroshima und die Erkenntnis, dass bei der Krebsentstehung jede Dosis das Risiko erhöht, führte zu der Annahme einer linearen Beziehung zwischen Dosis und Effekt und damit zu der Schlussfolgerung, dass Dosisgrenzwerte nicht dazu geeignet sind, „gefährlich“ von „sicher“ zu trennen. Die ICRP prägte daraufhin die Begriffe des „annehmbaren Risikos“ und der „Optimierung des Strahlenschutzes“ und stellte in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahr 1977

(ICRP 26) ein auf dem ALARA-Prinzip beruhendes Strahlenschutzsystem vor. Ziel der Dosisgrenzwerte war nun, basierend auf den Prinzipien der Rechtfertigung und Optimierung eine ungleiche Dosisverteilung zu verhindern. Man prägte den Begriff der „effektiven Äquivalentdosis“ und ging davon aus, dass der Schutz der Gesellschaft auch einen angemessenen Schutz des Individuums implizierte.

In der Veröffentlichung im Jahr 1990 (ICRP 60) trug man der Erkenntnis Rechnung, dass das Risiko pro mSv circa fünf Mal höher ist als bisher angenommen, und reduzierte die Dosisgrenzwerte. Dosisgrenzwerte wurden nun als Pflichtwerte eingesetzt, die nicht überschritten werden durften. Dosisrichtwerte wurden zusätzlich als Optimierungsinstrumente festgelegt, um dem Schutz des Individuums zusätzlich Nachdruck zu verleihen. In den darauf folgenden Publikationen ICRP 64, 76 und 77 wurden zunächst die Begriffe des Risikorichtwerts, des generischen Risikorichtwerts und schließlich des generischen Dosisrichtwerts definiert. Bei der Festlegung der heutigen Schutzmaßnahmen liegt der Fokus auf der Expositionssituation (geplante Exposition, bestehende Exposition, Notfall-Exposition).

Für die Zukunft stellt sich die Frage, ob die Regelungen des Strahlenschutzes vereinfacht werden können und inwiefern Zusammenwirkungen berücksichtigt werden können. Als wesentliche Erkenntnis aus der bisherigen Geschichte des Strahlenschutzes bzw. der ICRP sieht Herr Valentin, dass die Optimierung und nicht der Grenzwert zu einer Dosisreduktion führt.

2.2 Wolfgang-Ulrich Müller: Die Bedeutung von Detriment, DDREF, Unsicherheit und Attributivität für Risikobewertung und Grenzwertsetzung

Wolfgang-Ulrich Müller gab einen Überblick über grundlegende Konzepte, die bei der Beurteilung der Risiken ionisierender Strahlung und der diesbezüglichen Grenzwertsetzung relevant sind.

Risiko, Risikobewertung und Grenzwertsetzung: Laut UNSCEAR versteht man im Zusammenhang mit Strahlung unter **Risiko** die Wahrscheinlichkeit dafür, dass das interessierende Ereignis (z. B. Krebs) während eines definierten Zeitraums (z. B. Rest des Lebens nach Exposition) auftritt. Die **Risikobewertung** setzt sich zusammen aus der (natur)wissenschaftlichen Bewertung von Risiken (dies ist die zentrale Aufgabe der SSK) und der gesellschaftlichen und politischen Bewertung von Risiken (hierfür ist in erster Linie das Umweltministerium zuständig). Die allgemeine Begründung für die **Grenzwertsetzung** lautet: Verhinderung von deterministischen Effekten sowie Begrenzung der stochastischen Effekte auf ein akzeptables bzw. tolerables Maß und die Vermeidung von inakzeptablen Risiken.

Detriment: Laut ICRP handelt es sich beim Detriment um den gesamten Gesundheitsschaden einer exponierten Gruppe und deren Nachkommen als Folge der Exposition der Gruppe durch eine Strahlenquelle. Es setzt sich hauptsächlich zusammen aus den stochastischen Größen: Wahrscheinlichkeit für attributable Krebsmortalität; gewichtete Wahrscheinlichkeit für attributable Krebserkrankungen ohne Todesfolge; gewichtete Wahrscheinlichkeit für schwerwiegende vererbbare Defekte oder vererbbare Erkrankungen; Verlust an Lebenszeit, wenn der Schaden eintritt.

Bedeutung für die Risikobewertung: Wann immer sich Strahlenexpositionen ändern, soll sichergestellt sein, dass ein ausreichender individueller oder gesellschaftlicher Nutzen erreicht wird, um das Detriment, das durch die geänderten Bedingungen ausgelöst wird, aufzuwiegen.

Bedeutung für die Grenzwertsetzung: Das Detriment durch stochastische Effekte bestimmt zu einem erheblichen Teil die Wahl des Grenzwertes für die effektive Dosis pro Jahr. Hinzu kommt allerdings der gesellschaftliche Konsens, welches Risiko als akzeptabel angesehen wird.

DDREF (Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor): In ICRP 103 wird der DDREF folgendermaßen definiert: Ein Bewertungsfaktor (judged factor), der die gewöhnlich geringere biologische Wirksamkeit (pro Dosiseinheit) der Strahlenexposition bei niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen im Vergleich zu Expositionen bei hohen Dosen und hohen Dosisleistungen berücksichtigt.

Bedeutung für die Risikobewertung: Die Wahl des DDREF hat einen direkten Einfluss auf die Risikobewertung.

Bedeutung für die Grenzwertsetzung: Eine Änderung des DDREF von 2 auf z. B. 1 erfordert nicht zwingend eine Halbierung der Grenzwerte, da das Strahlenschutzkonzept (Rechtfertigung, Optimierung, Begrenzung) so robust ausgelegt ist, dass eine Änderung des DDREF nicht notwendigerweise zu Änderungen der Grenzwerte führen muss. Hinzu kommt, dass der DDREF nur ein Bestandteil des Detriments ist, das für die Formulierung der Grenzwerte verwendet wird.

Unsicherheit: Unsicherheit drückt aus, dass man Zweifel hat oder unsicher ist bezüglich des wahren Wertes einer Größe, für die man sich interessiert. „Unsicherheit“ bezieht sich auf die Verteilung der möglichen wahren Werte der interessierenden Größe. „Fehler“ (error) dagegen bezieht sich auf die tatsächliche Differenz zwischen dem wahren Wert der interessierenden Größe und der Abschätzung bzw. Messung dieses Wertes. Da der wahre Wert unbekannt ist, kann der Fehler nicht ermittelt werden.

Bedeutung für die Risikobewertung: ICRP weist an vielen Stellen seiner Empfehlungen auf die großen Unsicherheiten bei der Risikoabschätzung hin, ohne sie allerdings zu quantifizieren. ICRP benutzt die Unsicherheiten, um z. B. die Wahl des DDREF oder die Mittelung der Gewebewichtungsfaktoren von Männern und Frauen zu rechtfertigen.

Bedeutung für die Grenzwertsetzung: Bei der Ermittlung der effektiven Dosis durch Radionuklide geht ICRP nicht von Messwerten + Unsicherheiten aus, sondern von Referenzparametern (reference values), die festgelegt werden, und damit per definitionem keine Unsicherheiten aufweisen.

Attributivität: Unter Attributivität versteht man die Möglichkeit, einer Strahlenexposition einen Strahleneffekt oder ein Strahlenrisiko zuzuordnen.

Bedeutung für die Risikobewertung: Eine Zuordnung ist bei deterministischen Effekten fast immer möglich, sie ist für stochastische Effekte dann möglich, wenn große Populationen nach mittleren bis hohen Strahlendosen (höher als etwa 100 mSv) untersucht werden, sie ist nicht möglich für stochastische Effekte bei einer einzelnen Person. Letzteres hängt in erster Linie damit zusammen, dass es (bisher) keinen Biomarker für strahleninduzierte stochastische Effekte gibt.

Bedeutung für die Grenzwertsetzung: Dadurch dass das stochastische Risiko für eine Population zumindest oberhalb von etwa 100 mSv der Strahlung zugeordnet werden kann, ist die Basis für eine Grenzwertsetzung gelegt.

2.3 Heinz Otten: Berufsbedingte Risiken

Heinz Otten stellte die berufsbedingten Risiken in Deutschland vor. Die Arbeitsschutzgesetzgebung dient der „Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit“. Ehrenamtlich Tätige werden in den Kreis der zu Schützenden einbezogen über die Vorschriften der gesetzlichen Unfallversicherung, deren gesetzlicher Auftrag die Verhütung von Unfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren ist.

Im Jahr 2013 ereigneten sich in den von rund 40,1 Mio. sog. Vollarbeitern geleisteten 60,3 Mrd. Arbeitsstunden 932 tödliche Unfälle (606 Arbeits-Unfälle / 326 Wege-Unfälle), d. h. 0,012 pro 1 000 Vollarbeiter. Im gleichen Jahr war in weiteren 2 357 Fällen der Tod Folge einer Berufskrankheit (BK).

Für Risikobeurteilungen und Grenzwertsetzungen gibt es derzeit im Arbeitsschutz kein integriertes Konzept. Für manche BK-Tatbestände sind Grenzwerte der Prävention formuliert, für andere liegen Richtwerte oder Empfehlungen vor.

Für den Bereich der krebserzeugenden Stoffe hat der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) ein Risikokonzept mit drei Risikobereichen (niedriges/akzeptables Risiko; mittleres/tolerables Risiko; hohes/nicht tolerables Risiko) etabliert. Mit Stand 10/2014 sind Akzeptanz- und Toleranzschwellen für 16 Stoffe definiert. Für sonstige chemische Einwirkungen werden vom AGS Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) (z. Z. 407) veröffentlicht. Für biologische Einwirkungen sind keine Grenzwerte definiert, eine 4-stufige Risikoklassifikation basiert auf dem Infektionsrisiko. Für die physikalischen Einwirkungen Schall (Lärm) und Vibrationen sind Grenzwerte seit 2007 veröffentlicht. Richtwerte, aber keine Grenzwerte liegen vor für die Einwirkung durch Lasten auf das Muskel- und Skelettsystem.

Die vergleichende Betrachtung von Risiken unterschiedlicher Einwirkungen ist sinnvoll.

Ist ein einheitliches Bewertungskonzept für Gefährdungen durch Einwirkungen bei der Arbeit machbar?

Kann die Einführung von Akzeptanz- und Toleranzschwellen („Ampelmodell“) einen sinnvollen Einstieg in ein „nachvollziehbares“ risikobasiertes Bewertungskonzept für Gefährdungen darstellen?

2.4 Gerhard Frasch: Berufliche Expositionen mit ionisierender Strahlung

Gerhard Frasch gab auf der Grundlage der Daten des Strahlenschutzregisters einen Überblick über die berufliche Strahlenexposition in Deutschland.

Zielsetzung: In Deutschland sind ca. 400 000 Personen beruflich strahlenschutzüberwacht. Etwa 250 000 arbeiten in medizinischen Bereichen. Vor dem Hintergrund der abgesenkten Dosisgrenzwerte, die 2001 in der Strahlenschutz- und 2003 in der Röntgenverordnung eingeführt wurden, wird die Entwicklung der beruflichen Strahlenexposition in den letzten zwei Jahrzehnte für ausgewählte medizinische und nicht-medizinische Tätigkeitsbereiche vergleichend dargestellt.

Material und Methodik: Die statistische Analyse der beruflichen Strahlenexposition basiert auf den Daten der amtlichen Personendosimetrie aller beruflich strahlenschutzüberwachten Personen in Deutschland, die in den Bereichen Medizin, Kerntechnik, Industrie, Forschung und Luftfahrt tätig sind. Diese Expositionsdaten werden im Strahlenschutzregister des Bundesamts für Strahlenschutz monatlich personenbezogen zusammengeführt und im Hinblick auf die Einhaltung der Strahlenschutzgrundsätze Limitierung und Optimierung ausgewertet. Die hier analysierten Daten umfassen überwiegend den Zeitraum 1998 bis 2013.

Ergebnisse: In den meisten Tätigkeitsbereichen ist die berufliche Ganzkörperexposition im Beobachtungszeitraum deutlich zurückgegangen. Gezeigt wird dies durch die Abnahme der Grenzwertüberschreitungen, den Rückgang der mittleren Jahrespersonendosis und der Kollektivdosis. Auch belegt die Verschiebung der in der Regel lognormalen Häufigkeitsverteilungen der Dosis zu niedrigeren Werten die erfolgreiche Umsetzung des ALARA-Prinzips. Gegenläufig ist der Trend dagegen bei den Teilkörperexpositionen der Hand im Bereich der

Medizin. Dies kann zum einen auf eine vermehrte Akzeptanz von Fingerringdosimetern und zum anderen auf neue, spezifische Tätigkeiten in der interventionellen Radiologie und der Nuklearmedizin zurückgeführt werden. Die Dosisentwicklung des fliegenden Personals steigt und fällt dagegen antizyklisch mit der Sonnenaktivität. Sie wird aber auch von der Konjunktur und den saisonalen Schwankungen des Luftfahrtgeschäfts beeinflusst.

Schlussfolgerungen: Insgesamt belegen die Dosisstatistiken für den beruflichen Strahlenschutz, dass in Bezug auf Limitierung und Optimierung die Anforderungen der Röntgen- und Strahlenschutzverordnung in allen Tätigkeitsbereichen mit überwiegend guten Ergebnissen umgesetzt wurden.

2.5 Roy Shore: Risk of cancer attributable to doses of ionizing radiation within the occupational limits

Hinweis: die von Roy Shore geäußerten Kommentare und Auffassungen spiegeln nicht unbedingt die Standpunkte der Task Group 91 der ICRP on Dose and Dose-Rate Effectiveness Factors wider, sondern sind seine persönliche Meinung.

Roy Shore geht einleitend auf die beiden miteinander korrelierten Komponenten des DDREF (Dose and Dose-Rate Effectiveness Factor), den LDEF (low-dose effectiveness factor) und den DREF (dose-rate effectiveness factor) ein. Er betont, dass bei der Bewertung epidemiologischer Daten zu Krebsrisiken nach Exposition mit niedrigen Strahlendosen bzw. Strahlendosisleistungen ein Weight-of-Evidence-Ansatz notwendig ist.

Sein erster thematischer Schwerpunkt sind Erläuterungen zu den aktuellsten LSS-Daten im Bericht von Ozasa et al. (2012). Da es sich bei der LSS um Expositionen mit großer Dosisleistung handelt, können im Rahmen der LSS nur Dosis-Effekte (LDEF), jedoch keine Dosisleistungs-Effekte (DREF) untersucht werden. Die Interpretation für die aufsteigende Krümmung der Dosis-Wirkungs-Kurve für die Mortalitätsdaten solider Tumoren bei den Atombombenüberlebenden ist noch unklar.

Anschließend beschreibt er den Einfluss von Confoundern, die bei den Auswertungen von epidemiologischen Studien zum Krebsrisiko nach Exposition mit niedrigen Dosen bzw. Dosisleistungen eine erhebliche Rolle spielen können. Confounder sind Variablen, die sowohl mit der Exposition als auch mit der gesundheitlichen Auswirkung korrelieren. Da sich bei geringen Dosen Signale nur schwer vom Hintergrund abheben, ist es unbedingt nötig, eine möglichst große Datenmenge zu erfassen, um Statistiken mit ausreichender Aussagekraft zu erhalten. Ein geeignetes Werkzeug hierfür ist die Durchführung von Meta-Analysen („weight of evidence“), die idealerweise ein repräsentatives Abbild aller veröffentlichten Studien liefern sollten. Es gibt aber eine Reihe von möglichen Verzerrungen (Publikations-Bias u. a.), die bei Meta-Analysen zu einer Verschiebung der Aussagen führen können.

Bisher durchgeführte epidemiologische Studien zum Mortalitätsrisiko von allen soliden Tumoren zusammen nach Exposition von niedrigen Dosen bzw. Dosisleistungen zeigen bei 13 von 18 Publikationen ein gewisses Risiko („some risk“). Eine Meta-Analyse der vorliegenden epidemiologischen Untersuchungen sowie Angaben zum Wert des DDREF liegen zurzeit noch nicht vor. Da Strahleneffekte bei den einzelnen Tumorentitäten unterschiedlich stark durch genetische Veranlagungen und Umweltrisikofaktoren beeinflussen werden können sowie die Spontanraten bei verschiedenen Populationen variieren, untersucht die Task Group der ICRP daher auch Studien zu weiteren Endpunkten, wie z. B. Lungenkrebs. Die Gesamtschau dieser Studien, bei denen das Rauchverhalten ein möglicher Confounder ist, deuten – so Roy Shore – auf ein geringes Risiko hin.

2.6 Peter Jacob: Herz-Kreislauferkrankungen nach Strahlenexposition mit einer Dosis von einigen hundert Millisievert

Peter Jacob fasste die Ergebnisse neuerer Untersuchungen zu Herz-Kreislauferkrankungen nach Strahlenexposition zusammen. Es gibt eine große Anzahl strahlenepidemiologischer Studien von Herz-Kreiskauferkrankungen in strahlenexponierten Populationen. Allerdings erschwert die Multikausalität der Erkrankungen die Bestimmung des Strahlenrisikos. Risikofaktoren wie Rauchen, Hyperlipidämie, Hypertonie, Diabetes mellitus, Übergewicht und körperliche Inaktivität werden in den meisten epidemiologischen Studien gar nicht oder nur teilweise erfasst. Zusätzlich hat die Angabe von Subtypen von Herz-Kreislauferkrankungen auf Totenscheinen oft eine unzureichende Zuverlässigkeit, und ihre Definition hat sich im Laufe der Zeit immer wieder geändert. Es ist zwar davon auszugehen, dass die Subtypen unterschiedliche Dosiswirkungsbeziehungen aufweisen, wegen der genannten Beschränkungen, liegen jedoch stabile Studienergebnisse im Wesentlichen nur für größere Gruppen von Herz-Kreislauferkrankungen wie zerebrovaskuläre Erkrankungen oder ischämische Herzerkrankungen vor.

Neuere strahlenbiologische Untersuchungen erweisen, dass sich Strahlenwirkungen nach Expositionen mit niedrigen und mittleren Dosen nicht nur in der Höhe sondern insbesondere auch in der Art von Strahlenwirkungen nach hohen Expositionen unterscheiden. Es gibt deshalb keine strahlenbiologische Begründung für eine Analyse epidemiologischer Daten mit einer linearen Dosiswirkungsbeziehung. Die Analyse der Daten mit anderen Dosiswirkungsbeziehungen gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat im Jahre 2012 abgeschätzt, dass eine Dosis von 500 mGy durch eine Exposition mit niedrig-LET Strahlung zu einem Lebenszeitrisiko für zerebrosvaskuläre Erkrankungen und ischämische Herzerkrankungen von jeweils ca. 1 % führt. Diese Abschätzung beruht auf

- dem Ergebnis eines zusätzlichen relativen Risikos von ca. 0,1/Gy in einer Meta-Analyse von Studien, in denen die Daten mit einer linearen Dosiswirkungsbeziehung analysiert wurden und
- einer nicht explizit genannten Annahme, dass das Risiko bei einigen hundert Milligray niedriger ist als das Ergebnis der Meta-Analyse.

Neuere epidemiologische Untersuchungen insbesondere der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki und der Arbeiter in den Majak-Produktionsanlagen ergaben eine gemischte Evidenz: In einigen Studien wurden die Ergebnisse am besten durch eine lineare Dosiswirkungsbeziehung beschrieben, in anderen zu mindestens genauso gut durch Funktionen mit deutlich kleineren Risikowerten bei niedrigen Dosen (insbesondere rein quadratische Funktionen und lineare Funktionen mit einem Schwellenwert höher als einige hundert Milligray). Analysen dieser und auch weiterer neuer Studien mit der linearen Dosiswirkungsbeziehung ergaben in der Summe eine Bestätigung eines relativen zusätzlichen Risikos von ca. 0,1/Gy.

Insgesamt haben die neuen Studien die Abschätzung der ICRP für das Risiko bei 500 mGy bestätigt. Auch bei niedrigeren Dosen kann davon ausgegangen werden, dass sowohl das relative als auch das absolute Risiko für Herz-Kreislauferkrankungen niedriger als das Krebsrisiko sind.

2.7 Maria Blettner: Krebsrisiken nach Exposition mit niedrigen Dosen im Kindesalter

Maria Blettner berichtete über neue Studien, die untersuchen, ob es ein erhöhtes Krebsrisiko nach CT Untersuchungen im Kindesalter gibt.

Erste epidemiologische Studien zu dieser Fragestellung wurden in den letzten Jahren in Großbritannien, Australien und Taiwan publiziert und berichten zum Teil eine Risikoerhöhung für Hirntumoren und Leukämien. Allerdings sind die Studien sehr heterogen und die Ergebnisse inkonsistent. Derzeit wird eine von der EU geförderte Studie in sechs Ländern durchgeführt. Das Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI) der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz führte zusammen mit dem Bremer Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie – BIPS GmbH diese Studie in Deutschland durch und hat erste Ergebnisse kürzlich veröffentlicht. Konkret wird die Frage untersucht, ob Kinder, die mindestens eine diagnostische computertomografische Untersuchung vor dem 15. Lebensjahr hatten, häufiger an Leukämie oder einem Hirntumor erkranken als Kinder, die nicht mit diesem bildgebenden Verfahren untersucht wurden.

In die deutsche, multizentrische Kohortenstudie wurden Daten von rund 45 000 Kindern im Alter bis 15 Jahren aus 20 Krankenhäusern eingeschlossen. Die Kinder waren zwischen 1980 und 2010 mindestens einmal mit einer CT diagnostisch untersucht worden und zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung nicht an Krebs erkrankt. Die individuelle Strahlenexposition wurde anhand von Datenbeständen klinischer, radiologischer Institute bestimmt. Außerdem wurden auf Stichprobenbasis radiologische Befundtexte herangezogen, um sicher zu stellen, dass die CT-Untersuchung nicht im Zusammenhang mit einem Tumor durchgeführt wurde. Der Abgleich der Kohorte wurde mit den Daten des Deutschen Kinderkrebsregisters durchgeführt. Die Auswertung der Studiendaten ergab, dass 39 Kinder frühestens zwei Jahre nach der ersten Computertomografie (CT) ein Tumorleiden entwickelt hatten. Theoretisch erwartet wurden etwa 21 Krebsfälle: es wurden also mehr Fälle beobachtet als erwartet, allerdings bei sehr niedrigen Fallzahlen: 7 Patienten mit einer Krebserkrankung des Zentralen Nervensystems bei 5,2 erwarteten, 12 statt der erwarteten 7 Leukämiepatienten und 20 Patienten, die an einem Tumor erkrankt waren. Aus dem Vergleich von beobachteten und erwarteten Erkrankungszahlen wurde das standardisierte Inzidenzverhältnis oder (SIR-Standardized Incidence Ratio) errechnet. Demnach wurden insgesamt 1,87-mal so viele Fälle beobachtet wie erwartet, für Krebserkrankungen des zentralen Nervensystems beträgt dieser Quotient 1,35 und für Leukämien 1,72. Im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung sind die beobachteten Werte also leicht erhöht. Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass es sich hier um eine selektive Population handelt, weitere Untersuchungen über Gründe für die CT-Untersuchung und ein späteres Krebsrisiko sind notwendig. Die Daten der deutschen Studie sind nur ein Teil der EU-Studie. Diese Kohorte wird einige Hunderttausend Personen mit einer CT-Exposition umfassen und vermutlich im Jahre 2016 publiziert.

2.8 Heidi Danker-Hopfe: Stellungnahme der EU (SCENIHR) zu potentiellen gesundheitlichen Risiken durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern – ein Update

Heidi Danker-Hopfe stellte die Stellungnahme der EU (SCENIHR[1]) zu potentiellen gesundheitlichen Risiken durch Exposition mit elektromagnetischen Feldern vor. Sie ist eine

[1] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

Fortschreibung des Berichtes aus dem Jahr 2009 unter Berücksichtigung der seither erschienenen Literatur. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Fragen gelegt, zu denen im vorhergehenden Bericht Informationslücken identifiziert wurden, dazu zählen u. a. eine Berücksichtigung des THz-Frequenzbereichs sowie die mögliche Bedeutung einer Co-Exposition mit anderen Stoffen der Umwelt im Hinblick auf biologische Effekte, die EMF zugeschrieben werden. Darüber hinaus umfasst die Stellungnahme eine Prioritätenliste mit Forschungsempfehlungen.

Aufgrund der zunehmenden Nutzung der **THz-Technologie** werden in diesem Bereich Forschungen im Hinblick auf Hauteffekte (Langzeit low-level Exposition) und zu Effekten auf die Cornea (Kurzzeitexposition mit hoher Intensität) empfohlen.

Im Bereich der **hochfrequenten Felder** sollten Studien mit ausreichender Dauer zu Effekten der Exposition durch Mobiltelefone auf das Auftreten von Gehirntumoren bei Kindern sowie eine prospektive Kohortenstudie mit ausreichender Stichprobengröße zur Erreichung realistischer Effektgrößen zu Langzeiteffekten der Exposition durch Mobiltelefone unter Berücksichtigung neuerer Entwicklungen im Bereich Expositionsbestimmung sowie unter Berücksichtigung zusätzlicher Zielparameter (zerebrovaskuläre und neurodegenerative Erkrankungen) durchgeführt werden. Ferner wird experimentellen Humanstudien zu alters- und geschlechtsspezifischen Effekten auf das Schlaf- und Wach-EEG sowie einer Multicenter-Studie zu neurophysiologischen Effekten eine hohe Priorität zugeschrieben.

Da im **mittleren Frequenzbereich** (300 Hz bis 100 kHz) eine Risikobewertung möglicher Gesundheitseffekte aufgrund der geringen Zahl von Studie nicht möglich ist, wird für diesen Bereich eine epidemiologische Studie an beruflich exponierten Personen mit gut definierter Exposition und einer Kontrollgruppe, in der auch Biomarker berücksichtigt werden, als besonders wichtig angesehen.

Im Bereich der **niederfrequenten Felder** werden die Durchführung von Studien zu Effekten im kürzlich entwickelten Mausmodell zur akuten lymphatischen Leukämie und eine Kohorten- oder Register-basierte Fall-Kontrollstudie zu Effekten niederfrequenter Magnetfelder auf die Inzidenz und Mortalität von Alzheimer prioritär empfohlen.

Um Gesundheitseffekte durch **statische Felder** zu untersuchen, sollten Daten zu Schwellen für Wahrnehmung, Belästigung und andere Effekte an repräsentativen Bevölkerungsstichproben erhoben werden. Des Weiteren sollten eine prospektive Langzeitstudie oder eine retrospektive Studie an beruflich exponierten Personen, die hohen Streufeldern von MRT-Geräten ausgesetzt sind sowie eine Kohortenstudie zu Effekten der Exposition durch MRT-Untersuchungen bei Kindern mit hoher Priorität durchgeführt werden.

Insgesamt enthält der Bericht 15 Forschungsempfehlungen hoher Priorität, 17 mittlerer und 5 geringer Priorität.

2.9 Rüdiger Greinert: Risiken von UV-Strahlung: Epidemiologische, molekulargenetische und epigenetische Befunde als Grundlage der Risikoabschätzung

Rüdiger Greinert stellte dar, dass große epidemiologische Studien schon seit langem den Zusammenhang zwischen erhöhter Hautkrebs-Inzidenz (Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom) und akkumulierter UV-Dosis belegen. Sie zeigen eine signifikante Erhöhung des relativen Risikos für das Auftreten maligner Melanome bei frühzeitiger erstmaliger Nutzung von Solarien (künstlicher UV-Strahlung) und kennzeichnen phänotypische Risikomarker, wie z. B. eine erhöhte Zahl (UV-induzierter) Nävi beim malignen Melanom.

Es wird jedoch notwendig sein, in der Zukunft individuelle Biomarker für eine zurückliegende UV-Exposition, für „persons at risk“, für die Diagnostik, den klinischen Verlauf einer Hautkrebserkrankung und letztendlich für das Ansprechen auf bestimmte Therapieformen zu finden.

Neue, große Studien zeigen, dass genomweite Mutationsanalysen unter Einsatz von neuen Methoden („next generation sequencing“) deutliche Belege dafür liefern, dass das Mutationsspektrum im Genom maligner Melanome zum überwiegenden Teil durch das Auftreten solcher Mutationen charakterisiert wird, die eindeutig auf UV-Strahlung zurückzuführen sind („UV-signature mutations“). Mutationsanalysen können daher zukünftig (bei zu erwartender Erniedrigung der Sequenzierungskosten) auch auf individueller Ebene im Rahmen einer Risiko-(Expositions-)Analyse und in der Diagnostik eingesetzt werden.

Von ebenso großer Bedeutung werden in Zukunft Biomarker sein, die bestimmte epigenetische Veränderungen im Genom nachweisen. Epigenetische Prozesse sind dabei solche, welche die Basensequenz im Genom nicht ändern, aber, durch chemische Modifikation, so elementare Prozesse wie die Gen-Expression regulieren. Es konnte gezeigt werden, dass UV-Strahlung in der Lage ist, epigenetische Veränderungen (wie z. B. die Methylierung der Promotor-Sequenz) bei Genen zu beeinflussen, welche für die Hautkrebsentstehung von großer Bedeutung sind.

Noch größer ist wahrscheinlich die Nutzung von micro-RNAs (miRNA) als potentielle (epigenetische) Biomarker. miRNAs regulieren (post-transkriptionell) die Gen-Expression und sind in nahezu alle zellulären Prozesse involviert, auch in solche, die mit der Hautkrebsentstehung verbunden sind. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass gezeigt werden konnte, dass die Expression von miRNAs durch UV-Strahlung reguliert werden kann, UV-Strahlung also in der Lage ist, über miRNAs in die Expression anderer Gene einzugreifen. Interessanterweise können zelluläre miRNAs in Blut, Serum oder anderen Körperflüssigkeiten transportiert werden und sind somit einer schnellen, minimal invasiven (z. B. durch Blutentnahme) Analyse zugänglich. Diese Tatsache macht sie zu besonders geeigneten Kandidaten als Biomarker für eine individualisierte Risikobewertung und personalisierte Diagnostik, die im Bereich strahlen-/UV-induzierter Ereignisse genutzt werden können.

2.10 Emilie van Deventer: Harmonization of approaches for protection against ionizing and non-ionizing radiation

Emilie van Deventer berichtete über die Initiative der WHO, für das Feld der nicht-ionisierenden Strahlung (elektromagnetische Strahlung, elektromagnetische Felder, akustische Wellen) ein internationales Regelwerk zu schaffen, das den IAEA-Grundnormen für die ionisierende Strahlung vergleichbar ist und das von den Mitgliedsstaaten auf nationaler Ebene umgesetzt werden kann. Ziel der Bemühungen ist es zum einen, für die Anwendungsbereiche der nicht-ionisierenden Strahlung Vorschriften und Maßstäbe zu entwickeln, und zum anderen, deren Einhaltung zu überwachen. Die bereits existierenden Richtlinien verschiedener NGOs sollen damit harmonisiert und untereinander konsistent gemacht werden. Die WHO hat sich zum Ziel gesetzt, in angemessenem Maße für den Schutz der allgemeinen Bevölkerung und der Umwelt vor den schädlichen Auswirkungen nicht-ionisierender Strahlung zu sorgen, ohne dabei deren Nutzen zu beschränken. Bei der Erstellung dieser Sicherheitsstandards orientiert man sich an den Regelwerken, die für die ionisierende Strahlung bereits vorliegen. Die bisherigen Beratungen, an denen im Wesentlichen internationale Organisationen aber auch NGOs beteiligt waren, haben ergeben, dass insbesondere geplante und bestehende Expositionssituationen zu betrachten sind. Anders als bei der ionisierenden Strahlung können Notfall-Expositionssituationen vernachlässigt werden. Es werden Richtlinien für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung ebenso benötigt wie für die Exposition von Beschäftigten und für die medizinische Exposition. Die drei Minimierungsprinzipien des Strahlenschutzes Rechtfertigung, Optimierung und Begrenzung sind auch auf die

Anwendungen der nicht-ionisierenden Strahlung übertragbar, wobei die meisten existierenden Richtlinien sich auf das Prinzip der Begrenzung stützen. Bei nicht-ionisierenden Strahlungsarten mit eindeutigem Nutzen (z. B. optische Strahlung) wird neben dem Prinzip der Begrenzung auch das Prinzip der Optimierung zum Tragen kommen.

Um ein übergreifendes System zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung zu entwickeln, müssen sich die beteiligten Organisationen zunächst auf eine gemeinsame Philosophie einigen, die auf alle Teilbereiche der nicht-ionisierenden Strahlung anwendbar ist. Als nächstes gilt es dann die Lücken in den bestehenden Vorgaben und Richtlinien zu füllen. Insbesondere die Anwendung von Produkten, die sich nicht-ionisierender Strahlung bedienen, muss eindeutiger reguliert werden, da hier in vielen Fällen noch keine universellen Richtlinien zu Warnhinweisen, Einverständniserklärungen und Mindestalter für die Nutzung vorliegen.

2.11 Rainer Gellermann, Martin Steiner: Maßstäbe zum Schutz der Umwelt

Rainer Gellermann gab als vortragender Autor einen Überblick zum Schutz der Umwelt als Teil des Strahlenschutzes. Als Ziele zum Schutz der Umwelt im Strahlenschutz benannten die Autoren den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung, den Schutz der belebten Natur vor ionisierender Strahlung sowie den Schutz der Umweltmedien Wasser, Boden, Luft vor schädlicher Kontamination. Weiterhin sollten z. B. im Zusammenhang mit Umweltverträglichkeitsprüfungen die uneingeschränkte Nutzbarkeit von Sachgütern sowie Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Schwerpunkt des Vortrages war der Schutz der belebten Natur vor ionisierender Strahlung. Schon in der ersten Hälfte des 20 Jahrhunderts wurden Strahlenschäden an Pflanzen und Tieren untersucht und schädliche Wirkungen von Strahlung auf nicht menschliche Arten festgestellt.

Bereits im Jahr 1959 wurde in der ICRP-Veröffentlichung 2 zum Schutz des Menschen die Begrenzung radioaktiver Ableitungen in die Umweltmedien Wasser und Luft eingeführt und damit sowohl die Kontamination von Umweltmedien begrenzt als auch indirekt ein Schutz der belebten Natur bewirkt. Im Jahr 1977 formulierte die ICRP in der Veröffentlichung 26 erstmals die These, dass durch das auf den Menschen ausgerichtete Strahlenschutzsystem auch andere Lebewesen geschützt werden. Diese These wurde in der ICRP-Veröffentlichung 60 im Jahr 1991 bekräftigt.

Seit mehr als einem Jahrzehnt werden international Konzepte, Maßstäbe und Kriterien entwickelt, die spezifisch dem Schutz der belebten Natur dienen. Das Bedürfnis zur Ausdehnung des Strahlenschutzes auf den Schutz der belebten Natur resultiert nicht aus hohen, bisher übersehenen oder vernachlässigten Risiken durch ionisierende Strahlung, sondern vielmehr aus dem Bestreben, eine konzeptionelle Lücke des Strahlenschutzsystems zu schließen. Primäre Schutzziele sind der Erhalt von Populationen und die Funktionalität der Ökosysteme. Modelluntersuchungen zur Populationsdynamik haben gezeigt, dass eine Population auch dann gefährdet sein kann, wenn die Individuen dieser Population geschützt sind (z. B. durch eine verzögerte und/oder verkürzte Reproduktionsphase).

Auf europäischer Ebene wurden die wissenschaftlichen Grundlagen für einen Strahlenschutz der belebten Natur im Rahmen mehrerer von der Europäischen Kommission geförderter Forschungsvorhaben (FASSET, ERICA und PROTECT) entwickelt.

Der derzeitige internationale Konsens zum Schutz der belebten Natur spiegelt sich in den Empfehlungen der ICRP wider. Die ICRP empfiehlt, als Maßstab für die schädliche Wirkung ionisierender Strahlung auf Ökosysteme die Strahlenexposition von 12 Referenzorganismen (RAPs) zu betrachten, die unterschiedliche Ökosysteme und trophische Ebenen abdecken. Zur Vereinfachung der praktischen Anwendung des Konzeptes der RAPs werden abgeleitete

Dosiskonversionsfaktoren für die interne und externe Strahlenexposition für 75 Radionuklide angegeben. Die ICRP gibt Dosisbereiche („Derived Consideration Reference Levels“, DCRL) an, ab denen schädliche Effekte bei den Referenzorganismen zu erwarten sind. Die unteren Werte der DCRL-Bänder stellen somit „Unbedenklichkeitsschwellen“ (No-Adverse-Effect-Levels) dar.

In Hinblick auf die Umweltmedien Wasser, Boden, Luft plädierten die Autoren dafür, keine eigenständigen Beurteilungswerte (außer die bereits im Strahlenschutz des Menschen verwendeten) in den Strahlenschutz einzuführen. Zum Aspekt Sachgüter stellten sie fest, dass deren Nutzbarkeit auch unterhalb von strahlenschutzfachlichen Schwellenwerten beeinträchtigt sein kann. Zur Umsetzung des Nachhaltigkeitsprinzips ist es aus ihrer Sicht nötig, langfristige und großräumige Entwicklungen von radioaktiven Kontaminationen der Umweltmedien zu verhindern, die nach Maßstäben des Strahlenschutzes das gesellschaftlich akzeptierte Niveau übersteigen oder die Nutzbarkeit von natürlichen Ressourcen beeinträchtigen.

2.12 Andrea Hartwig: Grundlagen der Grenzwertsetzung für genotoxische Kanzerogene in Deutschland und Europa

Andrea Hartwig gab einen Überblick über die Ansätze zur Risikobegrenzung beim Umgang und bei Exposition mit kanzerogenen und genotoxischen Substanzen. Trotz vielfältiger Anstrengungen, Karzinogene zu vermeiden und zu substituieren, kommt eine Vielzahl von natürlichen und künstlichen Karzinogenen in der Umwelt, am Arbeitsplatz und in Nahrungsmitteln vor. Sie behandelte die verschiedenen Ansätze zur Risikobegrenzung, die für Karzinogene in Nahrungsmitteln genutzt werden, sowie die Systeme der Risikobegrenzung am Arbeitsplatz in Deutschland und der EU.

Für genotoxische Karzinogene in Nahrungsmitteln wird u. a. eine sog. „Threshold of Toxicological Concern (TTC)“ genutzt, die ursprünglich für Nahrungsmittel eingeführt wurden, aber auch für Materialien, die in Kontakt mit Nahrungsmitteln kommen, für Aromastoffe und Verunreinigungen in pharmazeutischen Produkten angewendet werden. Für genotoxische Stoffe gilt ein TTC für die tägliche Aufnahme durch eine Person von 0,15 µg. Auf der Grundlage von Tierexperimenten können damit die Risiken für die meisten genotoxischen Chemikalien kleiner als 1:1 000 000 abgeschätzt werden.

Generell nutzen die gegenwärtigen Konzepte für genotoxische Karzinogene in Nahrungsmitteln das ALARA-Prinzip („As Low As Reasonably Achievable“), d. h. die Exposition soll unter Berücksichtigung technologischer und ökonomischer Aspekte auf das niedrigste mögliche Niveau beschränkt bleiben. Frau Hartwig betonte jedoch, dass dieses Konzept zwar auf einer Gefährdungsbeurteilung beruht, nicht jedoch das karzinogene Potential einer Substanz, ihre Wirkungsweise und die Expositionshöhe berücksichtigt und nicht anwendbar ist für Risikovergleiche und Prioritätensetzung.

Im deutschen Regelwerk wird der Schutz des Menschen bei der beruflichen Exposition mit genotoxischen Kanzerogenen und anderen Gefahrstoffen in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) geregelt und in den „Technische Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS) konkretisiert. Seit 2005 besteht in Deutschland die Anforderung, für Karzinogene am Arbeitsplatz gesundheitsbasierte Expositionsgrenzwerte festzulegen, wodurch die früheren technischen Richtkonzentrationen abgelöst wurden. Dies geschieht über Expositions-Risiko-Beziehungen (ERB) die vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) etabliert wurden. Grundlage ist ein sog. Ampelmodell (TRGS 910), bei dem ein Bereich niedrigen Risikos (grün) gefolgt wird von einem Bereich mittlerer Risiken (gelb), oberhalb dessen sich der Bereich hohen Risikos (rot) anschließt. Unter

Risiko wird die (statistische) Wahrscheinlichkeit der berufsbedingten Krebsmortalität während des gesamten Lebens verstanden.

Die Grenze zwischen mittlerem und hohem Risiko wird durch das sog. Toleranzrisiko von 4:1 000 gezogen. Dieser Risikowert und auch die folgenden beziehen sich auf die Wahrscheinlichkeit durch die berufliche Exposition während der ganzen Lebenszeit eine zusätzliche Krebserkrankung zu bewirken. Die Grenze zwischen niedrigem und mittlerem Risiko wird durch das sog. Akzeptanzrisiko definiert. Sie liegt derzeit bei 4:10 000 und soll bis zum Jahr 2018 auf 4:100 000 gesenkt werden. Unterhalb des Akzeptanzrisikos werden von staatlicher Seite keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen gefordert. Das Toleranzrisiko beschreibt die Schwelle, oberhalb der Beschäftigte nicht exponiert werden sollen. Die Höhe der Risikowerte wird durch einen Vergleich mit anderen beruflichen Krebs- und Lebensrisiken, Gesundheitsrisiken für die allgemeine Bevölkerung und Regelungen in anderen europäischen Ländern begründet.

Wesentlich für die Festlegungen des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) ist die Übertragbarkeit von tierexperimentellen Befunden auf den Menschen und die Extrapolation des Risikos zu niedrigen Dosen, da nur in seltenen Fällen Beobachtungen am Menschen vorliegen und man auf Tierversuche mit hohen Dosen zurückgreifen muss. Je nach dem Stand der Erkenntnis werden lineare Dosis-Wirkungsbeziehungen mit oder ohne Schwelle benutzt. Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Wirkmechanismen von (genotoxischen) kanzerogenen Chemikalien wird eine Vielzahl von Differenzierungen bei der Beurteilung und der Festlegung gemacht.

Auch die kurz vor der Verabschiedung stehenden Empfehlungen des Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) der Europäischen Gemeinschaft für die Begrenzung der beruflichen Exposition durch Karzinogene werden sich dem System der Risiko-basierten Kategorien ähnlich dem deutschen System anschließen.

Als Wünsche für die Zukunft wurden abschließend genannt, der Wunsch nach mehr wissenschaftsbasierten Schwellwerten für gewisse (genotoxische) Karzinoge, die Berücksichtigung von Wirkmechanismen genotoxischer Karzinogene, die Identifizierung von DNA-Addukten, die Etablierung von Dosis-Wirkungsbeziehungen, die Berücksichtigung von DNA-Reparaturmechanismen und des mutagenen Potentials. Sie nannte als Erfordernisse die Entwicklung empfindlicherer Mutagenitätsassays für die Untersuchung der *in vivo* Mutagenität, die Berücksichtigung toxikogenomischer Daten für die Beurteilung der Wirkungsweise im Bereich niedriger Dosen und die Suche nach geeigneten Biomarkern für die menschliche Exposition.

2.13 Ortwin Renn: Wie bedrohlich sind systemische Risiken und warum werden sie unterschätzt?

Ortwin Renn erweiterte in einem Abendvortrag die Sicht auf die Risiken, denen die Menschen der heutigen Gesellschaften ausgesetzt sind. Sein Vortrag basierte auf dem von ihm verfassten Buch „Das Risikoparadox - Warum wir uns vor dem Falschen fürchten“ (Fischer Verlag 2014). Er stellte den in den Medien verbreiteten Hiobsbotschaften wie z. B. zu den Risiken steigender Kriminalität, der Vogelgrippe oder des Elektrosmog, die den Eindruck vermitteln, dass das Leben in der heutigen Gesellschaft immer gefährlicher, unsicherer, risikoreicher wird, die Feststellung entgegen, dass die durchschnittliche Lebenserwartung beständig steigt und es den Menschen in vielerlei Hinsicht immer besser geht. Nach seiner Ansicht wird nicht betrachtet, was die Menschen der modernen Gesellschaft und ihre Nachwelt wirklich bedroht und wie damit richtig umgegangen werden sollte. Als wesentlich stellte er systemische Bedrohungen heraus, die nicht nur den Einzelnen sondern die gesamte Gesellschaft in Mitleidenschaft ziehen. Zu diesen systemischen Bedrohungen zählt er das gestörte Verhältnis von Mensch und Umwelt,

Steuerungsdefizite in Wirtschaft und Gesellschaft und die sozialen Konsequenzen der Modernisierung und Globalisierung. Er sprach sich dafür aus, dass diesen systemischen Bedrohungen durch eine nachhaltige Entwicklung zu begegnen ist, in der Resilienz vor Effizienz kommt, soziale Gerechtigkeit den Vorrang vor optimaler Ressourcenverteilung hat und Lebensqualität wichtiger als Lebensstandard ist. Er forderte eine ökosoziale Marktwirtschaft als relevanten Aspekt der gesellschaftlichen Steuerung und einen analytisch-deliberativen Diskurs als Bereicherung der repräsentativen Demokratie auf dem Weg zu einer Risiko-mündigen Gesellschaft.

2.14 Bernd Grosche: Krebsrisiken durch Radon

Bernd Grosche behandelte in seinem Vortrag zwei Themenfelder: Erkenntnisse aus Bergarbeiterstudien und Erkenntnisse zu Radon in Wohngebäuden. Hinsichtlich der Bergarbeiterstudien wies er darauf hin, dass das Lungenkrebsrisiko nicht nur von der Höhe der Exposition abhängt, sondern auch von den Effektmodifikatoren Zeit seit Exposition, erreichtes Alter bzw. Alter bei Exposition, Expositionsrate. Berücksichtigt man diese Faktoren passen die Ergebnisse der international vorliegenden Studien gut zusammen. Die deutsche Uranbergarbeiterstudie (Wismut-Studie) erlaubt es auf Grund ihrer Größe und der Länge des Follow-up, auch das Lungenkrebsrisiko im niedrigen Expositionsbereich zu untersuchen. Die Daten zeigen auch hier einen Expositions-Wirkungs-Zusammenhang. Hinsichtlich extrapulmonaler Tumoren passen die Ergebnisse der Wismut-Studie sehr gut mit einer früheren Auswertung von 11 gepoolten Studien zusammen, d. h. es zeigt sich für die Summe der extrapulmonalen Tumoren ein Expositions-Wirkungs-Zusammenhang. Die höchsten Einzelrisiken zeigen sich für die extrathorakalen Atemwege. Hinsichtlich Radon in Wohnräumen zeigen die vorliegenden Ergebnisse einen linearen Konzentrations-Wirkungs-Zusammenhang, der auch bei Konzentrationen unterhalb von 200 Bq/m³ gilt. Wie bei den Bergarbeiterstudien ist auch bei den Indoor-Studien der Wirkungszusammenhang unabhängig vom Rauchverhalten. In Bezug auf Radon in Wohngebäuden wird seit einiger Zeit ein möglicher Zusammenhang mit dem Risiko von Leukämien im Kindesalter diskutiert. Die Ergebnisse dazu sind derzeit widersprüchlich.

2.15 Wolfgang Weiss: Richtwerte für den Schutz von Einsatzkräften und die Bevölkerung in Notfallsituationen

Wolfgang Weiss stellte in seinem Vortrag die unterschiedlichen existierenden Referenzwerte für den Schutz von Einsatzkräften gegen Expositionen in Notfallsituationen vor:

Die International Commission on Radiological Protection ICRP hat mit der Empfehlung 103 (2007) einen Referenzwert bis zu 100 mSv sowohl für die Einsatzkräfte als auch für die Bevölkerung in einer Notfallsituation in Verbindung mit Optimierung vorgeschlagen.

Die Internationale Arbeitsorganisation (ILO) hingegen betrachtet Einsatzkräfte in Notfallsituationen als beruflich strahlenexponierte Personen, die einen Referenzwert von 20 mSv/a gemittelt über 5 Jahre sowie einen Maximalwert von 50 mSv/a nicht überschreiten dürfen. Lediglich in Ausnahmesituationen wie z. B. für die Rettung von Menschenleben gilt ein höherer Referenzwert von maximal 500 mSv.

In den EU-Grundnormen wurden nun die Referenzwerte für die berufsbedingte Notfallexposition auf Werte unterhalb einer effektiven Dosis von 100 mSv und der Möglichkeit des Heraufsetzens in Ausnahmesituationen auf 500 mSv festgelegt. Bei der Umsetzung in nationales Recht sollen die Mitgliedsstaaten zusätzlich dafür sorgen, dass es für Einsatzkräfte eine individuelle Expositionsüberwachung sowie eine spezielle medizinische Nachsorge gibt.

Bereits in der Vergangenheit hat sich aber gezeigt, dass die Umsetzung der Referenzwerte in Schutzmaßnahmen und Handlungsanweisungen für eine Optimierung nicht trivial sind und es häufig an Verständnis für die Intention des Strahlenschutzes mangelt.

Für eine realistische Planung von Schutzmaßnahmen für Einsatzkräfte muss besonderes Augenmerk auf die persönliche Schutzausrüstung und technische Maßnahmen zur individuellen Expositionsermittlung insbesondere für nicht beruflich Strahlenexponierte gerichtet werden. Des Weiteren muss eine Sicherstellung der Dosisregistrierung insbesondere für nicht beruflich Strahlenexponierte erfolgen. Die Einsatzkräfte und Führungskräfte müssen in Methoden zur Entscheidungsfindung in komplexen Entscheidungslagen (Einsatz im Bereich hoher Expositionen) ausgebildet werden. Ferner sind detaillierte Planungen von Programmen zur medizinischen Nachsorge (Inhalt und Dauer) von hoch exponierten Einsatzkräften unverzichtbar.

Abschließend ging Wolfgang Weiss auf Erfahrungen aus Fukushima ein. Abweichend von den in Europa geltenden Regelungen, nur in Ausnahmesituationen (Rettung von Leben, Vermeidung schwerer Gesundheitsschäden usw.), einen Referenzwert von mehr als 100 mSv festzulegen, gelten in Japan ausschließlich Grenzwerte. Im März 2011 wurde der Grenzwert für Einsatzkräfte von 100 mSv/a auf 250 mSv/a erhöht, da ansonsten in den hoch exponierten Bereichen der Anlage die Arbeitszeit auf 15 Minuten begrenzt gewesen wäre. Für acht Arbeiter, die mit mehr als 250 mSv/a exponiert wurden, hatte diese Grenzwertüberschreitung ein Berufsverbot zur Konsequenz.

2.16 Ortwin Renn: Risk Governance: Eine neue Perspektive zum Umgang mit komplexen Risiken

Ortwin Renn referierte zum Thema Risk Governance, einer neuen Perspektive zum Umgang mit komplexen Risiken. Der Begriff „Governance“ umfasst die kollektive Steuerung von Aufgaben, die eine Gesellschaft zu leisten hat, wer daran teilnimmt und nach welchen Prinzipien das geschehen muss. In dem Modell „Governance“ wird besonders Wert auf die drei Aspekte Komplexität, Unsicherheit und Ambiguität gelegt. Da aus allen multidimensionalen Bewertungen letztlich die Bewertung „eine Risikoquelle wird zugelassen“, „eine Modifizierung (Reduktionsbedarf) ist erforderlich“ oder „eine Risikoquelle wird nicht zugelassen“ folgt, wird für den Bewertungsmaßstab das Ampelmodell genutzt. Für deterministische Schäden ist die Einstufung in diese drei Kategorien relativ einfach, ungleich schwieriger jedoch für stochastische Schäden, für die es keine Evidenz für einen Schwellenwert gibt. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die erste besteht darin, einen quantitativen Safety-Wert anzusetzen. Die zweite wäre die Bestimmung eines zumutbaren Risikos durch Gegenrechnung des Nutzens. Die dritte Möglichkeit, die Bewertung vorzunehmen besteht darin, diejenigen, die mit den Risiken leben müssen, an dem Diskurs zu beteiligen. Im Falle stochastischer Risiken muss in offener Diskussion unter Berücksichtigung sowohl wissenschaftlicher als auch gesellschaftspolitischer Aspekte eine gemeinsame Konvention erstellt werden, die festlegt, was für die Gesellschaft zumutbar ist.

2.17 Dittmar Lack, Thomas Fliß: Nachweis der Langzeitsicherheit von Untertagedeponien für toxische Abfälle

Dittmar Lack gab einen Überblick über die Anforderungen an die Lagerung von chemotoxischen Abfällen in Untertagedeponien (UTD).

Die Anforderungen an den Standort, die geologische Barriere, den Langzeitsicherheitsnachweis und die Stilllegungsmaßnahmen von Untertagedeponien im Salzgestein sind im Anhang 2 der Deponieverordnung (DepV) geregelt. Die Einlagerung der Abfälle in die UTD erfolgt anhand

ihrer gefahrenrelevanten Eigenschaften. Eine Zusammenlagerung von untereinander unverträglichen Abfällen ist unzulässig. Prinzipiell ungeeignete Abfälle bzw. Abfallarten sind in § 7 DepV definiert.

Bei der Standortwahl für eine Untertagedeponie ist zu berücksichtigen, dass die Abfälle dauerhaft von der Biosphäre ferngehalten werden und die Ablagerung so erfolgen kann, dass keine Nachsorgemaßnahmen erforderlich sind. Das Salzgestein als maßgebliche geologische Barriere am Standort muss gegenüber Flüssigkeiten und Gasen dicht sein, eine ausreichende räumliche Ausdehnung besitzen, im ausgewählten Ablagerungsbereich eine ausreichende unverritzte Salzmächtigkeit besitzen, die so groß ist, dass die Barrierefunktion auf Dauer nicht beeinträchtigt wird und durch sein Konvergenzverhalten die Abfälle allmählich umschließen und am Ende des Verformungsprozesses kraftschlüssig einschließen. Für den Eignungsnachweis eines Gebirges für die Errichtung einer UTD muss eine standortbezogene Sicherheitsanalyse erbracht werden. Diese schließt die Analyse der möglichen Gefahren bei der Errichtung, dem Betrieb und in der Nachbetriebsphase einer UTD ein. Folgende Einzelnachweise sind zu führen: Geotechnischer Standsicherheitsnachweis, Sicherheitsnachweis für Betriebs- und Stilllegungsphase und Langzeitsicherheitsnachweis. Der Langzeitsicherheitsnachweis ist für das Gesamtsystem Abfall/Untertagebauwerk/Gebirge unter Berücksichtigung planmäßiger und hypothetischer Ereignisse zu führen.

Aufbauend auf den vorlaufenden Untersuchungsergebnissen sind in dem übergreifenden und zusammenfassenden Langzeitsicherheitsnachweis für das Gesamtsystem „Abfall/Untertagebauwerk/Gebirgskörper“ auf der Grundlage des Mehrbarrierensystems mehrere Einzelsysteme zu bewerten. Dazu gehören u. a. Bewertung der natürlichen Barrieren (Wirtsgestein, Nebengestein, Deckgebirge), Beurteilung technischer Eingriffe (Schächte, Strecken, Bohrungen, Gebirgsauflockerungen, Bewertung der Barrieren (Einlagerungsbereich, Streckendämme, Schachtverschlüsse), Bewertung natürlicher (Diapirismus, Subrosion, Erdbeben) und technisch bedingter Ereignisse (undichte Bohrungen, Wassereinbrüche über die Schächte, Laugen- und Gaseinbrüche, Versagen der Schachtverschlüsse etc.) auf den vollständigen Einschluss und eine Schadstoffmobilisierung sowie die Zusammenfassende Bewertung des Gesamtsystems Abfall/Untertagebauwerk/Gebirge.

Bei nachgewiesenem vollständigen Einschluss kann auf Modellrechnungen zu einer Schadstoffausbreitung im Deckgebirge verzichtet werden.

Bei nachgewiesenem vollständigem Einschluss sind die Leistungsfähigkeit und die Sicherheit der technischen Barrieren (Dämme, Schachtverschlüsse) innerhalb des Gesamtsystems „Abfall/Untertagebauwerk/Gebirge“ von entscheidender Bedeutung für die dauerhaft emissionsneutrale Abfalleinlagerung in einer Untertagedeponie im Salzgestein.

2.18 Tobias Lindborg: From site understanding to dose calculation in the safety assessment SR-Site in Sweden

Tobias Lindborg gab einen Überblick über das schwedische System zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Die Standortsuche für ein Endlager für abgebrannten Kernbrennstoff, die in Schweden vor gut 20 Jahren begonnen wurde, führte im Jahr 2011 zur Auswahl der Gemeinde Forsmark. Geplant ist ein Endlager in kristallinem Wirtsgestein, mit einer Verpackung des Kernbrennstoffes in Kupferkanistern und einer Verfüllung mit Bentonit.

Auf der Grundlage einer detaillierten Standorterkundung, verfügbarer Daten über das letzte Glazial sowie des Verständnisses der ablaufenden Prozesse in der Geosphäre, der Pedosphäre, der Hydrosphäre und der Biosphäre wurden Modelle für die mögliche zukünftige Entwicklung des Standortes erstellt.

Aus den Modellrechnungen ergeben sich für unterschiedliche klimatische Entwicklungen Orte und Zeitpunkte, an denen ein Eintritt von Radionukliden in die Biosphäre zu erwarten ist. Für jedes möglicherweise betroffene Biosphärenobjekt, jedes Radionuklid und jeden Zeitpunkt in der Zukunft wurden dann sogenannte „Landschafts-Dosiskonversionsfaktoren“ (LDF) als gewichtete Mittelwerte aller möglichen Expositionspfade ermittelt. Das Biosphärenobjekt, das den höchsten LDF liefert, bestimmt das repräsentative Individuum in der am höchsten exponierten Gruppe. Da bei dieser Betrachtung die Eigenschaften des Biosphärenobjektes darüber entscheiden, welche Lebensmittel in welcher Menge erzeugt werden können, kann auf die Betrachtung von Verzehrsgewohnheiten verzichtet werden.

Die Rechnungen zeigen, dass das geplante Endlager auch über einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren zu Expositionen der Bevölkerung führen würde, die deutlich unter den geltenden Grenzwerten und der natürlichen Strahlenexposition am Standort liegen.

2.19 Mark Lohmann: Gesundheitliche Risiken und Grenzwerte – Wahrnehmung der Bevölkerung und Konsequenzen für die Risikokommunikation

Mark Lohmann erläuterte das Verfahren des BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) zur Risikocharakterisierung und -bewertung. Die subjektive Risikowahrnehmung der Bevölkerung kann von dieser Bewertung jedoch abweichen und wird sowohl von sozio-kulturellen Faktoren als auch von der Vielfalt der Expertenmeinungen bestimmt. Eine besondere Herausforderung ist dabei das sogenannte Einzelstudien-Syndrom, das die Tendenz beschreibt, einzelne Studien hervorzuheben, wenn sie einer vorgefassten Meinung entsprechen, ungeachtet dessen, wie zweifelhaft diese Studien sein mögen.

Das BfR macht neben der Erstellung von Risikoprofilen für einzelne Gefahrenquellen die Bestimmung der subjektiven Risikowahrnehmung und die Charakterisierung von Zielgruppen-typologien zur Grundlage der Risikokommunikation.

Schließlich validiert das BfR Kommunikationsprototypen und gibt insbesondere der Politik sowie Multiplikatoren Handlungsempfehlung für die Risikokommunikation.

Der Vortragende empfahl, Erkenntnisse aus der Risikobewertung direkt in eine partizipative Risikokommunikation, d. h. eine Risikokommunikation unter Einbeziehung von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Verbrauchern, NGOs, Medien und öffentlichen Institutionen einfließen zu lassen.

3 Schlussfolgerungen

Die Klausurtagung 2015 der SSK hat mit der Vielfalt der Beiträge eine solide Grundlage für die weiteren Beratungen in der SSK geschaffen.

Die Beiträge haben große Unterschiede im Kenntnisstand der verschiedenen Risiken, denen Menschen generell und im Berufsleben ausgesetzt sind, aufgezeigt sowie die Verschieden-artigkeit und die Gemeinsamkeiten der Ansätze zur Risikobegrenzung klargemacht. Die Regelungen beruflicher Expositionen mit ionisierender Strahlung und mit genotoxischen Karzinogene haben sich dahingehend angenähert, dass ein Grenzwert der effektiven Dosis bzw. ein tolerables Risiko einer zusätzlichen Krebserkrankung definiert werden, die nicht überschritten und unterhalb derer Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden sollten. Von einem einheitlichen Ansatz zur Quantifizierung, zur Begrenzung und zum Umgang mit Risiken ist unsere Gesellschaft noch weit entfernt. Daher ist es wichtig, bei der Diskussion um die Risiken, die mit Radioaktivität und ionisierender Strahlung verbunden sind, und um die

erforderliche Grenzwertsetzung die Risiken in anderen Lebensbereichen stets gleichwertig zu berücksichtigen.

Ein Ziel der Beratungen der SSK ist, die Risiken im Bereich ionisierender Strahlung klar darzustellen, Empfehlungen zum weiteren Umgang mit bestehenden Grenzwerten zu geben und die Schutzmaßnahmen zu begründen. Dies sollte in den Kontext sonstiger natürlicher und technologisch bedingter Risiken gestellt werden und die verschiedenen Schutzsysteme sollten klar herausgearbeitet werden. Speziell die Grundlagen der Grenzwertsetzung müssen kommunizierbar dargestellt werden. Sie sind die Voraussetzung dafür, dass regulatorische Maßnahmen akzeptiert werden, und unsere Gesellschaft einen kleinen Schritt auf dem langen Weg zu einer risiko-mündigen Gesellschaft vorankommt.

Literatur

Ozasa et al. 2012 Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950-2003: An overview of cancer and noncancer diseases. Radiat Res. 2012;177:229-243

SSK 2012 Strahlenschutzkommission (SSK). Herz-Kreislauferkrankungen nach zulässigen beruflichen Strahlenexpositionen, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, verabschiedet in der 256. Sitzung der SSK am 19./20. April 2012

SSK 2014 Strahlenschutzkommission (SSK). Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF), Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, verabschiedet in der 268. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 13./14. Februar 2014

Autoren der Vorträge

Prof. Dr. Maria Blettner	Universität Mainz
Prof. Dr. Heidi Danker-Hopfe	Charité-Universitätsmedizin, Berlin
Thomas Fliß	K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen
Dr. Gerhard Frasch	Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg
Dr. habil. Rainer Gellermann	Nuclear Control and Consulting GmbH, Braunschweig
Dr. Rüdiger Greinert	Elbekliniken Stade/Buxtehude
Dr. Bernd Grosche	Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg
Prof. Dr. Andrea Hartwig	Institut für Angewandte Biowissenschaften, Karlsruhe
Dr. Peter Jacob	Helmholtz-Zentrum München, Neuherberg
Dipl.-Chem. Dittmar Lack	K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen
Tobias Lindborg	Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), Stockholm
Dr. Mark Lohmann	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
Prof. Dr. Wolfgang-U. Müller	Essen
Dr. Heinz Otten	Bonn
Prof. Dr. Ortwin Renn	Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg, Stuttgart
Prof. Roy E. Shore	Radiation Effects Research Foundation (RERF), Hiroshima
Dr. Martin Steiner	Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg
Dr. Jack Valentin	Stockholm
Dr. Tahera Emilie van Deventer	World Health Organization, Genf
Dr. Wolfgang Weiss	Emmendingen