

Grundsätze des Bundesamtes für Strahlenschutz für die weitere Entwicklung des Strahlenschutzes

September 2009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

A. Ionisierende Strahlung

I. Grundlagen des Strahlenschutzes

A.I.1	Rechtfertigung	5
A.I.2	Dosisbegrenzung	10
A.I.3	Optimierung	14

II. Einzelfragestellungen

A.II.1	Dosis-Wirkungs-Beziehung	19
A.II.2	Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF)	25
A.II.3	Gewebewichtungsfaktoren	28
A.II.4	Strahlungswichtungsfaktoren (Photonen, Neutronen, Protonen)	31
A.II.5	Kollektivdosis	34
A.II.6	Verfahren zur Expositionsbestimmung der Bevölkerung	38

III. Spezielle Anwendungsgebiete

A.III.1	Freigabe	41
A.III.2	Begrenzung der Exposition durch Radon in Gebäuden	44
A.III.3	Begrenzung der Exposition durch Radionuklide im Trinkwasser	46
A.III.4	Medizinische Strahlenexposition	51

Nichtionisierende Strahlung

B.I	Rechtfertigung	55
B.II	Neue Technologien	58
B.III	Grenzwertsetzung	60

C. Schutz von Natur und Umwelt

Entwicklung von Schutzkonzepten für Flora, Fauna und Umweltmedien	62
---	----

D. Über den reinen Strahlenschutz hinausgehende Fragestellungen

D.I	Risikobasierte Bewertungsverfahren	65
D.II	Vorsorge	71

Vorwort

Aufgabe des Strahlenschutzes ist es, den Menschen und die Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender und nichtionisierender Strahlung zu schützen. Diese Aufgabe geht weit über die Bereiche Technik und Messwesen hinaus. Sie umfasst fachliche Schutzkonzepte und Grundsätze, berücksichtigt ethische Prinzipien und gesellschaftliche Wertvorstellungen darüber, welche Güter zu schützen sind, welches Schutzniveau erreicht oder gewährleistet werden soll und wie Vorsorge- und Schutzmaßnahmen konkret auszugestalten sind, um die Schutzziele zu erreichen. Dabei sind Anwendungen radioaktiver Stoffe, ionisierender und nichtionisierender Strahlung zivilisatorischen Ursprungs genauso zu berücksichtigen wie Strahlenbelastungen aus der Umwelt, insbesondere wenn sie konkrete Gefährdungen darstellen. Strahlenbelastungen sind sowohl alleine als auch im Zusammenhang mit den durch andere Schadstoffe hervorgerufenen Belastungen zu betrachten und zu bewerten.

Die fachlichen Konzepte und Grundsätze des Strahlenschutzes bedürfen, vergleichbar denen aus anderen Bereichen des Umwelt- und Gesundheitsschutzes, der regelmäßigen Überprüfung und Weiterentwicklung. Dabei ist der sich fortentwickelnde Stand von Wissenschaft und Technik ebenso zu berücksichtigen wie der jeweilige Stand der gesellschaftlichen Diskussion über Grundsatzfragen des Schutzes von Mensch und Umwelt, zum Leben mit Risiken, zur Beteiligung von Betroffenen und zur Vorsorge. Der Strahlenschutz ist dabei nur einer von vielen Aspekten. Gerade deswegen ist es sinnvoll und notwendig, von Zeit zu Zeit deutlich zu machen, welche Grundlagen der Strahlenschutz aktuell hat und wo die zukünftigen fachlichen und auch gesellschaftlichen Herausforderungen liegen.

Die hiermit vorgelegten Grundsätze für die weitere Entwicklung des Strahlenschutzes wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in enger Abstimmung mit dem Bundesumweltministerium (BMU) erarbeitet. Damit dokumentiert das BfS als die für den Strahlenschutz zuständige Bundesoberbehörde erstmals nachvollziehbar seine grundsätzlichen Positionen und Perspektiven zum Stand und zur Weiterentwicklung des Strahlenschutzes insbesondere in Deutschland. In den Grundsätzen werden auf der Basis einer Zusammenfassung aktueller Grundlagen des Strahlenschutzes Zielsetzungen und Perspektiven für den nationalen Strahlenschutz formuliert. Sie bilden einen Orientierungs- und Handlungsrahmen, der geeignet ist, die zukünftigen inhaltlichen Arbeiten des BfS bei der Fortentwicklung des Strahlenschutzes transparent und nachvollziehbar auf klare Ziele auszurichten. Mit der Erarbeitung der Grundsätze soll erreicht werden, dass das BfS auf zukünftige Entwicklungen im Strahlenschutz nicht nur reagiert sondern diese frühzeitig aktiv mitgestaltet. Die Aufgabe besteht auch darin, grundsätzliche Wissens- und Regulierungslücken zu identifizieren und Empfehlungen ab-

zugeben, wie diese zum Beispiel durch gesetzliche Regelungen geschlossen werden können. Darüber hinaus gilt es auch, etablierte Positionen zu überprüfen und, wenn notwendig, zu modifizieren sowie neue Positionen zu beziehen, wenn der Erkenntnisstand dies erfordert. Insofern weichen die im Folgenden beschriebenen fachlichen Positionen in einigen Bereichen z.B. von den neuen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP 103) ab, die zu Beginn des Jahres 2008 veröffentlicht wurden. Die abweichenden Positionen sind im folgenden gekennzeichnet.

Die vorliegenden Grundsätze sollen und wollen keine Kommentierung der gegenwärtigen rechtlichen Grundlagen des Strahlenschutzes sein. Vielmehr stellen sie Perspektiven und zukünftige Handlungsfelder des Strahlenschutzes dar, die im Rahmen von Rechtsetzungsvorhaben in das Strahlenschutzregelwerks einfließen können.

A. Ionisierende Strahlung

I. Grundlagen des Strahlenschutzes

Die zentrale fachliche Grundlage des Schutzes gegen die schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung ist die nach einer zusammenfassenden strahlenhygienischen Bewertung des Wissens zum Strahlenrisiko abgeleitete Konvention einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis (LNT-Modell). Auf dieser Konvention wurde das System des Strahlenschutzes mit den Grundsätzen Rechtfertigung, Minimierung/Optimierung und Dosisbegrenzung aufgebaut. Diese Grundsätze werden im Folgenden erläutert und weiterentwickelt. Dabei werden fallweise unterschiedliche Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe betrachtet: planbare und genehmigungsbedürftige Expositionssituationen (genehmigte Tätigkeiten und Arbeiten) und sog. „Interventionssituationen“ (Unfallsituationen, vorgefundene Situationen) sowie die spezielle Frage der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin.

A.I.1 Rechtfertigung

Hintergrund

Jede Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Wissenschaft und Technik sowie in der Medizin bedarf der Rechtfertigung. Zentraler Aspekt der Rechtfertigung ist die Abwägung zwischen dem Nutzen einer Anwendung und dem damit verbundenen tatsächlichen oder potenziellen Schaden. Unter dem Begriff Nutzen werden u.a. auch Aspekte wie „Chancen“ und „Vorteile“ verstanden, unter Schaden „Risiken“ und „Nachteile“. Eine detaillierte Darstellung des Sachverhalts findet sich in ICRP 103 (The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 2007). Erkenntnisse des Strahlenschutzes über die Risiken ionisierender Strahlung stellen einen zentralen Teil der fachlichen Grundlagen der Rechtfertigungsüberlegungen dar. Die Vermeidung von Dosis, wo immer dies von der Anforderung her möglich ist, ist ein wichtiger Aspekt des Rechtfertigungsprozesses und der Rechtfertigungsentscheidung. Insbesondere muss für eine zu rechtfertigende Anwendung gelten, dass sie mehr Nutzen als Schaden bewirkt. Bei dieser Abwägung müssen sowohl solche Konsequenzen berücksichtigt werden, die sicher abgeschätzt werden können, als auch solche, bei denen dies nur mit großen Unsicherheiten möglich ist bzw. die nur qualitativ beschreibbar und mithin nicht quantifizierbar sind. Als Kriterien sind gesundheitliche, gesellschaftliche, soziale, ökonomische und ökologische Aspekte sowie ggf. strahlungsfreie Alternativen ebenso zu berücksichtigen wie Belange der äußeren und inneren Sicherheit oder strategische, soziale sowie gesellschaftliche Ziele. Beispiele für einen Kriterienkatalog sind einer Empfehlung der SSK (Kriterien für die Beurteilung von Tätigkeiten und Verfahren im Hinblick auf eine Rechtfertigung, Empfehlung der Strahlen-

schutzkommission, verabschiedet am 16./17.02.2006) zu entnehmen. Wie im Folgenden dargestellt, erfolgt die Abwägung zwischen Nutzen und Schaden in den einzelnen Anwendungsfällen in unterschiedlicher Weise. Das Verfahren der Rechtfertigung kann dabei (1) im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung ablaufen oder (2) in einer Entscheidung über Klassen von Tätigkeiten sowie (3) aus einer Kombination aus beiden Fällen bestehen. Das Ergebnis der Rechtfertigung kann entweder sein, dass festgestellt wird, eine Anwendung oder eine Klasse von Anwendungen ist gerechtfertigt, oder – wie nach Strahlenschutzverordnung vorgesehen – einzelne oder Klassen von Anwendungen durch Rechtsverordnung werden als nicht gerechtfertigt eingestuft. Falls wesentliche neue Erkenntnisse über Nutzen und/oder Schaden einer bestehenden Art von Tätigkeiten vorliegen, muss deren Rechtfertigung erneut geprüft werden.

Die Rechtfertigung von Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe im Rahmen planbarer Tätigkeiten setzt eine Abwägung der infolge der Tätigkeit zu erwartenden strahlenbedingten Risiken für den Einzelnen, für Bevölkerungsgruppen oder die Bevölkerung insgesamt und des mit einer solchen Anwendung für den Einzelnen oder die Gesellschaft verbundenen Nutzens voraus. Im Rahmen dieses Abwägungsprozesses sind auch Überlegungen anzustellen, ob das mit einer solchen Anwendung verbundene Ziel auch ohne den Einsatz ionisierender Strahlung bzw. radioaktiver Stoffe erreicht werden kann. Geeignete Verfahren zur Quantifizierung insbesondere des Nutzens für den Einzelnen oder die Gesellschaft, die zur Abwägung mit quantitativen Aussagen zum Strahlenrisiko geeignet sind, sind derzeit kaum etabliert. Somit stellt der Prozess der Rechtfertigung in vielen Fällen eine komplexe Aufgabe dar.

Bei Arbeiten, d. h. dem Umgang mit natürlicher Radioaktivität, hat der Strahlenschutz es zum einen mit vorgefundenen Situationen zu tun, d. h. die Strahlenexpositionen existieren bereits wenn der Strahlenschutz tätig wird. Beispiele hierfür sind erhöhte Radonexpositionen an Arbeitsplätzen. Auf die Bevölkerung bezogen können Maßnahmen bei natürlicher Radioaktivität gerechtfertigt sein, wenn diese durch menschliches Tun erhöht sind (z.B. in Wohnräumen, die durch historische bergbauliche Hinterlassenschaften mit Radon belastet sind) oder durch das in Verkehr bringen von Produkten, die natürliche Radionuklide enthalten oder wenn durch neue Wege der technischen Aufbereitung solcher Produkte bzw. das Beschreiben neuer Verteilungswege für solche Produkte sich die Expositionssituation ändert (z.B. Bauprodukte, Trinkwasser). Die Rechtfertigung bezieht sich in solchen Fällen auf die Frage, ob Maßnahmen zur Verringerung vorliegender oder durch menschliches Tun veränderter Strahlenexpositionen gerechtfertigt sind oder nicht. In Fällen, in denen die Anwendung des Prinzips der Rechtfertigung zu entsprechenden Maßnahmen führt, sind diese an den geltenden Prinzipien zu orientieren.

Zum anderen gibt es auch Arbeiten, in denen sich die Vorgehensweise bei der Rechtfertigung an den Prinzipien orientieren muss, die für Tätigkeiten gelten. Dies trifft z. B. zu für die Verwendung von thorierten Elektroden beim Elektroschweißen, für die von mineralischen Rohstoffen mit unterschiedlichen Gehalten natürlicher radioaktiver Stoffe ausgehenden Belastungen und für Tätigkeiten mit erhöhten Radon- oder Thoronexpositionen in Berg-, Wasserwerken oder Schauhöhlen.

Im Falle von „Interventionen“ (lt. ICRP 103 soll dieser Begriff auf Schutzmaßnahmen zur Reduzierung von Strahlenexpositionen begrenzt werden) ist im Prozess der Rechtfertigung nachzuweisen, dass die erforderlichen Maßnahme bzw. Programme insgesamt mehr Nutzen als Schaden verursacht. Unter Nutzen sind in diesem Fall nicht nur die Absenkung von Strahlenexpositionen, sondern alle positiven Aspekte zu verstehen, die in Folge der Maßnahme oder eines Programms, z. B. eines Sanierungsprogramms für bergbauliche Hinterlassenschaften, auftreten bzw. erwartet werden. Bei der Bewertung des Schadens einer Maßnahme sind nicht nur alle negativen Aspekte, z. B. die Strahlenexpositionen, die Beeinträchtigungen und Belästigungen, die durch die Intervention selbst verursacht werden, zu berücksichtigen, sondern auch die Kosten, die für die Durchführung einer Maßnahme oder eines Programms entstehen. Die öffentliche Akzeptanz spielt sowohl bei der Bewertung der positiven als auch der negativen Aspekte eine wichtige Rolle. Für Sanierungsprogramme sollten z. B. nach Prüfung aller relevanten Faktoren Maßnahmewerte verbindlich vorgegeben werden, da nur auf diese Weise vergleichbare Festlegungen darüber getroffen werden können, in welchen Fällen aus Gründen des Strahlenschutzes Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind.

Im Bereich der Medizin werden grundsätzlich drei Fälle unterschieden:

1. Die Rechtfertigung im Einzelfall (rechtfertigende Indikation) durch den behandelnden Arzt, in dem der diagnostische und therapeutische Nutzen und das mögliche strahlenbedingte gesundheitliche Risiko des Patienten im Mittelpunkt stehen.
2. Die Rechtfertigung einer bestimmten Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe für bestimmte Verfahren in der Diagnostik oder der Therapie unter Beachtung des Geltungsbereichs und des Zwecks entsprechender medizinischer Leitlinien der Selbstverwaltungskörperschaften im Gesundheitswesen und der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften. Die medizinischen Leitlinien enthalten systematisch entwickelte Aussagen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung von Ärzten und ggf. anderer Gesundheitsberufe sowie für Patienten im Hinblick auf eine angemessene Vorgehensweise bei vorgegebenen Gesundheitsproblemen. Sie stellen somit Orientierungshil-

fen dar und ersetzen grundsätzlich nicht die rechtfertigende Indikation im Einzelfall durch den behandelnden Arzt.

3. Die Rechtfertigung von Vorsorgeuntersuchungen im Rahmen von Früherkennungsprogrammen unter Anwendung ionisierender Strahlen oder radioaktiver Stoffe, bei denen der individuelle und gesellschaftliche Nutzen sowie das individuelle und kollektive Strahlenrisiko der in die Früherkennungsprogramme einbezogenen Personengruppen insgesamt abgewogen werden müssen.

Sowohl die Ermittlung als auch die Bewertung eines "Nettonutzens" ist nicht trivial und kann zum Teil nur qualitativ erfolgen. Es sind z. B. alternative Verfahren ohne die Anwendung ionisierender Strahlung in den Überlegungen mit zu berücksichtigen. Die Begründung und Quantifizierung des Nutzens ist in der Regel nicht originäre Aufgabe des Strahlenschutzes, sondern eine gesellschaftliche bzw. im medizinischen Bereich eine ärztliche Aufgabe. Sie macht eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich. Dies ist allerdings noch immer nicht allgemein bekannt, geschweige denn akzeptiert, wie die Diskussion im Zusammenhang mit sicherheitsrelevanten Fragestellungen (Zwangsdurchleuchten von Personen und Gütern an der Grenze) oder andere Anwendungen ionisierender Strahlung ohne medizinische Indikation (Stichwort „medical-legal exposures“) zeigen.

Thesen

- Die Rechtfertigung setzt einen aktiven Prozess der Abwägung zwischen Handlungsoptionen voraus. Der Verweis auf niedrige Expositionen allein ist kein hinreichender Grund für die Rechtfertigung einer Anwendung. Soweit nicht bereits geregelt, muss die Rechtfertigung von neuen Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe grundsätzlich auf ggf. neuer rechtlicher Grundlage geprüft werden. In Fällen, in denen die Rechtfertigung auf Einzelfallentscheidungen hinausläuft, wie bei der rechtfertigenden Indikation des Arztes, müssen für den erforderlichen fachlichen Abwägungsprozess Orientierungshilfen in Form von medizinischen Leitlinien und vergleichbarer anerkannter Standards erarbeitet werden, die Handlungs- und Entscheidungskorridore festlegen.
- Die Rechtfertigung erfolgt in vielen einschlägigen Situationen im Rahmen gesamtgesellschaftlicher Prozesse, die den Strahlenschutz mit einbeziehen. Der Prozess der Rechtfertigung muss durch Festschreibung von Standards nachvollziehbar und transparent sein. Dabei müssen die Handelnden und ihre Funktionen eindeutig identifiziert, die erwogenen Handlungsoptionen benannt und der jeweils damit verbundene Schaden sowie der Nutzen aufgezeigt werden. Es ist dringend erforderlich, die Verfahren der Nutzen-Risiko-Abwägung, vergleichbar der Risikobewertung, stärker fachlich-wissenschaftlich abzusi-

chern. In vielen Fällen können hierbei auch bestehende betriebs-, volks- und versicherungswirtschaftliche sowie gesellschaftswissenschaftliche Methoden zum Einsatz kommen. Die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit dieser Methoden für den Abgleich von Handlungsoptionen ist weiter zu entwickeln und umzusetzen.

- Es sind Handlungsanleitungen zu erstellen und verbindlich festzulegen, welche die Umsetzung von Rechtfertigungsprozessen sowie der beschriebenen Grundsätze ermöglichen und nachvollziehbar machen.

Begründung

Bis zum heutigen Tag werden Diskussionen zur Rechtfertigung von Tätigkeiten immer wieder durch Risikoabschätzungen des Strahlenschutzes dominiert mit dem Versuch, die Rechtfertigung selbst durch einen Verweis auf die mit einer Anwendung verbundenen niedrigen Expositionen zu ersetzen. Dies ist grundsätzlich nicht zulässig. So wurden beispielsweise nach den Ereignissen des 11. September 2001 in Sicherheitskreisen wiederholt Screening- und Detektionsmethoden ins Gespräch gebracht, für deren Rechtfertigung es keine gesetzliche Grundlage gibt. Den Nachweis des individuellen oder gesellschaftlichen Nutzens müssen in diesem Fall die für die Sicherheit zuständigen staatlichen Stellen und nicht der Strahlenschutz erbringen. Es ist primär eine Aufgabe des Staates, die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Prüfung der Rechtfertigung zu schaffen.

Für die Abwägungsprozesse im Rahmen der Rechtfertigung von Tätigkeiten gibt es derzeit für Betreiber, Anwender und mit Fragen des Strahlenschutzes beauftragte Stellen kaum Handlungsanleitungen. Die Festschreibung von Mindeststandards für die operationelle Durchführung der entsprechenden Verfahren in Leitfäden ist dringend notwendig. Die Nachvollziehbarkeit des Abwägungsprozesses durch Betreiber und Anwender setzt voraus, dass explizit erwogene Handlungsoptionen benannt und die jeweils damit verbundenen Risiken und der Nutzen aufgezeigt werden. Mindestanforderungen an Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Dokumentation) sind zu erfüllen.

A.1.2 Dosisbegrenzung

Hintergrund

Das Einhalten der für die unterschiedlichen Situationen relevanten Dosis-Begrenzungswerte allein reicht im Strahlenschutz nicht aus. Es besteht vielmehr immer das zusätzliche Erfordernis der Rechtfertigung (vgl. A.1.1) und der Optimierung (vgl. A.1.3).

Für die Dosisbegrenzung kommen im Strahlenschutz unterschiedliche Vorgehensweisen zum Einsatz. Zum einen wird die Dosis in allen Fällen, in denen die Strahlenquellen zum Zwecke des Strahlenschutzes kontrolliert, bzw. die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe geplant werden können, durch Grenzwerte eingeschränkt. Wichtige Beispiele sind die Grenzwerte für berufliche Strahlenexposition (20 mSv/Jahr) oder für Expositionen der allgemeinen Bevölkerung (1 mSv/Jahr). Kann die Kontrolle für den Einzelnen im engen Sinne nicht durchgeführt bzw. gewährleistet werden (z. B. bei potenziellen Expositionen), so erfolgt die Begrenzung der Dosis aus kontrollierbaren Quellen über Maßnahmen- oder Richtwerte bzw. Ziel- oder Referenzwerte, die so festgelegt werden, dass die genannten personenbezogenen Grenzwerte eingehalten werden. Diese Maßnahmen- oder Richtwerte bzw. Ziel- oder Referenzwerte entfalten im Gegensatz zu den Grenzwerten keine rechtliche Bindungswirkung, d. h. ihnen kommt bezüglich der praktischen Durchführung von Maßnahmen des Strahlenschutzes eine geringere Verbindlichkeit zu.

Für beruflich Strahlenexponierte wird die Einhaltung der relevanten Grenzwerte durch entsprechende Überwachungsmaßnahmen individuell überprüft und in einem zentralen Register beim BfS erfasst, ausgewertet und überwacht. Die Überwachung des Grenzwertes für die allgemeine Bevölkerung ist einerseits individuell nur durch Abschätzungen und nicht wie im Falle beruflicher Strahlenexpositionen durch Messungen möglich. Andererseits ist eine individuelle, auf Messwerte gestützte Überwachung wegen der in aller Regel geringen Dosisbeiträge von Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten auch nicht erforderlich. Die Dosisermittlung erfolgt durch Abschätzverfahren, die zwangsläufig eine Reihe von Annahmen und Unsicherheiten beinhalten. Die Abschätzung bzw. Berechnung ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) so angelegt, dass Expositionen für jede Einzelquelle konservativ abgeschätzt werden. Somit kann insgesamt die Abschätzung für Expositionen aus allen Tätigkeiten bezogen auf jede einzelne Person der Bevölkerung als konservativ gelten.

Für Unfallsituationen sind Eingreifrichtwerte für Sofortmaßnahmen sowie Höchstwerte der Kontamination von Nahrungs- und Futtermitteln festgelegt. Die Eingreifrichtwerte erfüllen

zwei Zwecke: (1) In der Planungsphase sind sie Grundlage für organisatorische und inhaltliche Planungen und Vorkehrungen des Katastrophenschutzes. Sie zielen darauf ab, bei „Gefahr im Verzug“ Sofortmaßnahmen zu ergreifen und dabei ein Überschreiten der Richtwerte möglichst zu verhindern. (2) Im Ereignisfall stellen die Eingreifrichtwerte „Referenzwerte“ für das Ergreifen bestimmter Schutzmaßnahmen dar. Ein Überschreiten von Richtwerten kann u.U. gerechtfertigt sein, wenn die Durchführung einer Maßnahme selbst mit einer großen Gefährdung für Leben und Gesundheit der exponierten oder potenziell exponierten Personen verbunden ist.

In vorgefundenen Situationen, in denen die Strahlenexpositionen auf natürliche Quellen zurückzuführen sind (z. B. Radon in Aufenthaltsräumen) oder in denen sie Hinterlassenschaften früherer menschlicher Tätigkeiten darstellen (z. B. Altlasten), dienen Maßnahmewerte zur Rechtfertigung von Sanierungsmaßnahmen und Zielwerte zur Markierung des Maßnahmenkorridors. Das Ziel der ergriffenen Maßnahmen ist es, den Zielwert zu erreichen und, soweit möglich, zu unterschreiten. Sollten Expositionen oberhalb von Maßnahmenwerten liegen, sind Sanierungsmaßnahmen gerechtfertigt und unter Beachtung des Optimierungsgrundsatzes so zu planen und auszuführen, dass ein Unterschreiten des Zielwertes möglichst erreicht wird. Eine Unterschreitung besagt einerseits nicht, dass der Optimierungsprozess im Sinne des Strahlenschutzes automatisch abgebrochen werden kann, andererseits sind weitere Kosten verursachende Maßnahmen nicht zwangsläufig gerechtfertigt. Umgekehrt heißt dies aber auch, dass auch ein nachweisbar optimiertes Ergebnis oberhalb des Zielwertes aus Sicht des Strahlenschutzes akzeptiert werden muss.

Die Einführung diagnostischer Referenzwerte (DRW) für häufige und/oder dosisintensive Untersuchungen entsprechend der EU-Richtlinie 97/43/EURATOM leistet einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung und -kontrolle sowie zur Reduktion der Exposition von Patienten durch diagnostische Strahlenanwendungen. In der Röntgendiagnostik stellen die DRW obere Richtwerte dar, die nicht ständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. In der nuklearmedizinischen Diagnostik handelt es sich dagegen um Optimalwerte, welche die notwendige Radioaktivitätsmenge angeben, die bei Standardverfahren und -patienten verabreicht werden sollen, um eine gute Bildqualität zu gewährleisten. Sie gelten im engeren Sinne nicht für einzelne Patienten, sondern beziehen sich auf die mittlere Dosis/Aktivität einer Gruppe von Patienten, die an einer speziellen Einrichtung exponiert werden. Ganz wesentlich ist die periodische Überprüfung der Strahlenexposition von Patienten auf Einhaltung der DRW bei den Anwendern sowie ggf. die erforderliche Fehlerquellensuche vor Ort und die persönliche Beratung zur Verbesserung der Untersuchungsqualität durch die Ärztlichen Stellen.

Thesen

- Bei kontrollierbaren Strahlenquellen und planbaren Strahlenanwendungen stellen Dosisgrenzwerte ein wesentliches Element des Strahlenschutzes dar.
- Bei beruflich strahlenexponierten Personen sind Strahlenexpositionen auf der Basis individueller Dosismesswerte zu erfassen und zu bewerten. Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten und Arbeiten sind gleich zu bewerten; sollten gleichzeitig Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten und Arbeiten vorliegen, so ist die Summe der Expositionen zu bewerten. Die Dosismesswerte sind zentral zu erfassen und die Einhaltung der Grenzwerte ist zentral zu überwachen.
- Bei der Bevölkerung sind Strahlenexpositionen aus Tätigkeiten abzuschätzen bzw. zu berechnen. Eine messtechnische Überwachung auf individueller Ebene ist weder möglich, noch notwendig. Die Überwachung der Dosisbegrenzung der Bevölkerung muss auf hinreichend abdeckenden Abschätz- und Berechnungsverfahren beruhen. Eine bestimmte Strahlenquelle oder Strahlenanwendung darf dabei nur einen möglichst kleinen Anteil des Dosiswertes, der durch den Dosisgrenzwert vorgegeben ist, ausschöpfen. Diese Einschränkung gilt auch für einzelne Ableitungspfade.
- Bei Strahlenexpositionen durch natürliche Quellen oder aus Hinterlassenschaften ehemaliger Tätigkeiten, die einerseits direkt nicht oder kaum kontrollierbar sind, bei denen andererseits aber der Expositionspfad durch Maßnahmen beeinflusst werden kann, erfolgt die Dosisbegrenzung durch Maßnahmen- und Zielwerte. Expositionen oberhalb des Maßnahmenwertes rechtfertigen die Planung und Ausführung von Maßnahmen zur Dosisreduktion unter Einhaltung der Grundsätze der Optimierung. Ziel der Maßnahmen ist eine Unterschreitung relevanter Zielwerte. Ein Beispiel hierfür ist die vom BfS aktiv verfolgte Regelung zur Dosisbegrenzung durch Radon in Aufenthaltsräumen (vgl. A.III.2).
- Bei Unfallsituationen wird die Dosis durch Richtwerte begrenzt. Diese dienen einerseits der Planung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes. In einer Unfallsituation stellen sie Bezugswerte dar für das Ergreifen oder Beenden von Schutzmaßnahmen.
- Zur Begrenzung der Dosis aus diagnostischen Anwendungen in der Medizin kommen Diagnostische Referenzwerte zur Anwendung. Ihre Einhaltung ist durch physikalisch-technische Verfahren sowie durch Verfahren der Qualitätssicherung und des Qualitätsmanagements zu gewährleisten.
- Die Dosisbegrenzung durch Dosisgrenzwerte oder durch Maßnahmen- und Zielwerte muss immer ergänzt werden durch die Anwendung der Grundsätze der Rechtfertigung

und der Optimierung im Strahlenschutz.

Begründung

Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte zeigt, dass mit der Durchsetzung der Prinzipien der „Dosisbegrenzung“ und „Optimierung“ die Expositionen der beruflich Strahlenexponierten kontinuierlich abgenommen haben. Die Reduzierung des Grenzwertes auf 20 mSv pro Jahr hat zu keinen erkennbaren betriebsbedingten Schwierigkeiten geführt. Die Überwachungsdaten des Strahlenschutzregisters des BfS zeigen vielmehr, dass bereits vor der entsprechenden rechtlichen Festlegung die Häufigkeit von Dosiswerten am oberen Ende der Dosisverteilung (> 20 mSv/Jahr) abgenommen hat.

Im Gegensatz zur Dosisbegrenzung beruflich strahlenexponierter Personen, die sich grundsätzlich auf die messtechnische Erfassung personenbezogener Expositionen stützt, ist dies bei der Bevölkerung nicht möglich. Solange Expositionen aus einzelnen Quellen oder Anwendungen abdeckend geschätzt bzw. berechnet werden und nur einen kleinen Anteil des Dosiswertes ausmachen, der insgesamt durch die Dosisbegrenzung vorgegeben wird, ist diese Notwendigkeit nicht gegeben.

In Situationen, in denen Expositionen faktisch vorliegen wenn der Strahlenschutz tätig wird, ist eine Dosisbegrenzung nach dem Grenzwertprinzip in der praktischen Anwendung nicht sinnvoll. In solchen Situationen wird das Prinzip der Dosisbegrenzung am wirksamsten durch Maßnahmenwerte, die den Start eines Optimierungsverfahrens begründen und Zielwerte, die eine Mindestanforderung an die Maßnahmen definieren, umgesetzt. Dieses Verfahren trifft u.a. auf Radon in Aufenthaltsräumen und auf radiologische Altlasten zu (vgl. A.III.2).

Interventionssituationen können grundsätzlich wie Situationen mit faktisch vorliegenden Expositionen betrachtet werden. Nähert sich im Falle der Intervention die Dosis dem Wert 100 mSv an, ist in jedem Fall der Einsatz auch weitreichender Schutzmaßnahmen gerechtfertigt um die Exposition zu verhindern bzw. zu reduzieren. Bei Dosen höher als 100 mSv besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten deterministischer Effekte und ein signifikantes Krebsrisiko. Eine Überschreitung dieses Wertes kann nur unter extremen Umständen gerechtfertigt sein, zur Lebensrettung oder Verhinderung von Unfällen mit katastrophalem Ausmaß.

A.1.3 Optimierung

Hintergrund

Das Prinzip der „Optimierung“ hat eine erhebliche Bedeutung für den praktischen Strahlenschutz. Nach der ICRP-Empfehlung Nr. 103 gilt: „The principle of optimization is defined as the source-related process to keep the likelihood of incurring exposures (where these are not certain to be received), the number of people exposed, and the magnitude of individual doses as low as reasonably achievable, taking economic and societal factors into account.“. Dieses Prinzip ist dem in der StrlSchV und RöV verankerten Gebot („... jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt ist zu vermeiden“ und „... jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt ist unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“) gleichwertig. Bei der praktischen Anwendung des Optimierungsprinzips im Rahmen planerischer Überlegungen sind Strategien anzuwenden, die unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles zur Reduktion der Exposition der Bevölkerung und von beruflich Strahlenexponierten führen. Hierbei sind auch langfristige Betrachtungen anzustellen, die sich von der Planungsphase über die Betriebsphase bis hin zur Beendigung einer Anwendung oder des Betriebs einer Anlage erstrecken. Eine konsequente Anwendung des Prinzips der Optimierung führt auch zu Überlegungen und Maßnahmen, die zur Reduktion von Unfallrisiken und potenziellen Expositionen beitragen.

Für Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung technischer Anlagen bzw. Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe, bilden Richtlinien, Standards, Vorschriften etc., in welche die Ergebnisse von generischen Optimierungsüberlegungen eingeflossen sind, einen Handlungs- und Entscheidungskorridor für Antragsteller und Genehmigungsbehörden. Diese einschlägigen Richtlinien, Standards und Vorschriften etc. werden dem Stand von Wissenschaft und Technik folgend ständig weiter entwickelt. Die Voraussetzung einer Genehmigung ist dann der spezifische Nachweis des Antragstellers oder Betreibers, welche konkreten technischen und organisatorischen Maßnahmen im Einzelfall umgesetzt werden sollen, um dem Optimierungsgrundsatz Rechnung zu tragen. Optimierung ist kein statisches Verfahren. Vielmehr sind praktisch gewonnene Erfahrungen während aller Phasen von Planung über Errichtung und Betrieb bis zur Stilllegung ständig bei der Weiterentwicklung der Optimierungsanforderungen zu berücksichtigen. Dies führt letztendlich zur Entwicklung einer Sicherheits- und Schutzkultur in einer Organisation.

In „Interventionssituationen“ besteht eine enge Wechselwirkung zwischen der Rechtfertigung und der Optimierung. Während im Prozess der Rechtfertigung grundsätzlich nachzuweisen ist, dass Interventionsmaßnahmen einen Netto-Nutzen ergeben können, sind im Prozess der Optimierung aus den möglichen Maßnahmen jene auszuwählen, die den maximalen Netto-Nutzen erbringen. Dieses Prinzip wird im Falle von Sanierungsprogrammen dadurch berücksichtigt, dass bei der Festlegung eines Maßnahmenwerts bereits eine Abwägung von Nutzen und Schaden vorgenommen wird (vgl. A.I.1). Das Optimierungsverfahren beschränkt sich dann darauf, aus den möglichen Maßnahmen jene auszuwählen, die im Einzelfall zu einer dauerhaften Unterschreitung des Maßnahmenwertes und zu einem maximalen Netto-Nutzen führen und von den Beteiligten akzeptiert werden.

In der internationalen Diskussion ist man sich darin einig, dass der Optimierungsprozess nicht durch eine vorab getroffene Festlegung generischer Werte im Sinne von Abschneidevorschriften begrenzt werden soll. Einzelheiten sind der ICRP Publikation 101 zu entnehmen (The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process; Annals of the ICRP, 2006). Der Optimierungsprozess soll vielmehr dann beendet werden, wenn im Rahmen des Gesamtprozesses das Optimum erreicht worden ist. Es besteht allerdings auch Übereinstimmung in der Auffassung, dass bei der Festlegung des Optimums auch Aufwendungen für jeweils weitere Optimierungsschritte betrachtet werden müssen und der Aufwand bei sehr niedrigen Expositionen „angemessen“, d. h. entsprechend niedrig sein muss. Es kann hierbei hilfreich sein, im Optimierungsraum ein Dosis- oder Risikoziel festzulegen, das die Größenordnung der Optimierungsnotwendigkeit aus Sicht des Gesetz- oder Verordnungsgebers regelt.

Eine allgemein anwendbare Methode zur praktischen Durchführung der Optimierung kann wegen der vielfältigen Faktoren, die im Optimierungsprozess zu betrachten sind, nicht angegeben werden. Eine ausschließliche Anwendung der quantitativen (mathematischen) Kosten-Nutzen-Analyse ist aber abzulehnen, da sie den Optimierungsprozess auf Fragen der Monetarisierung radiologischer Risiken reduzieren würde. Soll die Kollektivdosis im Rahmen der Optimierung bewertet werden, ist sorgfältig zu prüfen, ob die Voraussetzungen dafür gegeben sind (siehe A.II.5).

Das Grundprinzip der Optimierung muss trotz der zahlreichen fachlichen Probleme, die nach wie vor mit der praktischen Umsetzung verbunden sind, eine zentrale Stellung im praktischen Strahlenschutz einnehmen, da nur die konsequente Anwendung des Prinzips der Optimierung zur Etablierung einer Sicherheits- und Schutzkultur führt, in der sich die für die Belange des Strahlenschutzes Verantwortlichen und die Betroffenen gemeinsam und dauerhaft

um die Reduktion der Strahlenexpositionen bemühen. Die Einbeziehung der Betroffenen („stakeholder involvement“) ist ein wesentlicher Aspekt dieser Sicherheits- und Schutzkultur. Der Prozess des „stakeholder involvement“ kann und muss je nach Fragestellung sehr unterschiedlich gestaltet werden und setzt bei den Verantwortlichen ein hohes Maß an sozialer Kompetenz voraus. Richtig eingesetzt, führt diese Form der Beteiligung an der Vorbereitung von Entscheidungen zu einer Verbesserung der Qualität von Entscheidungen, zu einer Vergrößerung der Transparenz der zugrunde liegenden Prozesse und letztlich zu einer Festigung der Vertrauensbasis.

Thesen

- Optimierung setzt einen aktiven Prozess der Abwägung zwischen Handlungsoptionen voraus. Dabei sind u. a. folgende Aspekte zu berücksichtigen: Charakteristika der betroffenen Gruppe (Alter, Geschlecht, Lebensgewohnheiten) und der Expositionssituation (Dosisverteilung, Anzahl der Exponierten, reale oder potenzielle Expositionen), soziale Aspekte (individueller vs. gesellschaftlicher Nutzen, Gleichbehandlung innerhalb einer Generation bzw. zwischen Generationen), Auswirkungen auf Umwelt und Klima, technische und ökonomische Aspekte sowie die politische und administrative Umsetzbarkeit von Regelungen. Die einzelnen Charakteristika und Aspekte können und müssen gewichtet werden. Optimierung ist dabei nicht als *de minimis* Prinzip zu verstehen. Vielmehr geht es um das Erzielen des Optimums unter Beachtung planerischer oder gegebener Rahmenbedingungen. Das Erreichen niedriger Expositionswerte unterhalb von Grenz- und Richtwerten oder das Unterschreiten eines bestimmten Verhältnisses von Kosten und Nutzen (eingesparte Dosis) allein ist noch kein Nachweis dafür, dass das Optimum einer bestimmten Anwendung erreicht ist.
- Es ist Aufgabe des „Betreibers“ bzw. Antragstellers oder Genehmigungsinhabers, Optimierungsüberlegungen anzustellen, transparent zu gestalten und zu dokumentieren. Es ist Aufgabe der Behörde, diese Überlegungen zu prüfen und in der Genehmigung zu dokumentieren, dass dem Optimierungserfordernis Rechnung getragen wurde. Zur Umsetzung dieser Anforderung sind Handlungsanleitungen zu erstellen und verbindlich einzuführen. Dieses Prinzip gilt analog auch für den Bereich der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin.
- Der Prozess der Optimierung muss durch Festschreibung von Mindeststandards nachvollziehbar und transparent sein. Die Festschreibung solcher Standards in Leitfäden ist notwendig. Die Leitfäden müssen folgende Aspekte berücksichtigen: Geltungsbereich und Zweck, Definition von Zielhierarchien, Aufzeigen von Alternativen, Präferenzen und Prioritäten sowie die Beschreibung des eigentlichen Verfahrens. Im Rahmen verbindli-

cher Regelungen müssen die Ausgestaltung des Optimierungsprozesses und die Bedingungen für die Durchführung des Prozesses einschließlich der Art und des Umfangs der Einbeziehung der Betroffenen („stakeholder involvement“) festgelegt werden.

- Zur sachgerechten Umsetzung von Stakeholder-Prozessen müssen sowohl das fachliche Anforderungsprofil der im Strahlenschutz Verantwortlichen als auch die Organisationsformen der Strahlenschutzorganisationen und –behörden stetig weiter entwickelt werden. Internationale Initiativen in diesem Bereich, wie z.B. das Europäische ALARA Netzwerk, müssen bei ihrer Arbeit unterstützt werden.

Begründung

Bis zum heutigen Tag werden Diskussionen zur Anwendung des Prinzips der Optimierung immer wieder durch Verweis auf damit verbundene niedrige Expositionen ersetzt. Dies ist nicht zulässig. Die o. a. Rollen von Betreiber und Behörden sind derzeit nicht in der erforderlichen Klarheit beschrieben. Aus Gründen der Transparenz und der Nachprüfbarkeit ist dies erforderlich.

Für die Abwägungsprozesse im Rahmen der Optimierung gibt es derzeit keine Handlungsanleitung für Betreiber, Anwender und die mit Fragen des Strahlenschutzes beauftragten Stellen, die Mindeststandards für eine operationelle Umsetzung des Grundprinzips der Optimierung festlegen und die Überprüfung der erfolgreichen Anwendung des Optimierungsprinzips ermöglichen. Die hier geforderten Mindeststandards betreffen das der Optimierung zu Grunde zu legende Verfahren, insbesondere die Festlegung der am Prozess Beteiligten, deren Verantwortlichkeiten, der wichtigsten Optimierungskriterien, des Ablaufs des Prozesses, der Transparenz des Verfahrens sowie der Dokumentation der Ergebnisse. Dabei muss fallspezifisch auch über Art und ggf. Umfang von Stakeholderbeteiligungen entschieden werden. Stakeholderbeteiligung verbessert grundsätzlich die Qualität der Ergebnisse. Die Verantwortung für Entscheidungen liegt aber in jedem Fall bei den zuständigen Behörden.

Das Ausbildungsprofil der Verantwortlichen im Strahlenschutz ist derzeit in hohem Maße von fachlicher Qualifikation in den einschlägigen Fachrichtungen der Naturwissenschaft und der Technik bzw. Medizin geprägt. Dies wird auch in Zukunft so sein. Die Einbeziehung von Stakeholdern in Entscheidungsfindungsprozesse setzt aber zusätzlich gewisse Fähigkeiten voraus, die in der Regel nicht Gegenstand der beruflichen Ausbildung von Strahlenschützern sind. Angebote zur Fort- und Weiterbildung in den Fächern der Sozialwissenschaften sind

eher selten. Mitarbeiter/-innen in bestehenden Strahlenschutzorganisationen und -behörden, die über das gesamte Kompetenzspektrum verfügen, stellen derzeit eher die Minderheit dar.

II. Einzelfragestellungen

A.II.1 Dosis-Wirkungs-Beziehung

Hintergrund

Unser Wissen über Strahlenwirkungen und Strahlenrisiken stützt sich auf eine Vielzahl von naturwissenschaftlichen und medizinischen Erkenntnissen aus epidemiologischen und strahlenbiologischen, das heißt tier- und zellexperimentellen Studien, biophysikalischen Modellierungen, medizinischen Untersuchungen und deren wissenschaftliche Bewertung. In der Bewertung wird die Evidenz (in der englischsprachigen Bedeutung des Terms „proof of evidence“: den Nachweis, den Beweis führen) der Daten gewichtet, die Nachweise, Verdachtsmomente oder Hinweise auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung geben. Dabei kommt in der Bewertung den Prüfpunkten Konsistenz der Befunde, Plausibilität und Spezifität ein hoher Stellenwert zu. Evidenz aus Befunden am Menschen kommt ein höheres Gewicht zu als denen aus Untersuchungen an Tieren, aus zellbiologischen Studien und aus Modellierungen. Höchste Evidenz erbringen somit mehrere unabhängige analytische Studien an exponierten Personen mit konsistenten Ergebnissen, die den Kausalitätskriterien (1) konsistente zeitliche Abhängigkeit zwischen Exposition und Wirkung, (2) strenger, konsistenter Zusammenhang zwischen Exposition und Wirkung, (3) verlässliche, eindeutige Expositionsermittlung, (4) evidente Expositions-Wirkungsbeziehung, (5) Freisein von Verzerrungen in der Datenerhebung (Bias) und anderen Störfaktoren (Confounding), (6) biologische bzw. biomedizinische Plausibilität des Wirkzusammenhangs und (7) hohes statistisches Vertrauen in die beobachteten Unterschiede zwischen Exponierten und Kontrollen (statistische Signifikanz) genügen. Die Quantifizierung des Strahlenrisikos beruht auf der zusammenfassenden, strahlenhygienischen Bewertung in sich vergleichbarer analytischer epidemiologischer Studien bei Personengruppen, die verschiedenen hohen Strahlenexpositionen ausgesetzt waren, so dass unterschiedlich hohe Krebs- oder Leukämiehäufigkeiten in Abhängigkeit von der Dosis bzw. Exposition festgestellt werden konnten. Eine herausragende Rolle spielen dabei die Untersuchungen an den strahlenexponierten Überlebenden der Atombombenabwürfe in Hiroshima und Nagasaki. Daneben werden einbezogen Studien an aus medizinischen Gründen bestrahlten Patienten (z. B. mit Morbus Bechterew, Tuberkulose, Mastitis, Tinea capitis), beruflich strahlenexponierten Personen (Uranbergarbeiter, Leuchtziffermalerinnen, Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen) und an Bewohnern von Wohnungen mit höheren Radonbelastungen. Hinzu kommen weitere Studien an chronisch exponierten Personengruppen (Arbeiter in kerntechnischen Anlagen, Bewohner von Regio-

nen mit erhöhten Kontaminationen der Umwelt aus der Atombombenproduktion und von Atombombentests in der ehemaligen Sowjetunion).

Für die Anwendung im Strahlenschutz muss die Quantifizierung des Strahlenrisikos mit der Charakterisierung der Dosis-Wirkungs-Beziehung und deren Steigung beziehungsweise Krümmung aber weitergeführt werden in der Extrapolation der empirischen Befunde aus hohen bis mittleren Expositionswerten, wie sie den genannten Beobachtungs- und Versuchsdaten zugrunde liegen, zum regulationsrelevanten niedrigen Dosisbereich. Die Extrapolation fußt auf der strahlenhygienischen Bewertung der vorliegenden evidenz-gewichteten Befunde und stellt eine fachlich begründete Konvention für den Strahlenschutz dar. Die der Extrapolation innewohnenden Unsicherheiten lassen sich grundsätzlich durch weitere Forschungsanstrengungen verringern, aber nicht gänzlich beseitigen. Die Unsicherheiten nehmen in Abhängigkeit von der Kürze der Strecke ab, über die extrapoliert werden muss. Wie am Beispiel von Radon in Wohnungen gezeigt werden konnte, grenzt hier der Beobachtungsbereich unmittelbar an den regulationsrelevanten Bereich an.

Die epidemiologischen Studien an den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki, die nach Dauer und Personenzahl zu den umfangreichsten Studien gehören, zeigen für alle Krebsarten zusammengenommen eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis im Dosisbereich von etwa 3 Sv bis zum Bereich kleiner Dosen, wobei die untere Nachweisgrenze in Abhängigkeit von der Zahl der in der Studie beobachteten Personen bei etwa 50 mSv liegt. Regulationsrelevant ist jedoch der Dosisbereich von 20 mSv und darunter für beruflich strahlenexponierte Personen und von 1 mSv und kleiner für die Bevölkerung. Das heißt, dass die Extrapolationsspanne zwischen empirischem Risikonachweis und Abschätzbereich des praktischen Strahlenschutzes etwa 1 bis 2 Größenordnungen beträgt. Der Expositionsbereich unterhalb der genannten Nachweisgrenzen ist einer epidemiologischen Risikoanalyse aus praktischen und methodischen Gründen in der Regel kaum mehr zugänglich. Der Umfang der für solche weitergehenden Untersuchungen benötigten Studienpopulationen wäre extrem groß. In umfassenden internationalen Forschungsprogrammen wird unter Einsatz systembiologischer Methoden versucht, die strahlenbedingten Risiken in dem für den praktischen Strahlenschutz relevanten Dosisbereich besser zu verstehen und zu quantifizieren.

Die Dosis-Wirkungs-Beziehung für Leukämien wird über den gesamten Expositionsbereich von 3 Sv und kleiner am besten durch ein linear-quadratisches Modell beschrieben. Im niedrigen Dosisbereich, das heißt bei weniger als 100 bis 50 mSv, ist der lineare Teil des linear-quadratischen Modells für den Verlauf der Dosis-Wirkungskurve bestimmend. Abgesehen

von den Leukämien ist für viele andere Krebsarten die Zahl beobachteter strahlenbedingter Krebsfälle für eine Bestimmung krebsartspezifischer Dosis-Wirkungs-Beziehungen in aller Regel zu klein. Ausnahmen bestehen hier insbesondere beim Lungenkrebsrisiko durch Radon, beim Brustkrebsrisiko bei Frauen durch Photonenstrahlung und beim Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen durch Inkorporation von radioaktivem Jod. Statistisch signifikante Krebsrisiken wurden, beschränkt durch die Größe der Studienpopulationen, bei Expositionen über etwa 50 mSv effektive Dosis beobachtet. Einzelne epidemiologische Studien weisen darauf hin, dass auch bei Expositionen unterhalb von 50 mSv erhöhte Strahlenrisiken auftreten. In der Oxford-Studie, bei der u.a. Krebsrisiken von Kindern untersucht wurden, die während der Schwangerschaft einer erhöhten Strahlenexposition durch Röntgenstrahlung ausgesetzt waren, konnte eine untere Nachweisgrenze für ein statistisch signifikant erhöhtes Strahlenrisiko von etwa 10 mSv effektive Dosis beschrieben werden. In den sog. Indoor-Radonstudien, in denen das Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnräumen untersucht wurde, zeigt sich, dass eine lineare Expositions-Wirkungsbeziehung mit den Daten am besten vereinbar ist. Mit steigender Radonkonzentration wurde ein statistisch signifikanter Anstieg des Lungenkrebsrisikos nachgewiesen. Dabei wurde als Exposition der zeitgewichtete Mittelwert der Radonkonzentrationen der in den letzten 5 bis 35 Jahren bewohnten Wohnungen berücksichtigt. Als untere Nachweisgrenze der statistischen Signifikanz für ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko konnte eine Radon-Aktivitätskonzentration von etwa 100 Bq/m^3 gezeigt werden. Diese Radonkonzentration in Wohnräumen entspricht einer jährlichen effektiven Dosis von etwa 2 mSv und bezogen auf 30 Expositionsjahre von etwa 60 mSv.

Bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur oder von wenigen Elektronenspuren getroffen. Eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle kann, da zelluläre Reparaturprozesse quantitativ und qualitativ nicht immer vollkommen sind, zur Krebsauslösung ausreichen. Auch bei kleineren Dosen ist das minimale Expositionereignis immer das einer singulären Elektronenspur, nur werden dann einfach relativ weniger einzelne Zellen eines Organismus getroffen. Da die meisten Krebserkrankungen nach vorherrschender wissenschaftlicher Meinung in der Regel monoklonale Ereignisse sind, d. h. von einer einzelnen geschädigten Zelle ausgehen können, ist die lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auch bei Expositionen, die durch singuläre Elektronenspuren in einzelnen Zellen charakterisiert sind, das strahlenhygienisch begründete Wirkmodell. Auch für Dosen unterhalb von 10 mSv ist damit die lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis die Konvention zur Abschätzung des Strahlenrisikos im Strahlenschutz.

Auf zellulärer und systemischer Ebene sind Mechanismen bekannt, die für sich betrachtet ein Abweichen von der linearen Dosis-Wirkungsbeziehung im niedrigen Dosiswirkungsbe-
reich für möglich erscheinen lassen. Diese Mechanismen wirken zum Teil in Richtung auf
eine Verringerung der Wirkung (u.a. adaptive response, immunologische Mechanismen),
andere in Richtung auf eine Erhöhung der Wirkung (u.a. Bystander effect, genetic instability).
Zusammenfassend kann aus diesen zellbiologischen und immunologischen Phänomenen
derzeit keine systematische Abweichung von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne
Schwellendosis begründet werden.

Für vererbare genetische Veränderungen muss aufgrund des gleichen biologischen Wirk-
mechanismus wie für Krebserkrankungen ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung
ohne Schwellendosis angenommen werden. Da hierfür keine direkten Beobachtungen beim
Menschen vorliegen, stützt sich diese Annahme weitestgehend auf tier- und laborexperimen-
telle Erkenntnisse.

Thesen

- Eine zusammenfassende, strahlenhygienische Bewertung der relevanten epidemiologi-
schen Studien führt zum Ergebnis, dass für alle Krebsarten gemeinsam und für die meis-
ten einzelnen Krebsarten die Dosis-Wirkungs-Beziehung im mittleren Dosisbereich von
50 bis 200 mSv am besten durch ein lineares Modell ohne Schwellendosis beschrieben
wird. Auch für den Dosisbereich unterhalb von 50 bis 10 mSv ist diese Annahme, basie-
rend auf biophysikalischen und allgemeinen Modellen zum Wirkmechanismus genotoxi-
scher und kanzerogener Noxen, strahlenhygienisch plausibel. Für die Auslösung sto-
chastischer Strahlenwirkungen (Krebs, Leukämien, genetische Schäden) muss daher für
die Anwendung im Strahlenschutz auch im Bereich kleiner Dosen aufgrund der strahlen-
hygienischen Bewertung von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellen-
dosis ausgegangen werden. In diesem Sinne stellt das lineare Dosiswirkungsmodell oh-
ne Schwellendosis eine wissenschaftlich fundierte Konvention des Strahlenschutzes dar.
Eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ist darüber hinaus auch bezüglich der Praktikabi-
lität im Strahlenschutz sinnvoll.
- Die lineare Extrapolation schätzt das Strahlenrisiko auch im niedrigen Dosisbereich rea-
listisch ab. Sie ist nicht per se konservativ. In der Zusammenschau betrachtet ist eine li-
neare Abschätzung des Gesamtrisikos durch Strahlung im Bereich kleiner Dosen weder
über- noch unterschätzend. Es gibt zwar Einzelbefunde, die ein Abweichen von der Line-
arität im niedrigen Dosisbereich nach oben bzw. unten möglich erscheinen lassen, insge-

samt betrachtet überwiegt aber die Evidenz für einen linearen Zusammenhang zwischen Exposition und Risiko auch bei niedrigen Expositionen.

- Betrachtet man hingegen einzelne Krebsarten, so kann der auf der Basis der linearen Extrapolation für das gesamte Strahlenrisiko abgeschätzte Risikowert zu einer Überschätzung des Risikos für eine einzelne Krebsart, für eine andere aber zu einer Unterschätzung führen. Auch für jede einzelne Krebsart ist die lineare Extrapolation, von wenigen Ausnahmen abgesehen (Osteosarkome nach Inkorporation von α -Strahlern, Leukämien im mittleren bis hohen Dosisbereich), unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten das beste Abschätzverfahren für den niedrigen Dosisbereich. Für Risikobewertungen, die sich auf einzelne Erkrankungsfälle beziehen, sollte beim Vorliegen belastbarer, spezifischer Daten dagegen nicht von der generalisierten Dosis-Wirkungs-Beziehung des Strahlenschutzes, sondern von der für die Krebsart spezifischen Wirkungsbeziehung ausgegangen werden.

Begründung

Auf der Grundlage der vorhandenen Erkenntnisse beschreibt keine andere als die lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis die beobachteten Strahlenwirkungen mit größerer Plausibilität. Zwar gibt es Hinweise aus Einzelbeobachtungen, dass durch die lineare Beziehung das Strahlenrisiko im Einzelfall unterschätzt oder überschätzt werden kann, aber in einer strahlenhygienischen Zusammenschau kommt diesen Einzelbeobachtungen keine ausreichende Evidenz zu, um ein grundsätzliches Abweichen von der strahlenhygienisch begründeten Konvention einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis zu rechtfertigen. Auf das häufig in diesem Zusammenhang angeführte Argument, dass bei niedrigen und protrahierten Expositionen, die in der Regel bei den heutigen regulationsrelevanten Strahlenexpositionen vorliegen, von einer unterlinearen Dosis-Wirkungs-Beziehung auszugehen ist, was letztendlich zur Einführung des DDREF in den ICRP-Empfehlungen geführt hat, wird im folgenden Kapitel eingegangen (siehe hierzu Abschnitt A.II.2). Zentral für die strahlenhygienische Bewertung ist deren Zielsetzung, trotz der mannigfaltigen Befunde zu Strahlenwirkungen und Strahlenrisiken, die oftmals in scheinbarem Widerspruch zueinander stehen, eine für den Strahlenschutz handhabbare Grundlage zu schaffen, auf der konkrete Strahlenschutzstandards und -maßnahmen entwickelt werden können. Hierzu muss die Komplexität der empirisch beschriebenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen und möglicher Wirkmechanismen sowie die der Extrapolation vom Beobachtungs- zum Regulationsbereich so weit verringert werden, dass eine generalisierte Beschreibung der Dosis-Wirkungs-Beziehung möglich ist, die plausibel aus der Gesamtschau der empirischen Daten

und wissenschaftlichen Wirkmodelle hergeleitet wurde und die so formuliert ist, dass sie in der Konsequenz zu keiner signifikanten Unter- wie Überschätzung des Strahlenrisikos im Bereich kleiner Dosen führt. Ersteres hätte weitreichende Auswirkungen im Bezug auf den Gesundheitsschutz, letzteres auf ökonomische (u.a. Wirtschaftlichkeit von Strahlenanwendungen) und gesellschaftliche (u.a. Gleichberechtigung am Arbeitsplatz) Rahmenbedingungen.

Auch Gründe der Praktikabilität sprechen für eine Anwendung der linearen Abschätzung im praktischen Strahlenschutz. Bei allen anderen Modellen ist eine einfache Addition von Expositionen, wie sie u.a. bei beruflich strahlenexponierten Personen oder bei der Berücksichtigung der Expositionen durch die natürliche Strahlung erforderlich ist, nicht möglich.

A.II.2 Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF)

Hintergrund

In der ICRP-Empfehlung Nr. 60 (1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 1990) wurde ein Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF) für Strahlungsarten mit niedrigem LET in Höhe von 2 eingeführt. Diese Empfehlung der ICRP war bislang allgemein akzeptiert und ist Teil der wissenschaftlichen Grundlage für die gegenwärtige Standardsetzung im internationalen und nationalen Strahlenschutz. Durch die Einführung eines DDREF wird die Steigung der Geraden, welche die lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis graphisch darstellt und wie sie aus den empirischen Daten an exponierten Personengruppen abgeschätzt wird, halbiert. Zentrale Schätzwerte für das Strahlenrisiko im Bereich kleiner Dosen und niedriger Dosisraten liegen somit um den Faktor 2 unterhalb der zentralen Schätzwerte für akute Strahlenexpositionen. Der DDREF wird wissenschaftlich damit begründet, dass experimentelle Ergebnisse aus Tierversuchen und einigen begrenzten Erfahrungen am Menschen, insbesondere aus medizinischen Anwendungen, sowie biophysikalische Modellvorstellungen es nahe legen, dass die Krebsinduktion bei niedrigen Dosen und Dosisleistungen relativ geringer sei als bei hohen Dosen und Dosisleistungen. Zelluläre Mechanismen wie DNA-Reparatur, programmierter Zelltod und weitere adaptive Reaktionen wirkten in Richtung auf eine Reduktion des Strahlenrisikos. Strahlenwirkungen auf spätere Stufen der Krebsentwicklung würden ebenfalls eher für niedrigere Risikoeffizienten sprechen. Auch in der aktuellen ICRP-Empfehlung Nr. 103 wird ein DDREF von 2 beibehalten.

Aus den vorliegenden epidemiologischen Beobachtungen kann eine Risikoverminderung im Bereich kleiner Dosen und Dosisraten nicht konsistent abgeleitet werden. Die epidemiologischen Studien sind vielmehr in aller Regel mit einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwelle auch im Bereich kleiner Dosen und Dosisraten vereinbar, d. h. mit einem DDREF von 1. Eine aktuelle Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse einschlägiger epidemiologischer Studien mit einerseits akuten und andererseits protrahierten, chronischen Expositionen ergibt keinen Hinweis auf das Vorliegen eines DDREF. Der von ICRP empfohlene DDREF von 2 ist zwar noch mit den vorliegenden Daten aus der Epidemiologie vereinbar, da er innerhalb des statistischen Vertrauensbereichs der Risikoschätzungen liegt. Unter Zuhilfenahme des DDREF abgeleitete Risikoschätzer stellen aber keine zentralen Schätzwerte dar und führen daher in der Konsequenz eher zu einer Unterschätzung des Strahlenrisikos.

Neuere Auswertungen der Daten von Hiroshima und Nagasaki beschreiben zwar eine Krümmung der Dosis-Wirkungsbeziehung für solide Tumore im Bereich niedriger Dosen. Der zentrale Schätzer für einen DDREF liegt nach diesen Auswertungen in einem Bereich zwischen 1,5 und 2. Hierbei wurde der gesamte Datensatz bis zu einer Exposition von 2 Gy ausgewertet. Wird der Datensatz hingegen zunehmend eingegrenzt, d. h. die Intervalle 0 – 2 Gy, 0 - 1 Gy, 0 – 0,5 Gy und 0 – 0,25 Gy betrachtet, so verschwindet die im gesamten Datensatz beobachtbare Krümmung zunehmend und der lineare Term einer linear-quadratischen Anpassung nähert sich zunehmend dem Wert der linearen Anpassung über den gesamten Dosisbereich von 0 – 2 Gy an. Zusammengefasst ergeben die neuen Auswertungen keinen Hinweis auf eine signifikante Abweichung eines DDREF von 1. Die Kommission des National Research Council der USA zu Biologischen Effekten Ionisierender Strahlung (BEIR) kommt in ihrer Bewertung von 2005 (BEIR VII) zur Empfehlung, einen DREFF von 1,5 zu verwenden. Aus den Daten von Hiroshima und Nagasaki schätzt sie einen DDREF von 1,3 (95% Intervall: 0,8 – 2,6), aus experimentellen strahlenbiologischen Daten einen DDREF von 1,5 ((95% Intervall: 1,0 – 4,4) und erhält als kombinierten Schätzwert für den DDREF 1,5 (95% Intervall: 1,1 – 2.3).

Neuere epidemiologische Studien an chronisch exponierten Personengruppen wie den Beschäftigten in kerntechnischen Anlagen, den Anwohnern des Flusses Tschja, der durch radioaktive Abfälle aus der Atombombenproduktion der ehemaligen UdSSR kontaminiert wurde, und denen des Atombombentestgeländes in Semipalatinsk zeigen übereinstimmend Risikoschätzer, die höher liegen als die in den Studien an den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan abgeschätzten Werte. Die Ergebnisse diese Studien stehen im Widerspruch zur Annahme einer Risikoreduktion bei niedrigen Dosen und Dosisraten.

Thesen

- Für die Anwendung eines Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF) fehlt die ausreichende wissenschaftliche Evidenz aus Studien an exponierten Personengruppen.
- Der in den Risikoabschätzungen und den Empfehlungen der ICRP, die Grundlage der zur Zeit geltenden rechtlichen Regelungen sind, enthaltene DDREF von 2 für locker ionisierende Strahlung, führt zu einer entsprechenden Unterschätzung des Strahlenrisikos für locker ionisierende Strahlung im niedrigen Dosisbereich und bei chronischer Strahlenexposition. Er sollte daher nicht weiter verwendet werden.

Begründung

Es gibt keine ausreichende epidemiologische Begründung für einen DDREF von 2. Die Begründung für einen DDREF von 2 stützt sich nahezu ausschließlich auf Befunde aus Zellkultur- und Tierversuchen sowie Modellvorstellungen. Der Vertrauensbereich der Risikoabschätzungen aus den epidemiologischen Studien bei den Atombomben-Überlebenden ist von der Größenordnung, die einen DDREF von 2 mit einschließt. Die Einführung eines DDREF von 2 nutzt allerdings für einen einzelnen Faktor den Vertrauensbereich des Risikos nach einer Seite vollständig aus und lässt für andere Einflussfaktoren, die in gleicher Richtung wirken könnten, keine Varianz mehr. Die Ausnutzung des gesamten Varianzraums in eine Richtung durch einen Faktor ist wissenschaftlich nicht plausibel, wenn begründet angenommen werden muss, dass weitere Faktoren die Varianz bedingen und deren Richtung nicht eindeutig bestimmt ist.

Zusammengefasst ergeben die Ergebnisse aus epidemiologischen Studien keinen Hinweis auf eine signifikante Abweichung der Steigung der linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung im Bereich kleiner Dosen und niedriger Dosisraten von der aus dem mittleren Expositionsbereich abgeschätzten und damit keinen Hinweis auf einen DDREF größer 1. Es gibt Hinweise aus tier- und laborexperimentellen Untersuchungen, aus biophysikalischen Modellvorstellungen und aus vereinzelt epidemiologischen Studien, hauptsächlich nach Strahlenanwendungen in der Medizin, die auf einen DDREF größer 1 hindeuten. Eine strahlenhygienische Bewertung gewichtet die Evidenz aus epidemiologischen Studien aber höher als die aus experimentellen Untersuchungen und Modellvorstellungen und führt daher konsequent zu dem Ergebnis, dass ein DDREF größer 1 für Anwendungen im Strahlenschutz abgelehnt werden muss.

A.II.3 Gewebewichtungsfaktoren

Hintergrund

Durch Gewebewichtungsfaktoren werden die unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeiten der einzelnen Organe und Gewebe für stochastische Strahlenwirkungen berücksichtigt. Mit Hilfe der Gewebewichtungsfaktoren wird aus der Energiedosis für einzelne Organe in der Summe die effektive Dosis als eine Ganzkörperdosis berechnet, wenn verschiedene Gewebe oder Organe insbesondere bei Teilkörperexpositionen und bei der Inkorporation von Radionukliden unterschiedlich hoch strahlenexponiert sind. In der ICRP-Empfehlung Nr. 103 werden die Gewebe-Wichtungsfaktoren der ICRP-Empfehlung Nr. 60 aktualisiert.

Bei der effektiven Dosis handelt es sich um eine Energiedosis, die für die Strahlungsart und die Strahlenempfindlichkeit betroffener Organe und Gewebe gewichtet ist. Die Größe „Effektive Dosis“ ist eine Abschätzgröße für die Zwecke des praktischen Strahlenschutzes und sollte daher auch nur dort zur Anwendung kommen. Sie gilt nur für den Bereich unterhalb der Schwelle für deterministische Strahlenwirkungen. Die effektive Dosis erlaubt Abschätzungen des Strahlenrisikos für Personengruppen, z. B. die der beruflich Strahlenexponierten, nicht jedoch für Individuen.

Die Abschätzung des Strahlenrisikos für Personengruppen wird erreicht durch Normierung der Summe der Gewebe-Wichtungsfaktoren auf 1. Die Werte der Gewebe-Wichtungsfaktoren hängen vom jeweiligen Kenntnisstand der Strahlenbiologie und -epidemiologie ab. Die derzeit im nationalen Strahlenschutzrecht verankerten Werte wurden in ICRP Nr. 60 empfohlen und in der EU-Richtlinie sowie in der Strahlenschutzverordnung normativ festgelegt. Werden zur Abschätzung von Verursachungswahrscheinlichkeiten und individuellen Strahlenrisiken Werte verwendet, die von den ICRP-Empfehlungen abweichen, so ist dies explizit zu begründen. Falls die Dosisberechnung mit einem abweichenden Gewebe-Wichtungsfaktor durchgeführt wird, handelt es sich beim Ergebnis nicht um eine effektive Dosis im Sinne der normativen Festlegungen.

Zur Bestimmung der Gewebe-Wichtungsfaktoren wurden von der ICRP die folgenden Komponenten berücksichtigt:

- Das attributable Leukämie- und Krebsmortalitätsrisiko,
- die gewichtete Wahrscheinlichkeit für attributable Leukämien und Krebs ohne Todesfolge,
- die gewichtete Wahrscheinlichkeit schwerwiegender vererbbarer Wirkungen,
- der relative Verlust an Lebenszeit durch Leukämie oder Krebs.

Insgesamt beziehen sich die Normierungen der Gewebe-Wichtungsfaktoren auf die nominalen Risikokoeffizienten für stochastische Effekte. Diese werden von der ICRP ausgewiesen für beruflich strahlenexponierte Personen und für die Bevölkerung. Sie stellen mittlere Schätzungen dar über die relevanten Altersgruppen, über alle Organe und über beide Geschlechter. Innerhalb der Altersgruppen ergibt sich ein um etwa den Faktor 3 erhöhtes strahlenbedingtes Krebsrisiko bei Kleinkindern im Vergleich zu dem der Erwachsenen. Frauen haben ein etwa 30 – 50 % höheres strahlenbedingtes Krebsrisiko als Männer.

Thesen

- Dem Verfahren der ICRP zur Festlegung von Gewebe-Wichtungsfaktoren sollte grundsätzlich gefolgt werden.
- Wegen der höheren Strahlenempfindlichkeit der Frau sollten sich die Strahlenschutzstandards am Strahlenrisiko der Frau ausrichten und nicht am gemittelten normativen Strahlenrisiko für beide Geschlechter.
- Wegen der besonderen Strahlenempfindlichkeit der weiblichen Organe Brustdrüse, Uterus und Ovarien sind die entsprechenden Gewebe-Wichtungsfaktoren so festzulegen, dass sie dem spezifische Krebsrisiko dieser Organe der Frau entsprechen (insbesondere für die Brustdrüse ist ein geschlechtsspezifischer Gewebe-Wichtungsfaktor und keine Mittelung über beide Geschlechter auszuweisen, Uterus und Ovarien werden unter die sonstigen Organe subsummiert).
- Allgemeine Gewebe-Wichtungsfaktoren, wie sie in Strahlenschutzstandards normiert sind, sollten nur im Strahlenschutz und bei der Abschätzung sowie der Registrierung von Strahlenexpositionen für bestimmte Überwachungsaufgaben Anwendung finden. Für Einzelfallbetrachtungen sind die jeweils besten Risikoschätzer heranzuziehen.

Begründung

Bei den Gewebe-Wichtungsfaktoren handelt es sich um normative Festsetzungen, bei denen nicht nur epidemiologische Befunde und strahlenbiologische Erkenntnisse berücksichtigt werden, sondern auch die Praktikabilität für die Strahlenschutz-Anwendung gewährleistet sein muss. Damit erklärt sich auch die Beschränkung auf die vier Werte für Gewebe-Wichtungsfaktoren: 0,12; 0,08; 0,04 und 0,01. Wegen der höheren Strahlenempfindlichkeit der Frau insgesamt und der besonderen Strahlenempfindlichkeit der weiblichen Organe, insbesondere der Brustdrüse, ist einerseits die Orientierung der Strahlenschutzstandards am höheren Strahlenrisiko der Frau insgesamt zu orientieren und nicht an der Mittelung zwi-

schen Frau und Mann sowie andererseits die Festlegung und Anwendung der Gewebe-Wichtungsfaktoren orientiert am spezifischen Krebsrisiko der weiblichen Organe notwendig.

Das Strahlenrisiko der Frau wird, auf der Basis des absoluten Strahlenrisikos betrachtet, zu etwa 25 % bestimmt durch das Brustkrebsrisiko, liegt aber bereits ohne Berücksichtigung der weiblichen Organe Brustdrüse, Uterus und Ovarien um etwa 20% über dem des Mannes. Der zur Zeit (StrlSchV 2001) rechtlich festgelegten Gewebe-Wichtungsfaktor für das Brustorgan von 0,05 entspricht nicht mehr dem heutigen Wissen zum strahlenbedingten Brustkrebsrisiko. Eine Anpassung ist notwendig. Die aktuelle Empfehlungen Nr. 103 der ICRP empfiehlt 0,12 als numerischen Wert, der aber weiterhin eine Mittelung für beide Geschlechter darstellt. Die Verwendung von gemittelten Werten über beide Geschlechter führt in der Konsequenz dazu, dass das strahlenbedingte Brustkrebsrisiko der Frau unterschätzt und das des Mannes überschätzt wird. Daraus folgt unmittelbar eine systematische Überschätzung bzw. Unterschätzung der relativen Risiken für alle anderen Organe und Gewebe der Frau bzw. des Mannes. Eine Begrenzung der Organdosis für das Brustorgan der Frau kann diese systematischen Unter- bzw. Überschätzungen, die durch die Mittelung entsteht, nicht aufheben. Die Strahlenempfindlichkeit der Frau insgesamt und insbesondere die der Brustdrüse bestimmt maßgeblich das Strahlenrisiko der Frau. Somit stellt die Mittelung selbst das eigentliche Problem der Verzerrung dar.

Allgemeine Gewebe-Wichtungsfaktoren, wie sie in Strahlenschutzstandards normiert sind, sollten nur Anwendung finden bei der Abschätzung von Strahlenrisiken von Bevölkerungsgruppen und für Überwachungsaufgaben des Strahlenschutzes (z. B. Strahlenschutzregister). Für Einzelpersonen und für besondere Anwendungen (z. B. Mammographiescreening im Rahmen der Krebsvorsorge) sind die jeweils besten Schätzwerte für die Strahlenempfindlichkeit des betroffenen Organs zu verwenden.

A.II.4 Strahlungswichtungsfaktoren (Photonen, Neutronen, Protonen)

Hintergrund

Die unterschiedlich starke biologische Wirkung verschiedener Strahlungsarten und -qualitäten bei gleicher Energiedosis wird im Strahlenschutz bei der Berechnung der Äquivalentdosis durch Strahlungswichtungsfaktoren berücksichtigt. Die Werte dazu wurden in der ICRP-Empfehlung Nr. 103 überarbeitet und festgelegt.

Thesen

- Das Konzept der Strahlungs-Wichtungsfaktoren, wie es bereits in der ICRP-Empfehlung Nr. 60 dargestellt ist, wird grundsätzlich nicht in Frage gestellt. Es sollten jedoch, den Empfehlungen der ICRP von 2003 und der SSK von 2004 folgend, Anpassungen für Protonen und Neutronen vorgenommen werden. Diese Forderung wurde in der ICRP-Empfehlung Nr. 103 umgesetzt.
- Allgemeine Strahlungs-Wichtungsfaktoren, wie sie in Strahlenschutzstandards normiert sind, sollten nur im Strahlenschutz und bei der Abschätzung sowie der Registrierung von Strahlenexpositionen für bestimmte Überwachungsaufgaben Anwendung finden.
- Für individuelle Risikoabschätzungen unter genau definierten Bedingungen der Strahlenexposition sollten nicht die allgemeinen Strahlungs-Wichtungsfaktoren benutzt werden. Stattdessen sind die Energiedosen und die jeweils besten Schätzwerte auf Basis der vorliegenden Daten zur relativen biologischen Wirksamkeit der in Betracht kommenden Strahlungsarten und -qualitäten zu verwenden.
- Zur besseren Verständlichkeit der Strahlungs-Wichtungsfaktoren und um eine eindeutige Bezugsbasis zu schaffen, sollte die Referenzstrahlung eindeutig definiert sein. Da die Abschätzung des Strahlenrisikos überwiegend auf den Daten der Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan beruhen, aber zunehmend auch Daten von Personengruppen mit chronischer Strahlenexposition berücksichtigt werden, bei denen Gammastrahlung die dosisbestimmende Strahlenart darstellt, wird empfohlen, Gammastrahlung als Referenzstrahlung festzulegen.

Begründung

Im Fachgespräch des BfS zur RBW im Jahr 2003 wurde grundsätzlich die Vorgehensweise der ICRP zur Bestimmung der Strahlungs-Wichtungsfaktoren bestätigt. Auch die SSK folgt in

ihrer Empfehlung zur RBW von 2004 grundsätzlich dem Vorgehen der ICRP. In den Anwendungsbereichen der Strahlungs-Wichtungsfaktoren empfiehlt die SSK allerdings genauere Vorgaben als die ICRP. Genau wie bei den Gewebe-Wichtungsfaktoren wurden bei den Strahlungs-Wichtungsfaktoren von ICRP und SSK empfohlen, diese normativ für die Bestimmung der effektiven Dosis festzulegen. Wird von den vorgegebenen Werten abgewichen, dann kann nicht mehr von einer effektiven Dosis im Sinne der normierten Strahlenschutzstandards gesprochen werden, sondern es muss eine andere Dosisbezeichnung benutzt werden. Eine Verwendung abweichender Wichtungsfaktoren ist daher immer explizit zu benennen.

Da bei der Exposition durch Photonenstrahlung häufig mit einer Mischung von Photonen unterschiedlicher Energien zu rechnen ist, ist aus Gründen der Praktikabilität bei der Überwachung von Strahlenexpositionen beruflich strahlenexponierter Personen weiterhin grundsätzlich für Photonen ein Strahlungs-Wichtungsfaktor $w_R = 1$ zu verwenden, obgleich zwischen den verschiedenen Qualitäten der Photonenstrahlung Abweichungen um etwa den Faktor 2 - 3 auftreten können.

Experimentell ermittelte RBW-Werte mit Protonen-Strahlung weisen darauf hin, dass für diese Strahlung ein Wert von 2 den Befunden besser entspricht als der bisherige Wert in der ICRP-Empfehlung Nr. 60 von 5. Daher wurde dieser Strahlungswichtungsfaktor in der aktuellen ICRP-Empfehlung Nr. 103 entsprechend angepasst.

Für die Neutronenstrahlung werden Strahlungswichtungsfaktoren empfohlen, deren Höhe von der Energie der Strahlung bestimmt wird. Deshalb hat jetzt in der ICRP-Empfehlung Nr. 103 eine kontinuierliche durch die vorher angewandte stufenförmige Funktion der Abhängigkeit von Neutronenenergie und Höhe des Strahlungs-Wichtungsfaktors ersetzt. Der maximale Wert liegt für eine Neutronenenergie von 1 MeV bei 20.

Für individuelle Risikoabschätzungen ist analog zum Verfahren bei Gewebewichtungsfaktoren immer der jeweils beste Schätzwert für den Strahlungswichtungsfaktor auf der Basis der relativen biologischen Wirksamkeit der relevanten Strahlenqualität zu verwenden. In Analogie gilt dies auch für die jeweils besten Schätzwerte für die individuellen Risikokoeffizienten für das Strahlenrisiko (u.a. differenziert nach Alter, Geschlecht etc.).

Das bestehende System aus Strahlungswichtungsfaktoren für den Strahlenschutz und Qualitätsfaktoren für den Bereich der Dosis-Messgrößen sollte beibehalten werden. Eine analoge

Anpassung der Qualitätsfaktoren an die Änderungen der Strahlungswichtungsfaktoren bei Protonen und Neutronen ist anzustreben.

A.II.5 Kollektivdosis

Hintergrund

Nach den ICRP-Empfehlungen Nr. 60 und Nr. 103 ist die Kollektivdosis definiert als Produkt des arithmetischen Mittels der Individualdosen und der Zahl der Exponierten. Das Konzept wurde in den 70er Jahren eingeführt, um das unkontrollierte Anwachsen von Dosisbeiträgen langlebiger Radionuklide in der Umwelt zu begrenzen. Für bestimmte (wiederkehrende) Anwendungen, z. B. bei Wartungsarbeiten in Kernkraftwerken, wurde und wird die Kollektivdosis angewandt, um einzelne Aspekte der Optimierung im beruflichen und standortbezogenen Strahlenschutz zu quantifizieren.

Es ist offensichtlich, dass eine Aufsummierung minimaler Dosisbeiträge über eine sehr große Personenzahl (z. B. die Weltbevölkerung) bzw. über sehr lange Zeiträume (z. B. mehrere Generationen) zu einer Überschreitung der Grenzen der Anwendbarkeit dieses Dosiskonzepts führt. Da die Verteilung der Höhe der zu berücksichtigenden Individualdosen oft mehrere Größenordnungen überstreichen kann und Abschätzfehler und Unsicherheiten u.a. abhängig von der absoluten Höhe der Dosis sind, ist eine fachlich begründete Anwendung der Kollektivdosis nur in wohl definierten Anwendungsfällen sinnvoll. Eine Bewertung im Sinne einer Risikoaussage für eine Bevölkerungsgruppe ist dagegen fachlich falsch und irreführend. Eine Abschätzung und Bewertung der Kollektivdosis kann, unter strenger Beachtung der Rahmenbedingungen, ein fachlich sinnvolles Instrument sein, um durch eine bestimmte Art der Anwendung verursachte zeitliche Veränderungen der Strahlenexposition (im Sinne einer Trendanalyse) aufzuzeigen.

Vor Anwendung des Kollektivdosisbegriffes ist zu prüfen, ob die Grundlagen und Randbedingungen dafür gegeben sind. Das Kollektivdosisbegriff ist nur für stochastische Strahlenrisiken anwendbar, für die eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis und eine Unabhängigkeit von der Dosisleistung gegeben ist. Eine solche direkte Proportionalität zwischen der Dosis und dem Strahlenrisiko („lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung“) wird für den Bereich niedriger Dosen im Sinne einer Konvention des Strahlenschutzes für praktische Anwendungen unterstellt (siehe A.II.1).

Voraussetzung für die Anwendung der Kollektivdosis ist außerdem, dass die betroffene Personengruppe hinsichtlich Alter und Geschlecht sowie die Verteilung der Individualdosen innerhalb der Gruppe hinreichend genau bekannt sein müssen. Für eine Gruppe beruflich strahlenexponierter Personen kann dies in vielen Fällen näherungsweise angenommen wer-

den. Außerdem können die Individualdosiswerte relativ genau aus der Überwachung von Beschäftigten in vergleichbaren Situationen oder als Ergebnis von Berechnungen vorhergesagt werden. Deshalb kann in diesen Fällen die Kollektivdosis als Bewertungsmaßstab für die Zwecke der Optimierung im Strahlenschutz Verwendung finden.

Die derzeitigen Diskussionen im internationalen Rahmen zielen auf eine Fortentwicklung des Konzepts der Kollektivdosis gem. ICRP-Empfehlung Nr. 60 ab. Diese Überlegungen fanden teilweise Eingang in die ICRP-Empfehlung Nr. 103.

Für die Entscheidung über Strahlenschutzmaßnahmen ist es nicht gleichbedeutend, ob eine kleine Zahl von Personen eine hohe Dosis erhält oder eine große Zahl eine sehr kleine. Während die jeweils höchsten Dosiswerte interessant sind im Hinblick auf das Vorliegen von Grenzwertüberschreitungen, tragen sie ggf. nur wenig zur Kollektivdosis bei. Im Interesse eines prioritär auf den Einzelnen und nachrangig auf eine Bevölkerungsgruppe abzielenden Strahlenschutzes ist es deshalb notwendig, der Verteilung der Individualdosiswerte eines Kollektivs als Grundlage für Strahlenschutzüberlegungen einen höheren Stellenwert beizumessen als der Summe der Werte. Für den Bereich der beruflichen Strahlenexposition, für den Individualdosiswerte vorliegen, sind die Voraussetzungen für die Anwendung des Kollektivdosisbegriffes gegeben. Die Auswertungen der Daten des Strahlenschutzregisters folgen diesem (noch keineswegs allgemein akzeptierten) Prinzip und beziehen auch weitere Kennzahlen wie alters- und geschlechtsspezifische Informationen in die Überlegungen mit ein.

Thesen

- Der Strahlenschutz bei beruflicher Strahlenexposition stützt sich in erster Linie auf die individuelle Dosisbetrachtung. Zusätzlich kann eine Betrachtung der Kollektivdosis sinnvoll sein. Dabei ist die Häufigkeitsverteilung der individuellen Dosiswerte zugrunde zu legen. Weitere Informationen (Alter, Geschlecht, Art der Tätigkeit) müssen, soweit vorhanden, berücksichtigt werden.
- Für die Frage des Strahlenschutzes der Bevölkerung in Situationen, in denen langlebige Radionuklide eine Rolle spielen, ist die Abschätzung und Bewertung der Verteilung der Individualdosen bei Planungen und Genehmigung (z. B. bei der Freigabe) der zielführende Ansatz.
- Die Abschätzung der Verteilung von Individualdosen bzw. der Kollektivdosis liefert nur dann eine Entscheidungsgrundlage für Bewertungen und Optimierungen im Strahlen-

schutz, wenn einerseits die exponierte oder potenziell exponierte Population hinreichend gut charakterisiert und andererseits die Verteilung der Expositionen gut beschrieben werden kann. Liegt eine stark inhomogene Verteilung der Expositionen vor, so ist die Abschätzung der Kollektivdosis aus fachlicher Sicht nicht sinnvoll. Um eine gute Beschreibbarkeit einer potenziell exponierten Population insbesondere im Fall inhomogener Expositionen zu erreichen, kann es hilfreich sein, ein räumliches und/oder zeitliches Abschneiden vorzunehmen. Dabei ist darauf zu achten, dass durch dieses Abschneiden kein Expositionsbereich, der mit relevanten Risikoerhöhungen verbunden ist, aus der Abschätzung und der Bewertung ausgeschlossen wird. Dies ist nur dann gewährleistet, wenn die Abschneidekriterien signifikant unterhalb bestehender Risiko- oder Dosis-schranken liegen. Die Festlegung von Abschneidekriterien erfolgt auf der Basis der praktischen Durchführbarkeit der Abschätzung der Kollektivdosis. Sie stellen keine Festlegung im Sinne eines *de minimis* Risikos dar. Ein solches räumliches und zeitliches Abschneiden ist zu benennen, zu dokumentieren und zu begründen.

Begründung

Im Bereich der beruflichen Strahlenexposition, für den weitgehend in zentralen Registern erfasste Parameter zur Beschreibung exponierter Gruppen und individuelle Dosiswerte verfügbar sind, ist neben der Abschätzung und Bewertung der individuellen Dosiswerte auch deren Verteilung in die Überlegungen des praktischen Strahlenschutzes einzubeziehen. Eine differenzierte Betrachtung verschiedener Parameter, welche die Dosisverteilung beeinflussen, ermöglicht es, spezifische Fragen im Hinblick auf Dosisbegrenzung sowie auf die Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen zu beantworten. Durch eine Fokussierung auf die Abschätzung und Bewertung der Kollektivdosis wird die individuell vorhandene Information zur beruflichen Strahlenexposition in einem Wert zusammengefasst, der im Sinne eines allgemeinen Trends der Entwicklung der Expositionen noch informativ sein kann, da er wichtige Informationen zur Optimierung der Expositionen verloren hat. Aus diesem Grund ist der Betrachtung der Expositionsverteilung und der sie beeinflussenden Expositionsparameter eindeutig der Vorzug vor der Kollektivdosis einzuräumen.

Für Abschätzungen strahlenbedingter Risiken der Allgemeinbevölkerung kann das Konzept der Kollektivdosis nur als grobes Instrument dienen, u. a. für Vergleiche verschiedener Belastungspfade. Auf Grund der häufig großen Unsicherheiten wird von der Verwendung von Punktschätzern abgeraten. Vielmehr sind unter Beachtung der Unsicherheiten Schätzbereiche anzugeben. Dies gilt insbesondere für Expositionen, die in einem Dosisbereich liegen, in dem die direkte epidemiologische Evidenz entweder gering oder gar nicht gegeben ist. Für

eine hinreichend große Bevölkerungsgruppe kann die Altersverteilung als der Verteilung in der jeweiligen Gesamtbevölkerung entsprechend angenommen werden. Die Größe der betroffenen Gruppe kann geschätzt werden. Für eine Bewertung der Expositionen bei Kontaminationen der Umwelt durch langlebige Radionuklide und von Maßnahmen, die zur Verminderung dieser Expositionen vorgesehen sind, müssen Aussagen über lange Zeiträume gemacht werden. Angaben über die Bevölkerungsentwicklung sind aber nur für vergleichsweise kurze Zeiträume (wenige Jahrzehnte) verfügbar. Projektionen über die Größe der zu betrachtenden Bevölkerungsgruppe für lange Zeiträume sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Änderungen in der Altersentwicklung, die nicht zuletzt mit dem medizinischen Fortschritt, den Lebens- und Ernährungsgewohnheiten usw. zusammenhängen, lassen sich nicht oder nur mit großen Unsicherheiten vorhersagen. Innerhalb einer Bevölkerungsgruppe können die Individualdosen sehr inhomogen und über große Bereiche verteilt sein. Unter der Bedingung einer großen Inhomogenität der Dosisverteilung resultiert der überwiegende Anteil einer abgeschätzten Kollektivdosis in der Regel aus einer großen Anzahl von Personen mit sehr geringen Individualdosen. Ein zusätzliches Problem besteht häufig darin, dass die Individualdosiswerte nicht gemessen, sondern nur mit Hilfe von Modellen berechnet werden können. Die unvermeidlichen Modellunsicherheiten erhöhen zusätzlich die Unsicherheiten bei der Abschätzung der Kollektivdosis. All diese Faktoren führen dazu, dass die Anwendung der Kollektivdosis auf Bevölkerungsgruppen in aller Regel mit sehr großen Unsicherheiten behaftet und damit wenig informativ ist, die Kollektivdosis für die Zwecke des Strahlenschutzes nicht oder kaum angewendet werden kann und allenfalls dazu dienen könnte, Expositionstrends abzuschätzen. Um einen Bevölkerungsbezug in Risikoabschätzung und -bewertung sowie in der Maßnahmenabschätzung im Strahlenschutz zu ermöglichen, ist die Betrachtung von Expositionsverteilungen innerhalb relevanter Bevölkerungsgruppen und eine Abschätzung und Bewertung der individuellen Parameter notwendig, die diese Expositionsverteilung wesentlich beeinflussen. Nur eine solche differenzierte Betrachtung ermöglicht es, sensitive Einflussfaktoren zu identifizieren und diese im Hinblick auf die Verminderung der Exposition durch Strahlenschutzmaßnahmen zu überprüfen. Soll die Kollektivdosis als Planungsinstrument eingesetzt werden, so ist sie möglichst realitätsnah abzuschätzen. Hierbei ist die Abgrenzung zu konservativen Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Individualdosen in Genehmigungsverfahren zu beachten.

A.II.6 Verfahren zur Expositionsbestimmung der Bevölkerung

Hintergrund

In Artikel 45 der EU-Grundnormen wird gefordert, dass die Abschätzung von Dosen, welche die Bevölkerung bzw. Referenzgruppen oder -personen aufgrund der radioaktiven Ableitungen aus kerntechnischen Anlagen und nuklearmedizinischen Einrichtungen erhalten, so realistisch wie möglich erfolgen soll. Dies bedeutet, dass sich die Abschätzung an der tatsächlichen Exposition der betrachteten Personen orientiert.

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren müssen in Deutschland zur (prospektiven) Dosisabschätzung hingegen konservative, die tatsächliche Exposition systematisch überschätzende Modelle, Annahmen und Parameter verwendet werden, wie sie in der AVV zu § 47 StrlSchV niedergelegt sind.

Die gleichen konservativen Modelle und Annahmen werden dann aber auch bei der Ermittlung der jährlichen Strahlenexposition der Bevölkerung (retrospektive Dosisabschätzung) infolge der Radionuklidableitungen mit Luft und Wasser eingesetzt, allerdings modifiziert durch eine aufwändige Berücksichtigung der atmosphärischen Ausbreitung auf der Basis standortspezifischer Messwerte und der realen statt der maximal genehmigten Ableitungen seit Betriebsbeginn einer kerntechnischen Anlage.

Zur Berechnung der Vorbelastung durch radioaktive Ableitungen (insbesondere I-131) aus nuklearmedizinischen Einrichtungen wird ebenfalls grundsätzlich die AVV zu § 47 StrlSchV herangezogen, wobei für die Ermittlung der Ableitung radioaktiver Stoffe Erfahrungs- oder realistische Planungswerte zugrunde gelegt werden.

Thesen

- Die bisher in Deutschland übliche Expositionsermittlung anhand konservativer radioökologischer Modelle sollte für Planungszwecke, Genehmigungsverfahren und andere prospektive Abschätzungen beibehalten werden.
- Eine Ausnahme bilden Planungen, bei denen die Auswirkungen anhand risikoorientierter Bewertungsverfahren beurteilt werden. Bei diesen sollten Expositionen, die bei plausiblen zukünftigen Expositionssituationen und Randbedingungen zu erwarten sind, und daraus resultierende Risiken realistisch berechnet werden.

- Eine realistische Dosisermittlung ist wünschenswert für die Expositionsabschätzung durch radioaktive Stoffe, die in der Umwelt schon vorhanden sind, und durch Emissionen infolge genehmigter Tätigkeiten. Dies betrifft gleichermaßen Tätigkeiten wie Arbeiten.
- Angesichts des potenziellen Aufwandes sollte bei der retrospektiven Berechnung auf eine realistische Dosisermittlung verzichtet werden, wenn schon konservative Abschätzungen zeigen, dass nur vernachlässigbare Expositionen auftreten können.

Begründung

Eine konservative Ermittlung von Expositionen mit dem Instrumentarium der AVV zu § 47 StrlSchV oder analog hierzu ist dann erforderlich, wenn es sich um Planungsaspekte handelt. Dies folgt aus der Tatsache, dass jede Verwaltungsentscheidung aus Gründen der Rechtssicherheit sowohl den Adressaten der Emissionserlaubnis als auch den potenziell exponierten Personen gegenüber auf einer abdeckenden, mögliche zukünftige Änderungen einzelner Belastungspfade berücksichtigenden Expositionsprognose basieren muss.

Anders stellt sich die Situation dar im Falle risikoorientierter Bewertungsverfahren, wie sie das BfS für das Endlager-Standortsuchverfahren vorschlägt und im Rahmen der Langzeit-Konsequenzenanalysen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle diskutiert werden, da eine konservative Vorgehensweise mit in der Summe meist unbekannter Überschätzung der Expositionen und daraus resultierender Risiken jede vergleichende risikoorientierte Bewertung unmöglich werden lässt. Hier sind an den tatsächlich zu erwartenden Expositionen orientierte Berechnungsverfahren erforderlich. Plausible zukünftige Expositionssituationen und Randbedingungen werden dabei auf der Grundlage heutiger Verhältnisse und nach dem heutigen Kenntnisstand unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen prognostiziert. Bei der Ermittlung der Modellparameter bietet sich aus praktischen und prinzipiellen Gründen eine medianorientierte Vorgehensweise an. So ist der Median häufig schon auf schmaler Datenbasis zuverlässig schätzbar. Dosiskonversionsfaktoren und Risikoschätzer der ICRP sind z. B. medianorientiert. Häufig sind nur mittlere Risiken bekannt, die zudem unempfindlich gegen extreme Einzelszenarien oder -verhaltensweisen sind.

Eine möglichst realistische Ermittlung von Expositionen gemäß der Vorgaben des Artikel 45 der EU-Grundnormen ist erforderlich zur Bewertung existierender Immissionen, um nicht zu falschen behördlichen Entscheidungen zu gelangen – beispielsweise bei Entscheidungen über die Sanierungsbedürftigkeit radioaktiver Altlasten (bei denen in Deutschland realistische

Modellierungen benutzt werden) oder bei der Ermittlung der Expositionen durch laufende Anlagen.

Nicht sinnvoll ist eine realistische Dosisermittlung in den oben aufgeführten Fällen dann, wenn schon eine einfache konservative Abschätzung zu dem Ergebnis führt, dass lediglich vernachlässigbar geringe Expositionen (beispielsweise geringer als der für Freigabe zugrundegelegte Dosiswert) auftreten können. In solchen Fällen wäre nicht nur der erhebliche finanzielle Aufwand, der zur Ermittlung realistischer Expositionen erforderlich ist, schwer begründbar, sondern es würde auch fälschlicherweise das Signal gesetzt, dass in einem solchen Expositionsbereich eine möglichst genaue Expositionsermittlung erforderlich ist für eine Risikoabschätzung.

III. Spezielle Anwendungsgebiete

A.III.1 Freigabe

Hintergrund

Mit der zunehmenden Stilllegung und dem Rückbau von Kernkraftwerken in den nächsten Jahrzehnten werden Fragestellungen zur Freigabe großer Mengen schwach radioaktiver Stoffe in den Vordergrund rücken. Zu deren Beantwortung sind zahlreiche Rahmenrichtlinien, Leitfäden für Genehmigungen und Ausführungsbestimmungen sowie Modelle zur Ermittlung von Dosen zu erarbeiten. Hierzu ist es notwendig, die zu erwartenden Materialströme zu kennen.

Derzeit werden Fragen der Freigabe international und national diskutiert. Schwerpunkte bilden hierbei die Festlegung numerischer Werte für die Freigabe im Rahmen der Revision der Basic Safety Standards der IAEA und der EU-Grundnormen Strahlenschutz, die sämtlich auf Expositions- radioökologischen Modellsimulationen beruhen.

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Freigabe genehmigt, wenn für Einzelpersonen der Bevölkerung eine effektive Dosis im Bereich von 10 μSv im Kalenderjahr und eine Kollektivdosis von 1 Personen-Sv eingehalten wird. Die Begrenzung der Kollektivdosis kann allerdings überschritten werden, wenn im begründeten Einzelfall Optimierungsüberlegungen dies rechtfertigen.

Thesen

- Bei der Herleitung von Freigabewerten müssen der bisherigen Vorgehensweise folgend für die Begrenzung der Individualdosen konservative, abdeckende Expositionsmodelle herangezogen werden. Den Modellierungen sollten die zukünftig in Deutschland zu erwartenden Bedingungen (Mengen etc.) zugrunde gelegt werden. Falls als zusätzliches Bewertungskriterium die Kollektivdosis herangezogen wird, sollte diese mit realistischen medianbasierten Modellansätzen und Parametern bestimmt werden.
- Es muss ausgeschlossen werden, dass in der Praxis durch Akkumulation von hohen Mengen freigegebener Materialien auf wenigen Deponien höhere Expositionen als angenommen auftreten.

- Der Grenzwert für die effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung sollte nicht "im Bereich" von 10 $\mu\text{Sv/a}$ gewählt werden, sondern auf 10 $\mu\text{Sv/a}$ (Grenzwert) festgelegt werden.
- Eine internationale Harmonisierung ist anzustreben. Dies sollte jedoch nicht damit erkaufte werden, dass die konservative Methodik zur Herleitung oder die klare Trennung zwischen den Dosiswerten für Freigabe (10 $\mu\text{Sv/a}$) und für Expositionen aus Tätigkeiten für Einzelpersonen der Bevölkerung (1 mSv/a) aufgegeben werden.

Begründung

Da die Herleitung von Freigabewerten und Freigrenzen und deren Angabe in der Strahlenschutzverordnung klassische Planungsinstrumente darstellen, die aufwändige Genehmigungsverfahren für jeden Einzelfall ersetzen sollen (und insoweit ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren darstellen), ist von konservativen Expositionsmodellen auszugehen, um eine Einhaltung des Dosiswerts von 10 $\mu\text{Sv/a}$ für die am höchsten exponierten Personengruppe der Bevölkerung zu gewährleisten. Für die Begrenzung der Kollektivdosis als Planungsinstrument hingegen sollte vermieden werden, dass berechnete Werte dieser Größe wesentlich durch die Summation (unbekannter) Konservativitätsfaktoren bedingt sind und damit keine Aussagekraft besitzen. Eine möglichst exakte Berücksichtigung der in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten infolge Stilllegung und Abriss kerntechnischer Anlagen zu prognostizierenden Mengen, Volumina, etc. ist erforderlich, um nicht auf der Basis generischer Modelle abgeleitete Freigabewerte entweder korrigieren oder mit ihrer Beibehaltung eine mögliche Überschreitung des Dosiswerts von 10 $\mu\text{Sv/a}$ in Kauf nehmen zu müssen.

Derzeit sind nur wenige konventionelle Deponien bereit, freigegebene Materialien (beispielsweise Bauschutt) anzunehmen. Dies führt dazu, dass diese Deponien intensiv zur Entsorgung von Stoffen aus der Freigabe genutzt werden. Falls dieser Trend anhält, ist davon auszugehen, dass auf diesen Deponien deutlich höhere Mengen freigegebener Materialien abgelagert werden als in den zur Zeit durchgeführten Modellrechnungen zur Herleitung von Freigabewerten angenommen wird. Um eine solche Entwicklung mit der Konsequenz einer Überschreitung der maximalen (Individual- oder Kollektiv-) Dosiswerte zu verhindern, müssen entweder die Modelle entsprechend angepasst werden – Folge wären durchweg deutlich niedrigere Freigabewerte – oder es müsste z. B. eine zentrale Registrierung der deponierten Mengen und Aktivitätskonzentrationen aus Freigabeentscheidungen erfolgen, um Akkumulationen auf einzelnen Deponien begrenzen zu können.

International werden zunehmend Ansätze vorgestellt, in denen die allgemein anerkannte Geringfügigkeitsschwelle von $10 \mu\text{Sv/a}$ mit dem Bevölkerungsgrenzwert von 1 mSv/a vermischt wird – sei es, dass die $10 \mu\text{Sv/a}$ als Häufungspunkt einer Verteilung, die bis zu 1 mSv/a reicht, angesehen werden, sei es, dass für Modellrechnungen zur Herleitung von Freigabewerten/Freigrenzen von einer zulässigen Dosis von 1 mSv/a ausgegangen wird, falls die zugrundeliegenden Modellszenarien und -parameter als konservativ eingeschätzt werden. Eine Übernahme dieser Ansätze, die auch in Safety Guides der IAEA zu finden sind, würde zum einen dazu führen, dass die restriktiven Werte der StrlSchV angepasst werden müssten. Zum anderen wäre eine Vermischung des Dosiswertes zur Festlegung einer Unerheblichkeitsschwelle und des Grenzwertes für die Bevölkerung die Folge, welche die Risikokommunikation beider Werte erheblich erschweren dürfte.

A.III.2 Begrenzung der Exposition durch Radon in Gebäuden

Hintergrund

In Deutschland beträgt die mittlere Radonkonzentration in Gebäuden etwa 50 Bq/m³ Raumluft, wobei die Werte in einzelnen Gebäuden als Resultat unterschiedlicher geologischer Eigenschaften des Untergrundes, der Bauweise und der Lüftungsgewohnheiten um mehrere Größenordnungen schwanken können. Die Gesamtevidenz bisher durchgeführter Indoor-Studien zum Lungenkrebsrisiko durch Radon zeigt, dass eine lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert die Daten am besten beschreibt. Da selbst geringe Radonkonzentrationen zu einem geringen Anstieg des Lungenkrebsrisikos führen und ein Großteil der Bevölkerung davon betroffen ist, wird ein nicht zu vernachlässigender Teil (geschätzt werden zwischen 5% und 6%) der jährlichen Lungenkrebserkrankungen in Deutschland durch Radon verursacht – lediglich der Einfluss des Rauchens ist hier deutlich höher. Radon in Gebäuden stellt mithin das nach derzeitigem Wissensstand höchste umweltbedingte radiologische Risiko dar.

Nicht zuletzt durch die umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten, die in den letzten zwei Jahrzehnten durch BfS und im Rahmen des UFOPLANs durchgeführt wurden, konnten die wesentlichen geologischen und bautechnischen Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration in Häusern geklärt werden.

Thesen

- Die heutigen detaillierten Kenntnisse über das Gesundheitsrisiko durch Radon und relevante Einflussfaktoren erfordern und ermöglichen eine fachlich besser fundierte rechtliche Regelung als dies bisherig im Rahmen unverbindlicher Richtwerte erfolgt ist.
- Als Konzentration, bei deren Überschreitung Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind, und als Ziel für die Reduzierung erhöhter Konzentrationen sollte ein Wert von 100 Bq/m³ Raumluft (entsprechend einer jährlichen Dosis von ca. 2 mSv) angestrebt werden.
- Gleichberechtigt mit der Reduzierung erhöhter Konzentrationen in davon betroffenen einzelnen Gebäuden sollte eine Reduzierung des Mittelwertes der Radon-Konzentrationen aller Gebäude in Gebieten, in denen mit erhöhten Radonkonzentrationen gerechnet werden muss, angestrebt werden. Dazu sollten in diesen Gebieten nach der Radonkonzentration gestaffelte Maßnahmen zur Reduzierung des Radonübertritts aus dem Baugrund in die Wohnräume vorgeschrieben werden.

Begründung

Auswertungen der in Europa und weltweit durchgeführten epidemiologischen Indoor-Studien zum Lungenkrebsrisiko durch Radon zeigen konsistent, dass eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert mit den Daten am besten vereinbar ist. Die epidemiologischen Studien zeigen einen statistisch signifikanten Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration. Als untere Nachweisgrenze der statistischen Signifikanz wurde eine durchschnittliche Radonkonzentration über 30 Jahre von etwa 100 Bq/m^3 gefunden. Zur Reduzierung erhöhter Radonkonzentrationen ist daher ein Wert von 100 Bq/m^3 (Maßnahme- und Zielwert) anzusetzen.

Es kann gezeigt werden, dass eine Reduzierung des Mittelwertes der Radonkonzentration in allen Gebäuden eine effektivere Reduzierung der zu erwartenden Zahl radonbedingter Lungenkrebskrankungen bewirkt als die alleinige Reduzierung einzelner, deutlich erhöhter Werte. Dies ist im Wesentlichen darin begründet, dass im ersteren Fall eine deutlich höhere Zahl an Wohnungen (und damit Bewohnern mit einem erhöhten individuellen Risiko) erfasst wird. Neben dem klassischen Ansatz der Kappung von Spitzenwerten sollten daher gleichrangig Maßnahmen zur generellen Reduzierung der Radon-Konzentration bei Neubauten und im Wohnungsbestand in Gebieten mit erhöhten Radonkonzentrationen ergriffen werden. Die Zeiträume, die für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen im Wohnungsbestand akzeptiert werden, sollten in Abhängigkeit von der Höhe der Radonkonzentration (und damit des Lungenkrebsrisikos der Bewohner) gestaffelt werden.

Es stehen erprobte bautechnische Verfahren zur Verfügung, die mit angemessenem finanziellem Aufwand die Umsetzung beider Zielsetzungen einer solchen Reduktionsstrategie ermöglichen.

A.III.3 Begrenzung der Exposition durch Radionuklide im Trinkwasser

Hintergrund

Mit Abschluss der Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser im Jahr 2008 liegt erstmals eine für die Bundesrepublik als Ganzes repräsentative Übersicht vor. Aufgrund der Repräsentativität für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik, der erstmaligen Einbeziehung aller dosisrelevanten Radionuklide bei gleichzeitiger teilweiser Verbesserung der Nachweiskontrollen ist mit dieser Studie eine neue Qualität bei der Beurteilung der Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide beim Verzehr von Trinkwasser erreicht worden.

Als ein wesentliches Ergebnis dieser Studie ist festzustellen, dass sie die vorliegenden Erkenntnisse zur natürlichen Radioaktivität in Trinkwässern und der dadurch resultierenden Strahlenexposition¹ im Wesentlichen bestätigt. Die neu bestimmten *mittleren* Werte der Strahlenexposition liegen für den Erwachsenen bei etwa 0,009 mSv pro Jahr, für den Säugling bei etwa 0,05 mSv pro Jahr. Damit wird bestätigt, dass das Trinkwasser in Deutschland nur geringfügig zur gesamten mittleren jährlichen Strahlenexposition aus natürlichen Quellen von 2,1 mSv beiträgt. Bei der Betrachtung der Verteilung wird deutlich, dass bei Erwachsenen in Einzelfällen und insbesondere bei Säuglingen auch höhere Strahlenbelastungen ermittelt wurden, bei denen Dosisrichtwerte überschritten werden.

Strahlenexpositionen durch Trinkwasser unterliegen in Deutschland dem Regelungsbereich der Trinkwasserverordnung. Diese hat in der letzten Novellierung im Jahr 2001 die Vorgaben der EU-Trinkwasserrichtlinie von 1998 weitgehend übernommen, die ihrerseits auf den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation WHO zur Trinkwasserqualität aus dem gleichen Jahr basiert. Inzwischen liegt die Empfehlung der WHO in einer überarbeiteten Fassung aus dem Jahr 2006 vor.

Die EU-Trinkwasserrichtlinie schreibt in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der WHO die gesundheitliche Bewertung von Trinkwässern auf der Grundlage einer Gesamtrichtdosis von 0,1 mSv/a vor. Zur Zeit fehlen allerdings verbindliche Regelungen darüber, welche Altersgruppen, welche Standardverzehrsmengen und welche Radionuklide bei der Dosisermittlung zu berücksichtigen sind.

¹ Zusammengefasst finden sich diese in den Jahresberichten *Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung* des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

In der EU-Trinkwasserrichtlinie wird – in Übereinstimmung mit der WHO-Empfehlung – ausschließlich die Altersgruppe der Erwachsenen betrachtet, für die ein Trinkwasserverzehr von 730 l pro Jahr angenommen wird. Dieser stellt eine Standardverzehrsmenge dar, die den Verzehr der Bevölkerung hoch ansetzt und nur extreme Verzehrsmengen unberücksichtigt lässt.

Die WHO empfiehlt, alle Radionuklide, die zur Ingestionsdosis beitragen, zu berücksichtigen, einschließlich der Radonfolgeprodukte Pb-210 und Po-210. Radon wird von der WHO gesondert betrachtet, da es einerseits zur Ingestionsdosis und zur Inhalationsdosis beiträgt und der Dosisbeitrag andererseits durch relativ einfache Belüftungsmaßnahmen mit überschaubarem Aufwand wesentlich reduziert werden kann.

Nach der EU-Richtlinie sind dagegen Radon und seine (langlebigen) Folgeprodukte Pb-210 und Po-210 bei der Dosisermittlung nicht zu berücksichtigen.

Neben der Ingestion kann Radon im Trinkwasser durch Ausgasung zu einer Strahlenbelastung durch Inhalation führen. Näheres dazu findet sich in Kapitel A.III.2 zu Radon in Aufenthaltsräumen.

Die bislang offenen Fragen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radionuklide im Trinkwasser machen es dringend notwendig, entsprechende Festlegungen zu treffen. Diese müssen einerseits den allgemeinen Zielen der Trinkwasserrichtlinie Rechnung tragen. Hier ist insbesondere zu nennen, dass Wasser für den menschlichen Gebrauch ein Leben lang unbedenklich verwendet werden kann, d.h. dass das Vorsorgeprinzip berücksichtigt werden muss (siehe Kapitel D.II) und dass ein hohes Gesundheitsschutzniveau zu gewährleisten ist. Andererseits ist den etablierten Grundsätzen des Strahlenschutzes Rechnung zu tragen, die verlangen, dass die jeweils empfindlichen Altersgruppen zu berücksichtigen und alle dosisrelevanten Radionuklide zu betrachten sind, die zur Gesamtdosis beitragen.

Thesen

- Da Strahlenexpositionen durch Trinkwasser nur einen Teil der Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung ausmachen, ist es notwendig, dem Trinkwasser einen maximal zulässigen Anteil am allgemein für die Bevölkerung als zulässig erachteten Dosiswert zuzuordnen ("constraint"). Hier ist den Vorgaben der WHO, der EU-Trinkwasserrichtlinie und der deutschen Trinkwasserverordnung zu folgen, die maximal 1/10 des Dosiswerts für die Bevölkerung von 1 mSv/a hierfür vorsehen.

- Die heutigen detaillierten Kenntnisse über Gesundheitsrisiken durch Strahlung erfordern, dass bei der Bewertung der Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser alle Radionuklide, die wesentlich zur Ingestionsdosis beitragen, bei der Ermittlung der Gesamtdosis berücksichtigt werden. Dies umfasst Ra-226, Ra-228, die Uranisotope, Pb-210, Po-210 und Rn-222.
- Ein Schutzkonzept zur Bewertung der gesundheitlichen Risiken von Radionukliden im Trinkwässern sollte neben der von der WHO und der EU-Trinkwasserrichtlinie vorgegebenen Referenzgruppe der Erwachsenen und den für diese Personengruppe und deren Verzehrrate abgeleiteten Konzentrationen der relevanten Radionuklide auch die als besonders strahlenempfindlich bekannten Altersgruppen der Säuglinge und Kleinkinder berücksichtigen.
- Analog zur Mineral- und Tafelwasserverordnung sollte der Richtwert von 0,1 mSv/a für den Säugling beachtet werden.
- Auf diese Weise wird die Grundanforderung der Trinkwasserrichtlinie erfüllt und ein hohes Gesundheitsschutzniveau gewährleistet.
- Längerfristig sollten einheitliche Werte für Verzehrsmengen festgelegt werden, die der Dosisermittlung nach Strahlenschutzverordnung und Trinkwasserverordnung zu Grunde zu legen sind.

Begründung

An Trinkwasser werden besonders hohe Qualitätsanforderungen nach den allgemeinen Regeln der Hygiene gestellt. Die Festlegung von Grenzwerten und Anforderungen erfolgen entsprechend des jeweiligen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnis und technischen Entwicklung. Die Gesamtrichtdosis für das Trinkwasser ist ausweislich der Begründung der aktuellen Novelle der Trinkwasserverordnung so festgelegt, dass nur technisch unvermeidbare Belastungen geduldet werden. Zweck der Trinkwasserverordnung ist es, dem Verbraucher Wasser zur Verfügung zu stellen, das für die unterschiedlichen Zwecke des menschlichen Gebrauchs ohne Bedenken verwendet werden kann. Das Wasser muss zu diesem Zweck „rein“ sein, d.h. frei von unnötigen und unerwünschten Belastungen.

Die WHO empfiehlt, alle Radionuklide, die zur Ingestionsdosis beitragen, zu berücksichtigen einschließlich der Radonfolgeprodukte Pb-210 und Po-210; lediglich Radon wird gesondert betrachtet. Nach der EU-Richtlinie sind dagegen Radon und seine (langlebigen) Folgeprodukte Pb-210 und Po-210 bei der Dosisermittlung nicht zu berücksichtigen. Für eine solche

Vorgehensweise gibt es keinen fachlichen Grund. Das BfS hält es für geboten, bei der Dosisermittlung alle für die Ingestionsdosis relevanten Radionuklide einzubeziehen, also auch Rn-222, Pb-210 und Po-210.

In der aktuellen Empfehlung der ICRP Nr. 103 aus dem Jahr 2007 führt die ICRP zu "existierenden" Situationen und hier zu Szenarien mit lang andauernd erhöhten Strahlenbelastungen aus, dass der Dosisrichtwert kleiner sein sollte als 1 mSv/a und dass ein Wert von nicht mehr als etwa 0,3 mSv/a angemessen wäre. Der Dosisrichtwert von 1 mSv/a oder kleiner bezieht sich auf die Gesamtexposition aus unterschiedlichen Quellen. Neben Trinkwasser ist also auch die Zufuhr natürlicher radioaktiver Substanzen mit anderen Nahrungsmitteln zu berücksichtigen. Für diese ist ein bundesweiter Mittelwert von etwa 0,3 mSv/a bekannt². Aufgrund der komplexen nationalen und internationalen Warenströme sind Ermittlungen regional differenzierter oder für Einzelpersonen charakteristischer Werte praktisch nicht leistbar. Für solche Situationen sieht der Strahlenschutz die Möglichkeit der Festlegung von Richtwerten³ für die Exposition aus einzelnen Quellen vor. Auf diese Weise soll sicher gestellt werden, dass auch im Fall des gemeinsamen Einwirkens verschiedener Strahlenquellen auf dieselbe Person das Schutzziel (hier: 1 mSv/a) eingehalten wird.

Die Differenzen der in den verschiedenen Regelwerken benutzten Verzehrswerten reflektieren unterschiedliche, historisch gewachsene Schutzphilosophien und Konventionen, zum Teil sicher auch unterschiedliche Verzehrsgewohnheiten oder Kenntnisstände. Grundsätzlich ist es erforderlich, einheitliche Verzehrswerte festzulegen, die der Dosisermittlung zugrunde zu legen sind. Für die Ermittlung von Strahlenbelastungen aus natürlichen Quellen werden im Strahlenschutz möglichst realitätsnahe Abschätzungen vorgenommen. Dies ist sinnvoll, da die aus natürlichen Quellen stammende Radioaktivität nicht gezielt eingesetzt wird, sondern ubiquitär vorhanden ist und der mit einer Verringerung der daraus resultierenden Expositionen verbundene Aufwand zur Verminderung tatsächlich auftretender Expositionen geleistet werden sollte, nicht überwiegend für die Verringerung a priori überschätzter Expositionen.

Von Konzentrationen im Trinkwasser mit natürlichen Radionukliden, die zu Überschreitungen des Dosisrichtwertes führen können, sind im wesentlichen geographische Gebiete betroffen, in denen aufgrund höherer Gehalte natürlicher Radionuklide im Gestein und Sediment diese auch erhöht im Rohwasser auftreten. In diesen Fällen ist daher zu prüfen, ob das Rohwasser für den Gebrauch geeignet ist oder ob es notwendig und machbar ist, das Wasser zur Reduzierung der Radionuklidkonzentrationen zu behandeln. Neben den Kosten der Wasserbehandlung ist hier auch die Problematik radioaktiver Abfälle zu diskutieren. Wenn unterschied-

² Davon entfallen mehr als 50 % auf das radioaktive Isotop des metabolisch essentiellen Elements Kalium.

³ als Fachbegriff häufig mit dem englischen Wort "constraint" bezeichnet

liche Quellen zur Verfügung stehen kann alternativ durch Verschneiden die erforderliche Wasserqualität erreicht werden. Zu den weiteren Gesichtspunkten zählen auch zu erwartende Konsequenzen für die Wasserwirtschaft und die Versorgungsstrukturen und -sicherheit.

A.III.4 Medizinische Strahlenexposition

Hintergrund

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen ist in Deutschland (Werte von 2005) mit etwa 1,8 mSv bzw. 0,13 mSv pro Kopf und Jahr im Vergleich zu anderen Health-Care-Level-I-Ländern relativ hoch. Dies ist im Wesentlichen auf die Häufigkeit der Untersuchungen zurückzuführen.

Um den Strahlenschutz der Patienten zu optimieren, wurden im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutz- (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) die Aufgaben und Rechte der Ärztlichen und Zahnärztlichen Stellen (ÄS) erweitert und Diagnostische Referenzwerte (DRW) eingeführt. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Qualität der Untersuchungen zu verbessern und die Dosis pro Untersuchung mittelfristig zu reduzieren. Diese Maßnahmen allein werden allerdings nicht ausreichen, um auf Dauer eine grundlegende Veränderung der aktuellen Situation zu erreichen.

Thesen

- Zukünftige Bemühungen zur Reduktion der Strahlenexposition der Bevölkerung – und spezieller Bevölkerungsgruppen, wie z. B. Kinder – durch strahlendiagnostische Maßnahmen müssen bei der rechtfertigenden Indikation ansetzen. Diese wird zur Zeit aus verschiedenen Gründen nicht so restriktiv gehandhabt, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten wünschenswert ist. So könnte nach Einschätzung des Präsidenten der Deutschen Röntgengesellschaft (Deutsches Ärzteblatt, 1999) etwa auf die Hälfte aller Röntgenuntersuchungen verzichtet werden. Das dürfte allerdings überproportional die von Teilgebietsradiologen erbrachten Leistungen betreffen, die meist mit einer niedrigeren Dosis verknüpft sind. Das Dosisreduktionspotenzial muss daher in der Praxis als deutlich geringer eingeschätzt werden.
- Um einen weiteren Anstieg der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die radiologische und nuklearmedizinische Diagnostik zu vermeiden, sind neue Technologien frühzeitig strahlenhygienisch vom BfS zu bewerten.
- Die flächendeckende Einführung von Früherkennungsmaßnahmen mittels radiologischer Verfahren erfordert eine strahlenhygienische Bewertung auf der Basis von Nutzen-Risiko-Analysen sowie der detaillierten Festlegung von strukturellen Mindestvoraussetzungen an Früherkennungsprogramme im Rahmen der Zulassung gemäß § 25 Abs.1 RöV.

Begründung

Neben den bereits umgesetzten Maßnahmen zur Qualitätssicherung und dem Qualitätsmanagement ist eine Verringerung der Anzahl an Untersuchungen die wirksamste Möglichkeit, die Strahlenexposition von Patienten zu reduzieren. Während der Schwerpunkt der strahlenhygienischen Maßnahmen bislang überwiegend den physikalisch-technischen Bereich und die Durchführung der Untersuchungen betraf, ist zukünftig die Indikationsstellung stärker zu beachten. Da sich die rechtfertigende Indikation aus einer Abwägung von Nutzen und Risiko ergibt, ist die Kenntnis des Strahlenrisikos von entscheidender Bedeutung. Leider ist vielen Radiologen/Teilgebietsradiologen und den meisten überweisenden Ärzten die der Risikoabschätzung zugrunde liegende Strahlenexposition einzelner Untersuchungsarten nicht ausreichend bekannt. Die Aufstellung eines Indikationskatalogs einschließlich der zu erwartenden Patientendosen, wie sie die Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom fordert, könnte hier eine Verbesserung erbringen. Primäres Ziel dieses Ansatzes ist es, Ärzten in Krankenhäusern und im niedergelassenen Bereich zu helfen, die für die jeweilige Situation bestgeeigneten bildgebenden Verfahren auszuwählen. Ein weiterer praktikabler Lösungsansatz auf nationaler Ebene besteht darin, Empfehlungen für radiologische Leistungen in sogenannte Disease-Management-Programme – unter Berücksichtigung bereits bestehender medizinischer Leitlinien von Seiten der Selbstverwaltungskörperschaften des Gesundheitswesens und einschlägiger wissenschaftlich medizinischer Fachgesellschaften – einzubinden.

Die Einführung innovativer radiologischer und nuklearmedizinischer Techniken in die medizinische Routine wird auch in Zukunft neue diagnostische und therapeutische Optionen eröffnen. Diese Entwicklung macht es erforderlich, die Regelungen zum Erwerb und zur Aktualisierung der Fachkunde im Strahlenschutz in dem jeweiligen Bereich kontinuierlich anzupassen (aktuelles Beispiel: Teleradiologie). Darüber hinaus ist die Strahlenexposition der Patienten und des Personals beim Einsatz neuer Techniken zu bewerten. So ist insbesondere zu vermeiden, dass es durch einen unreflektierten Einsatz neuer Techniken sowie der Verwendung nicht optimierter Protokolle zu einem nicht gerechtfertigten Anstieg der Strahlenexposition der Bevölkerung kommt. Aus diesem Grund ist es entscheidend, bereits während der frühen Evaluation neuer diagnostischer Technologien begleitende strahlenhygienische Studien durchzuführen, um die Untersuchungspraxis und die daraus resultierende Strahlenexposition der Patienten zu erfassen. Basierend auf den erhobenen Daten können dann dosisoptimierte Untersuchungsprotokolle erarbeitet und realisiert werden.

Gegenwärtige Gesundheitsstrategien zielen immer stärker auf Früherkennungsmaßnahmen ab. Hierbei kommt den bildgebenden Verfahren der radiologischen Diagnostik eine besondere Bedeutung zu. Während sich das Interesse bislang auf konventionelle Röntgenaufnahmen konzentrierte, wie z. B. die Röntgen-Mammographie, zeichnet sich in einigen Health-Care-Level-I-Ländern der Trend ab, auch dosisintensivere Verfahren, wie z. B. die Röntgen-Computertomographie (CT), verstärkt einzusetzen. Hintergrund ist, dass moderne CT-Systeme eine räumlich hochaufgelöste Darstellung großer Untersuchungsregionen innerhalb weniger Sekunden erlauben. So kann z. B. der gesamte Abdomen- oder Thoraxbereich in Atem-Anhaltetechnik ohne Bewegungsartefakte erfasst werden. Diese neue Technik kann für Vorsorgeuntersuchungen eingesetzt werden, z. B. im Dickdarmbereich (virtuelle Koloskopie zur Früherkennung von Dickdarntumoren) bzw. im Herzbereich (Calcium-Scoring, Früherkennung arteriosklerotischer Plaques). Diese Entwicklung erfordert die ressortübergreifende Erarbeitung von Konzepten für die Zulassung von radiologischen Untersuchungstechniken als Verfahren zur Früherkennung gemäß § 25 Abs.1 RöV auf der Basis fundierter Nutzen-Risiko-Analysen. In diesem Zusammenhang sind insbesondere auch alternative bildgebende Verfahren ohne Anwendung ionisierender Strahlung zu berücksichtigen.

B. Nichtionisierende Strahlung

Unter nichtionisierender Strahlung (NIR) versteht man den Bereich des elektromagnetischen Spektrums, in dem die entsprechende Teilchenenergie kleiner als 12,4 eV ist. Diese Grenze entspricht einer Wellenlänge von 100 nm. Sie liegt im Bereich der ultravioletten Strahlung. Man unterteilt den NIR-Bereich in statische Felder und – in Abhängigkeit von der Frequenz – in niederfrequente elektrische und magnetische (bis 100 kHz) bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) sowie in optische Strahlung, zu der die ultraviolette Strahlung (UV) gehört. Definitionsgemäß wird auch der Ultraschall zur nichtionisierenden Strahlung gerechnet. Technische Anwendungen, die nichtionisierende Strahlung nutzen oder bei denen diese Strahlung als Begleitprodukt entsteht, haben unser tägliches Leben, sowohl im Privatbereich als auch am Arbeitsplatz oder in der Medizin vollständig durchdrungen. So sind alle Anwendungsbereiche elektrischer Energie mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern verbunden. Alle drahtlosen Informationsübertragungs- und Kommunikationsverfahren nutzen hochfrequente elektromagnetische Felder oder optische Strahlung. Die optische Strahlung wird darüber hinaus zu Beleuchtungszwecken oder zur Materialbearbeitung eingesetzt. Ultraviolette Strahlung spielt eine bedeutende Rolle in der Medizin, Industrie und wird zudem oft für kosmetische Zwecke, z. B. zur Hautbräunung, eingesetzt.

Bisher sind als Folge einer Exposition mit nichtionisierender Strahlung nur akute gesundheitliche Wirkungen nachgewiesen, die erst oberhalb bestimmter Schwellen auftreten. Eine Ausnahme bildet hierbei der Bereich der ultravioletten Strahlung mit seiner hautkrebsauslösenden Wirkung, wobei aber auch hier Strahlenschutzüberlegungen meist auf akuten Wirkungen beruhen. Ausgehend von diesen Wirkungsschwellen werden unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Kontinuierlich durchgeführte Bewertungen des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes zeigen zum einen, dass bis dato keine Gesundheitsschäden bei Einhaltung der Grenzwerte nachgewiesen sind. Zum anderen existieren aber einzelne Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen mit unklarer gesundheitlicher Relevanz bei Intensitäten von nieder- und hochfrequenten Feldern unterhalb der gültigen Grenzwerte. Nationale wie internationale Organisationen, wie z. B. die SSK, ICNIRP und WHO, empfehlen deshalb, weiterhin Forschung zu betreiben, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz besser abschätzen zu können.

Auch mögliche gesundheitliche Risiken durch Ultraschallanwendungen liegen im NIR-Aufgabenbereich. Bei den neuen, leistungsstarken Verfahren sind gesundheitsrelevante Temperaturerhöhungen und mechanische, v. a. kavitative Effekte im Gewebe nicht auszuschließen. Hinsichtlich der Schwellenwerte für mechanische Effekte und der abgeleiteten Indices (mechanischer und thermischer Index) besteht Forschungsbedarf. Ähnliche Kenntnislücken bestehen auch im Infraschallbereich.

Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung sind Strahlenschutzgrundsätze bisher nicht in gleichem Maße entwickelt worden wie im Bereich ionisierender Strahlung. Es galt bisher primär sicherzustellen, bekannte gesundheitsrelevante Schwellenwerte zu unterschreiten. Die hiermit vorgelegten Grundsätze dienen der in die Zukunft gerichteten Diskussion über die Weiterentwicklung allgemeiner Strahlenschutzgrundsätze (Grenzwerte, Rechtfertigung, Optimierung, Vorsorge etc.) auch im Bereich der nichtionisierenden Strahlung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand die nachgewiesenen gesundheitlichen Wirkungen von niederfrequenten und hochfrequenten Feldern mit der akuten Exposition oberhalb bestimmter Intensitätsschwellen verknüpft sind. Ein für Dosisbetrachtungen erforderlicher Zusammenhang mit der Expositionsdauer ist nur im Bereich der optischen Strahlung bekannt. Ein Dosisbegriff existiert aber auch hier nur ansatzweise. Vor diesem Hintergrund erhalten Vorsorge- und Minimierungsaspekte, die bisher national wie international recht kontrovers diskutiert werden, möglicherweise einen anderen Inhalt und eine andere Bedeutung als im Bereich der ionisierenden Strahlung.

B.1 Rechtfertigung

Hintergrund

Obwohl Dosis-Wirkungsbeziehungen bislang nicht bekannt sind, beruht die Diskussion über die Berücksichtigung der Prinzipien Rechtfertigung und Vorsorge im Bereich der nichtionisierenden Strahlung auf der plausiblen Annahme, dass eine Reduzierung der Exposition auch zu einer Reduzierung eines möglicherweise bestehenden Risikos führt. Bekannt sind bislang nur akute Wirkungen, die erst oberhalb einer bestimmten Schwellenexposition nachweisbar sind. Für diese Wirkungen sind auch die entsprechenden Wirkungsmechanismen bekannt. Eine Ausnahme stellt die ultraviolette Strahlung dar; hier sind auch stochastische Wirkungen bekannt. Es besteht wissenschaftlich kein Zweifel, dass ultraviolette Strahlung eine der Hauptursachen für Hautkrebserkrankungen ist. Das wesentliche Problem stellt die unkontrollierte Exposition durch die Sonne dar. Allerdings sind bisher weder die genauen Schadensmechanismen bekannt noch Verfahren zur Dosisabschätzung in der Bevölkerung verfügbar.

Es ist im Bereich der UV-Strahlung bisher nicht gelungen, Risikokoeffizienten zu quantifizieren. Akute Wirkungen stellen die Basis der Begrenzung von Expositionen dar. Darüber hinaus ist nur eine qualitative Abschätzung der gesundheitlichen Risiken möglich.

Strahlenschutzempfehlungen bei NIR beruhen im Wesentlichen auf der Begrenzung der Exposition auf Werte, die deutlich unterhalb von Wirkungsschwellen liegen. Auch im UV-Bereich werden die bekannten Schwellen für akute Wirkungen zugrundegelegt. Der Begriff der Rechtfertigung ist im NIR-Bereich bislang noch nicht diskutiert worden.

Anders als im Bereich der ionisierenden Strahlung ist die anthropogen bedingte nichtionisierende Strahlung eine Folge der zunehmenden Technisierung aller Lebensbereiche. Die Mehrzahl neuer Entwicklungen beruht auf internationalen Normen und auch die Verbreitung von Produkten unterliegt internationalem Recht.

Bei der Betrachtung der technischen Anwendungen nichtionisierender Strahlung spielt neben der wissenschaftlichen Risikobewertung die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz neuer Technologien eine wichtige Rolle. Neben den hochfrequenten Feldern der Informations- und Kommunikationstechnologien stehen auch die niederfrequenten Felder der Stromversorgung im Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit und haben in der Vergangenheit zu einem umfassenden, intensiven gesellschaftlichen Diskussionsprozess geführt. Ein Grund für diesen Prozess liegt zum Teil in der subjektiv als unkontrollierbar wahrgenommenen Durchdringung des täglichen Lebens mit neuen Technologien und deren Anwendungen. Zentrale Diskussionspunkte beziehen sich auf die Wahrnehmung gesundheitlicher Risiken elektromagnetischer Felder durch die Gesellschaft. Eine umfassende Risikobewertung, welche die Meinungen und Interessen der verschiedenen Stakeholder berücksichtigt, muss neben der rein wissenschaftlichen Risikoabschätzung auch die Risikowahrnehmung in der Gesellschaft berücksichtigen. Dabei muss einerseits die Risikowahrnehmung erfasst und ernst genommen werden und andererseits die wissenschaftliche Risikoabschätzung so gut wie möglich gegenüber der Öffentlichkeit kommuniziert werden.

Thesen

- Bei der Rechtfertigung von Expositionen muss zwischen der wissenschaftlichen Risikoabschätzung und gesellschaftlichen Fragen unterschieden werden.
- Der Beitrag des Strahlenschutzes ist auf die Risikoabschätzung und deren Kommunikation begrenzt.

- Die Frage der Rechtfertigung sollte vor allem im Verlauf der Entwicklung neuer Technologien gestellt werden (vgl. B.II).

Begründung

Die in diesem Zusammenhang erforderliche Frage der Risikoabschätzung beruht derzeit überwiegend auf dem Kenntnisstand akuter Wirkungen und Expositions-Wirkungsbeziehungen mit Schwellencharakter. Das heißt, dass unterhalb bestimmter Schwellen Risiken wissenschaftlich nicht nachgewiesen sind. Allerdings ist die gesundheitliche Relevanz bestehender wissenschaftlicher Hinweise über biologische Wirkungen unterhalb der genannten Schwellenwerte für akute Wirkungen nicht endgültig geklärt. In weiten Teilen des nichtionisierenden Spektrums kann deshalb derzeit keine belastbare quantitative Risikoabschätzung erfolgen. Selbst eine qualitative Abschätzung ist in Ermangelung möglicher Wirkungsmodelle schwierig. Ob und welche Rolle der Strahlenschutz bei der Frage der Rechtfertigung leisten kann, ist gesellschaftlich zu entscheiden.

B.II Neue Technologien

Hintergrund

Die letzten Jahrzehnte waren geprägt durch eine rasante Technisierung aller Bereiche des Alltags. Es ist vorhersehbar, dass sich diese Entwicklung in Zukunft fortsetzen wird. Eine Vielzahl der neuen technischen Anwendungen erzeugt nichtionisierende Strahlung, einige sogar im grenzwertrelevanten Bereich (Beispiele siehe auch B.III). Hier sind vor allem die modernen drahtlosen Kommunikationstechniken, aber auch die Entwicklung neuer, leistungsstarker Lichtquellen zu nennen.

Eine Strahlenschutzbewertung neuer Technologien ist bisher in der Regel erst nach Markteinführung der Technologie möglich, da die hierfür erforderlichen Daten dem Strahlenschutz in vielen Fällen vorher nicht verfügbar gemacht werden. Änderungen technischer Details, die zu einem verbesserten Strahlenschutz führen könnten, sind unter diesen Umständen dann meist nicht mehr realisierbar. Ein Beispiel aus der Vergangenheit sind die Schnurlostelefone nach dem DECT-Standard. Die permanente Emission hochfrequenter Felder durch den Kontrollkanal ist für Anwendungen im Hausgebrauch nicht erforderlich. Ein aktuelles Beispiel sind auch Infrarot-Wärmekabinen, die als Ersatz für herkömmliche Saunen ohne Beteiligung des Strahlenschutzes und weitgehend ohne Sachkenntnisse über mögliche gesundheitliche Auswirkungen entwickelt wurden. Sie werden derzeit in großem Stil vermarktet.

Prinzipiell lassen sich die offenen Fragen neuer Technologien in zwei Kategorien einteilen:

1. Frequenzbereiche, bei denen Wirkmechanismen mit Schwellencharakter bekannt sind. Hier besteht die z. T. berechtigte Sorge, dass durch die Summe der stetig steigenden Anzahl der Quellen die Grenzwerte zunehmend ausgeschöpft werden. Es ist nicht auszuschließen, dass es durch Überlagerung lokal zu aus Sicht des Strahlenschutzes bedenklichen Expositionen kommt.
2. Neu erschlossene Nischen des elektromagnetischen Spektrums wie z. B. Tera-Hertz (THz)-Strahlung. Bisher gab es auf dem Markt nur wenige und kostspielige THz-Quellen. Es könnte sich aber künftig eine Vielzahl von praktischen Anwendungen, von der medizinischen Diagnostik bis hin zu Kommunikationssystemen, ergeben. Mögliche Wirkungen werden bisher aus den Erkenntnissen für den angrenzenden Mikrowellen- und Infrarotbereichen extrapoliert, lassen sich jedoch nicht in jedem Fall widerspruchsfrei erklären. Bisher mangelt es sowohl an Forschungsvorhaben zur Wirkungsforschung, als auch an Mess- und Rechenverfahren für die Expositionsbestimmung.

Thesen

- Nur durch eine frühzeitige Beteiligung der für den Strahlenschutz zuständigen Stellen an der Entwicklung neuer Technologien können die Vorgaben eines vorsorgenden Strahlenschutzes (s. auch D.II) an feldemittierende Quellen umgesetzt werden. Es ist eine Expositionsminimierung durch technische Optimierung aller Feldquellen erforderlich. Eine entsprechende Ressortabstimmung insbesondere mit dem BMBF ist anzustreben.
- Grundlagenforschung zum Strahlenschutz muss **vor** der Markteinführung neuer Geräte dort erfolgen, wo Kenntnislücken bestehen (z. B. THz-Bereich) oder wo diese wissenschaftlich begründet zu vermuten sind.

Begründung

Mögliche gesundheitliche Risiken bei Anwendung neuer Technologien können nur dann frühzeitig erkannt werden, wenn der Strahlenschutz schon in der Entwicklungsphase beteiligt wird. Dies sollte im Interesse aller Beteiligten sein. In Zukunft wird die Glaubwürdigkeit des Strahlenschutzes auch davon abhängen, inwieweit er in der Lage ist, proaktiv auf neue technische Entwicklungen einzuwirken.

B.III Grenzwertsetzung

Hintergrund

In Deutschland fehlt derzeit eine allgemeine Rechtsgrundlage für den Strahlenschutz der Bevölkerung vor nichtionisierender Strahlung. In einzelnen Frequenzbereichen bestehende Regelungen, wie z. B. das Bundesimmissionsschutzgesetz, können diese Lücke nicht schließen. Sie regeln nur einzelne Quellen, wie z. B. Funksendeanlagen mit einer Sendeleistung über 10 W EIRP oder Niederspannungsanlagen bei 16 2/3 Hz und 50 Hz, die mit Spannungen größer 1000 V betrieben werden. Die im Rahmen von europäischen Normen vorliegenden Kriterien zur Produktsicherheit werden den Anforderungen, die an Strahlenschutzregelungen zu stellen sind, nicht immer gerecht. So können z. B. nach diesen Normen einzelne Geräte in ihrer Umgebung Immissionen hervorrufen, welche die Grenzwertempfehlungen voll ausschöpfen.

Der Bereich der optischen Strahlung ist vom aktuellen Strahlenschutzrecht überhaupt nicht erfasst. Hier bestehen ausschließlich technische Normen.

Mit Ausnahme des Telekommunikationsbereiches über die BEMFV und die 26. BImSchV und von bestimmten Niederfrequenzanlagen über die 26. BImSchV bestehen keine spezifischen gesetzlichen Regelungen zum Schutz der allgemeinen Bevölkerung gegenüber einer Exposition durch nichtionisierende Strahlung. Die bestehenden Normen alleine können eine unkontrollierte Exposition der Bevölkerung durch NIR-Quellen nicht ausreichend verhindern. Beispiele dafür sind Solarien, Infrarot-Saunen, Diebstahlsicherungsanlagen sowie die nicht-medizinische Anwendung von Ultraschall am menschlichen Körper.

Die bestehenden Empfehlungen des Europäischen Rates zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern können im Einzelfall zur Bewertung herangezogen werden, haben aber keine rechtliche Verbindlichkeit und decken den Bereich der optischen Strahlung nicht ab.

International ist die Situation ähnlich. Es ist kein Land bekannt, das eine umfassende rechtliche Strahlenschutzregelung für nichtionisierende Strahlung hat. In vielen europäischen Ländern bestehen, ähnlich wie in Deutschland, Vorschriften für einzelne Frequenzbereiche. Hier sind vor allem Funkanlagen und Stromversorgungsanlagen zu nennen. In einzelnen Ländern gibt es darüber hinaus gesetzliche Regelungen für bestimmte optische Quellen, wie z. B. Solarien.

Ein weltweiter Vergleich der WHO zeigt, dass viele Länder sich bei ihren meist untergesetzlichen Regelungen (z. B. Normen) an den Empfehlungen der ICNIRP orientieren. Daneben existieren in einigen Ländern des ehemaligen Ostblocks, z. B. in Russland, erheblich niedrigere „Grenzwerte“, deren Rechtsverbindlichkeit aber unklar ist. Sie wurden außerdem in den letzten Jahren mit der Einführung neuer Technologien deutlich angehoben. In den USA orientieren sich die z. B. für Funkanwendungen bestehenden behördlichen Vorschriften an den Empfehlungen von IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), einer amerikanischen Normungsorganisation. Diese Werte sind bezüglich des SAR-Wertes für Handys um etwa den Faktor 2 konservativer als die europäischen Empfehlungen. Die WHO ist derzeit bemüht, eine Harmonisierung aller internationalen Empfehlungen zum Strahlenschutz zu erreichen.

Der Bereich des Arbeitsschutzes ist vergleichsweise gut geregelt. National bestehen zahlreiche Unfallverhütungsvorschriften und berufsgenossenschaftliche Vorschriften. Im europäischen Rahmen werden derzeit Arbeitsschutzrichtlinien für den gesamten Bereich der nicht-ionisierenden Strahlung erarbeitet.

Thesen

- Der Schutz der Bevölkerung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung kann nur durch rechtsverbindliche Regelungen sichergestellt werden.
- Die Basisregelungen sollten durch Festlegung von Grenzwerten erfolgen und international harmonisiert werden.

Begründung

Die auf Freiwilligkeit beruhenden Empfehlungen finden keine ausreichende Beachtung und werden durch europäische Normen z. T. unzureichend umgesetzt. Ein effektiver Schutz der Bevölkerung ist deshalb nur durch rechtsverbindliche Regelungen zu gewährleisten.

Die Glaubwürdigkeit von Grenzwerten kann nur vermittelt werden, wenn sie international vergleichbar sind. Erhebliche Unterschiede führen automatisch zu einem Vertrauensverlust auch in Bezug auf die zuständigen Institutionen.

C. Schutz von Natur und Umwelt

Entwicklung von Schutzkonzepten für Flora, Fauna und Umweltmedien

Hintergrund

Vor dem Hintergrund der internationalen Entwicklungen zum langfristigen Schutz der Biosphäre, ausgehend von der Deklaration von Rio 1992 mit ihren Konzepten der Nachhaltigkeit und Erhaltung der Biodiversität, ist in den letzten Jahren verstärkt die Notwendigkeit postuliert worden, dass Strahlenschutzkonzepte neben dem Schutz des Menschen gleichwertig den Schutz der Umwelt nachweisen müssen. Dies hat in Deutschland mittlerweile beispielsweise Eingang in die Anforderungen, die an Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) gestellt werden, gefunden.

Derzeit werden im Rahmen internationaler Forschungsprojekte entsprechende Schutzziele entwickelt und geeignete Konzepte zur Sicherstellung solcher Schutzziele erarbeitet. Die Diskussionen zur Einbindung des Schutzes der Umwelt in die Strahlenschutz-Regularien haben in der IAEA und der ICRP begonnen, sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung besteht durch die Sonne eine natürliche Quelle für ultraviolette Strahlung, die zu einer Exposition der Umwelt in erheblichem Ausmaß führt. Die möglichen Schädigungen der belebten Umwelt, vor allem auch im Zusammenhang mit den anthropogen verursachten Veränderungen in der Atmosphäre sind lange bekannt. Der Schutz der Umwelt in diesem Zusammenhang kann aber vom Strahlenschutz allein nicht geleistet werden. Hier stehen Fragen der Reinhaltung der Atmosphäre im Vordergrund.

In zunehmendem Maße verursachen aber auch großtechnische Anlagen Immissionen im Bereich der belebten Umwelt, die dort zu negativen Auswirkungen führen könnten. Beispiele sind leistungsstarke HF-Sender zur Untersuchung der Atmosphäre oder Offshore-Windkraftanlagen und die dazugehörigen Seekabel.

Die Frage der Auswirkungen elektromagnetischer Emissionen auf die belebte Umwelt sind bislang nicht nur national, sondern auch international stark vernachlässigt worden. Der Versuch einer systematischen Erfassung des bisherigen Kenntnisstandes wurde bisher nur in einem vom BfS in Zusammenarbeit mit der WHO und ICNIRP durchgeführten internationalen Seminar im Oktober 1999 unternommen. Die wissenschaftlichen Grundlagen zu einer be-

lastbaren Bewertung der möglichen Schädigung von Flora und Fauna sind allerdings bislang nicht systematisch erarbeitet.

Thesen

- Die internationalen Aktivitäten zur Formulierung geeigneter Schutzziele und Erarbeitung wissenschaftlicher Konzepte zu deren Einhaltung sollten von Deutschland wesentlich mitgestaltet werden.
- Es ist auf eine Harmonisierung der Schutzziele und Nachweiskonzepte mit denen für andere Noxen zu achten.
- Schutzziele und Verfahren sollten auf der Basis einer breiten gesellschaftlichen Diskussion festgelegt werden.
- Um für vergleichsweise geringe Emissionen nicht zu übermäßig aufwendigen Verfahren zu gelangen, sollte sich die Verfahrenstiefe an den zu erwartenden Emissionen und Immissionen orientieren – ein Ansatz, der von deutscher Seite verstärkt in die internationalen Diskussionen eingebracht werden sollte. Gleichmaßen sollten international propagierte Ansätze nur dann übernommen werden, wenn sie diesem Verhältnismäßigkeitskriterium genügen.
- Dem Schutz der Umwelt vor nichtionisierender Strahlung ist zukünftig verstärkt Aufmerksamkeit zu widmen. Durch gezielte Forschung ist zu klären, unter welchen Bedingungen eine Schädigung der Umwelt durch nichtionisierende Strahlung möglich ist und welche Schutzmaßnahmen wirksam sind. Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen sollten auch die möglichen Folgen der Immission elektromagnetischer Felder geprüft werden.
- UV-bedingte Schädigungen von Flora und Fauna sind zum Teil bekannt. Durch anthropogen bedingte Veränderungen der Atmosphäre gewinnt dieser Aspekt zunehmend an Bedeutung.

Begründung

Auch wenn Vieles dafür spricht, dass die in Deutschland existierenden Emissions- und Immissionsregelungen der Strahlenschutzverordnung auf den Schutz des Menschen fokussiert sind auch den Schutz der Umwelt gewährleisten, sind eigene Regelungen erforderlich, um die Einhaltung dieses Schutzziels nachweisen und dokumentieren zu können.

Eine Harmonisierung von Schutzziele und Konzepten mit den existierenden Vorgehensweisen für andere Noxen, die beispielsweise im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfungen in Deutschland berücksichtigt werden, ist erforderlich, um zu vergleichbaren Ansätzen der Umweltbewertung unterschiedlicher potenziell toxischer Substanzklassen zu kommen. Dafür sind in der Ökotoxikologie seit langem schon wissenschaftliche Prüfverfahren entwickelt worden. Diese sollten detailliert für ihre Eignung zum Nachweis des Schutzes der Umwelt vor radioaktiven Substanzen analysiert und bewertet werden – zum einen, um unterschiedliche Vorgehensweisen, die nicht in spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Substanzen begründet sind oder möglicherweise gar differierende Schutzziele für verschiedene Klassen potenziell umwelttoxischer Substanzen ausschließen zu können, zum anderen, um von den langjährigen Erfahrungen der Ökotoxikologie zu profitieren. Hierzu kann auf die umfangreichen Erfahrungen des Umweltbundesamtes und des Bundesamtes für Naturschutz zurückgegriffen werden.

Eine breite gesellschaftliche Diskussion über die in Deutschland anzustrebenden Schutzziele und Verfahren zu ihrer Umsetzung ist anzustreben, da sich in den letzten Jahren in den internationalen Strahlenschutzgremien zunehmend ein Konsens entwickelt hat, bei neuen Empfehlungen mehr als bisher üblich gesellschaftliche Debatten zu berücksichtigen (“stakeholder involvement“).

D. Über den reinen Strahlenschutz hinausgehende Fragestellungen

D.1 Risikobasierte Bewertungsverfahren

Hintergrund

Die Abschätzung von Strahlenwirkungen und Strahlenrisiken und die daraus abgeleiteten Strahlenschutzregelungen basieren auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen über Strahlenwirkungen, die Bewertung der Strahlenrisiken darüber hinaus aber auch auf Überlegungen zu deren gesellschaftlicher Akzeptanz. Diskussionen dazu wurden in internationalen und nationalen, überwiegend mit Naturwissenschaftlern besetzten Gremien wie ICRP, UNSCEAR, Euratom Artikel 31 Gruppe und SSK geführt und flossen in deren Empfehlungen zum Strahlenschutz ein. Diese Empfehlungen, insbesondere die der ICRP, wurden in der Vergangenheit nahezu unverändert in verbindliche internationale und nationale Strahlenschutzregelungen umgesetzt. Vergleichbare Entwicklungen lassen sich für die nichtionisierende Strahlung, aber auch für andere physikalische, chemische und biologische Noxen aufzeigen.

Charakteristisch für diese Vorgehensweisen ist (1) eine auf naturwissenschaftlichen Kenntnissen aufbauende Abschätzung von Expositionen und Wirkungen sowie deren Abhängigkeiten, (2) eine Diskussion zur Akzeptanz von Risiken in Wissenschaftsgremien und darauf aufbauend (3) die Entwicklung von Regulationsgrundsätzen und -verfahren, die spezialisiert nur auf die jeweils betrachtete Noxe anwendbar sind. Die Regulationspraxis zeigt jedoch zunehmend, dass weniger der Schutz vor Einzelnoxen als vielmehr der Schutz der menschlichen Gesundheit vor Belastungen einer Vielzahl von Einzelnoxen aus unterschiedlichen Umweltmedien, d. h. Wasser, Boden, Luft und im weiteren Sinne auch Lebensmittel im Fokus der Betrachtungen steht. Defizite der Vorgehensweise, wie sie sich im Laufe der Zeit in der Abschätz-, Bewertungs- und Regulationspraxis für Einzelnoxen herausgebildet haben, sind (a) die Nichtvergleichbarkeit der den Regulationen von Einzelnoxen innewohnenden Risikobeiträge für die menschliche Gesundheit, (b) die starke Abhängigkeit der in den Regulationen gesetzten Standards vom derzeitigen Wissen zur Wirkung der Noxen und damit die Notwendigkeit der regelmäßigen Anpassung an sich veränderndes Wissen, (c) das Fehlen einheitlicher Vorgehensweisen bei der Bewertung von Gesundheits- und Umweltrisiken durch verschiedene Noxen in einem Umweltmedium und (d) die weitgehend fehlenden Möglichkeiten der gesellschaftlichen Teilnahme an den Diskussionen zur Akzeptabilität von Risiken und daraus folgend bei der Entwicklung von Regulationsgrundsätzen und -verfahren.

Aus der Charakterisierung der Verfahren und dem Aufzeigen von Defiziten ergibt sich die Notwendigkeit, (1) einen Bewertungsbezug zu entwickeln, der eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Gesundheitsrisiken durch Umweltnoxen ermöglicht, eine Bewertung komplexer Expositionssituationen erlaubt und eine möglichst hohe Beständigkeit aufweist, (2) den Naturwissenschaften im Verfahren der Risikobewertung die Aufgabe der bestmöglichen Expositions- und Wirkungsabschätzung sowie der Modellierung der Expositions-Wirkungs-Beziehung zu übertragen und (3) die Bewertung der Risiken, aber auch die Festlegung von Schutzgütern und Schutzziele dem gesellschaftlichen und politischen Dialog zu öffnen.

Die heute regulationsrelevanten Expositionen in Um- und Arbeitswelt sind in der Regel charakterisiert durch Expositionen gegenüber bekannten Einzelnoxen auf relativ niedrigem Niveau. Relevant ist in Folge dessen zunehmend weniger die Regulation der Einzelnoxen, als vielmehr die Belastung durch die Gesamtheit aller Schadstoffe einschließlich radioaktiver Stoffe aus Wasser, Boden und Luft. Andererseits sind wir heute konfrontiert mit einer breiten Einführung neuer Belastungen, ohne dass eine hinreichende Abschätzung und Bewertung der Risiken vor der Einführung möglich ist (z. B. neue Technologien im NIR Bereich). Durch die Veränderung der Abschätz- und Bewertungsfragen von Einzelnoxen mit bekanntem Wirkspektrum zu komplexen Expositionen mit häufig jeweils kleinen Expositionsbeiträgen einzelner Stoffe bzw. der Einführung von Expositionen mit neu zu bewertenden adversen Wirkungen wird die Entwicklung und Einführung eines konsistenten Bewertungsbezugs zunehmend notwendiger.

Thesen

- Der wissenschaftliche Prozess der Abschätzung von Strahlenrisiken bedarf eines eindeutigen und nachvollziehbaren Verfahrens mit einem hohen Maß an Transparenz und einer Umweltmedien (u.a. Wasser, Boden, Luft) sowie Regulationskontexte (u.a. beruflich strahlenexponierte Personen, Bevölkerung, Trinkwasser, Lebensmittel) übergreifenden Konsistenz auch in Bezug auf andere Umweltnoxen. Eine pluralistische Beteiligung der Fachöffentlichkeit ist bei komplexen oder wissenschaftlich strittigen Themen notwendig und im Verfahren zu verankern. Bei gesellschaftlich kontroversen Themen sollte in besonderen Fällen bereits in der Phase der Risikoabschätzung auch betroffenen und organisierten gesellschaftlichen Gruppen eine Beteiligung durch eigene Fachvertreter ermöglicht werden.
- Normative Vorgaben, die nicht ausschließlich durch Naturwissenschaftler vorgenommen werden können und sollten, müssen zu Beginn der Risikoabschätzung in einem legiti-

mierten Verfahren festgelegt werden. Hierzu gehören u.a. die Fragen von (tolerablen, unbedenklichen, etc.) Risikoniveaus, der Festlegung der Adversität nachgewiesener Wirkungen auf den Menschen und der Auslegung der Vorsorge. Eine angemessene Beteiligung der Betroffenen und gesellschaftlicher Gruppen ist zu ermöglichen. Diese Beteiligung ist sachlich, rechtsstaatlich und demokratisch geboten, da die Definition von Schutzziel und Schutzniveau und die Festlegung von Konventionen bei der Risikobewertung von gesellschaftlichen und politischen Zielsetzungen bestimmt werden.

- Ein risikobasiertes Bewertungsverfahren legt die gesellschaftliche Rahmensetzung für die Risikobewertung fest und bestimmt den Bewertungsrahmen, der dann weiter auf verschiedenen Fachebenen ausgefüllt werden kann. Ein risikobasiertes Bewertungsverfahren baut auf der Festlegung des Risikos auf, das die Gesellschaft bereit ist, als Konsequenz ihres Handelns selbst hinzunehmen und unbeteiligten Dritten zuzumuten. Diese Festlegung setzt einen gesellschaftlichen Diskurs voraus und sollte in einem demokratisch legitimierten Verfahren erfolgen. In diesem Sinne ist eine risikobasierte Bewertung dann weitgehend unabhängig vom aktuellen naturwissenschaftlichen Erkenntnistand, d. h. Veränderungen der Erkenntnis bedingen zwar eine Veränderung der Expositions-Wirkungs-Beziehung, aber nicht notwendig des als hinnehmbar, charakterisierten Risikoniveaus, wie es in der gesellschaftlichen Diskussion und dem politischen Diskurs bestimmt wird. Eine vergleichende Risikobewertung wird ermöglicht durch die risikobasierte Bewertung der Einzelnoxen und deren Gesamtheit unter anderem in den Umweltmedien und bestimmten Expositionsumständen, wie am z.B. Arbeitsplatz oder bei der Normierung der Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.
- Die Begründung akzeptabler Risikoniveaus verursacht durch zusätzliche Expositionen aus menschlichen Aktivitäten mit dem Vorliegen natürlicher Belastungen, d. h. natürliche Strahlenbelastung, ist im Hinblick auf ihre Plausibilität zu überprüfen. In der ethischen Diskussion ist diese Problematik unter anderem als naturalistischer Fehlschluss beschrieben, d. h. der unzulässigen Ableitung normativer Schlussfolgerungen aus wissenschaftlichen Fakten. Eine zusätzliche anthropogen verursachte Strahlenexposition kann nicht durch das Vorliegen natürlicher Strahlenbelastungen gerechtfertigt werden. Die Höhe einer zusätzlichen anthropogen verursachten Strahlenexposition kann hingegen mit der natürlichen Strahlenbelastung verglichen werden.
- Als anzustrebendes bzw. zu unterschreitendes Risikoniveau hat sich in der internationalen Diskussion für schwerwiegende Erkrankungen, verursacht durch genotoxische Noxen, die durch menschliche Aktivität in Umweltmedien freigesetzt wurden, der Bereich zwischen 1 in 1.000.000 und 1 in 10.000 pro Lebenszeit herausgebildet. Dabei gilt allgemein, dass der überwiegende Teil der exponierten bzw. potenziell exponierten Bevölke-

zung auf dem Niveau von 1 in 1.000.000 zu schützen ist. Ist dieses Risikoziel für alle Individuen nicht zu erreichen, so ist ein Abweichen für die am höchsten exponierten Personen bzw. Personengruppen bis zu einer Risikoschranke von 1 in 10.000 zulässig, wenn auf der Basis des Optimierungsgrundsatzes niedrigere Risiken nicht erzielt werden können.

Begründung

Der oben aufgeführte Sachstand und die Position reflektieren in wesentlichen Teilen Empfehlungen der Risikokommission (ad hoc-Kommission Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland) und Empfehlungen internationaler Organisationen wie der Weltgesundheitsorganisation zur Wasser und Luftqualität, die auf den genannten Positionen beruhen. Darüber hinaus hat die Europäische Union die risikobasierte Herangehensweise u. a. zur Grundlage ihrer Trinkwasserrichtlinie gemacht (vgl. A III.3). An den Arbeiten der vom Umwelt- und Gesundheitsministerium eingesetzten Risikokommission war das BfS wesentlich beteiligt.

Die Abschätzung von Strahlenrisiken beruht auf der evidenzbasierten zusammenfassenden fachlichen Bewertung der wissenschaftlichen Daten, die eine Gefährdung nachweisen, Hinweise geben oder Verdachtsmomente begründen. Die zusammenfassende strahlenhygienische Bewertung baut auf der fachlichen Abschätzung der Risiken auf, berücksichtigt aber auch die Wahrnehmung des Risikos in der Gesellschaft. Die Wahrnehmung wiederum wird von Faktoren wie Kontrollierbarkeit, Zuordenbarkeit der Verursachung, Verantwortlichkeit etc. geprägt. Daraus wird deutlich, dass die Bewertung von Risiken vielen Einflussfaktoren unterliegt und nicht nur auf wissenschaftlichen Fakten beruht. Die Risikobewertung sollte daher nicht abschließend von wissenschaftlichen Gremien durchgeführt werden, sondern vielmehr einer breiten gesellschaftlichen Diskussion geöffnet werden. Dabei muss allen Beteiligten klar sein, dass die Basis der Risikobewertung und anschließender Maßnahmen immer die wissenschaftliche Abschätzung der Gesundheitsrisiken ist.

Aus diesem Verständnis heraus ist es notwendig, dass vor der Abschätzung und Bewertung von Risiken die Rahmenbedingungen der Risikobewertung in einer gesellschaftlichen Diskussion geklärt werden. Zu den Rahmenbedingungen der Risikobewertung gehören:

1. Die Festlegung des Schutzgutes und des Schutzziels.

Es ist die Frage zu klären, wer oder was soll durch eine Maßnahme geschützt werden. Ist die Allgemeinheit oder ist der Einzelne zu schützen? Was soll das Ziel der Maßnahme sein? Soll ein absoluter Schutz gewährleistet werden, soll eine Gefahr abgewehrt oder im Sinne der Vorsorge gehandelt werden? Die Festlegung des Schutzgutes und des Schutzziels beschreiben die qualitativen Rahmenbedingungen der Risikobewertung.

2. Die Festlegung des Schutzniveaus.

Das angestrebte Schutzniveau beantwortet die Frage, was als hinreichend sicher angesehen wird. In diesem Zusammenhang sind auch die Fragen der Sicherheit der Risikoaussage und der grundsätzlichen Herangehensweise zu beantworten, d. h. ob im Sinne der Gefahrenabwehr bzw. der Vorsorge mit ungünstigen oder realistischen Annahmen gearbeitet werden soll. Im Zusammenhang mit Gefahrenabwehr ist häufig der Nachweis der Sicherheit notwendig, bei der mit ungünstigen, überschätzenden und schnell durchzuführenden Verfahren gearbeitet werden kann. Im Vorsorgebereich, d. h. in Expositionsbereichen, bei denen keine akute Gefährdung droht, stehen Fragen der Optimierung/Minimierung bzw. Vermeidung von Expositionen im Vordergrund. Bei diesen Fragestellungen ist eine möglichst realistische Abschätzung der Gefahr bzw. des Risikos notwendig. Optimierungs- bzw. Minimierungsverfahren auf der Basis überschätzender Annahmen führen häufig zu falschen fachlichen und ökonomischen Entscheidungen.

Festlegungen zum Risikoniveau und zur notwendigen Sicherheit der Abschätzergebnisse bauen zwar auf naturwissenschaftlichen Fakten auf, sind letztlich aber als eine gesellschaftliche Konvention zu verstehen und entsprechend zu realisieren. Hierzu gehören auch Aussagen, was unter einem vernachlässigbaren, unbedenklichen, hinnehmbaren, tolerierbaren Risiko zu verstehen ist.

Die Argumentation, dass bestimmte niedrige Strahlenexpositionen hinnehmbar seien, weil sie eben niedrig sind und nur einen Bruchteil der natürlichen Strahlenbelastung ausmachen, beruht auf dem aus der ethischen Diskussion bekannten naturalistischen Fehlschluss, in dem sie normative Schlussfolgerungen („hinnehmbar“) aus wissenschaftlichen Fakten ableitet. Normative Folgerungen sollten ethisch aus normativen und gesellschaftlichen Werten begründet werden und sollten nicht aus naturwissenschaftlichen Fakten oder natürlichen Gegebenheiten gefolgert werden. Natürliche Risiken sind häufig schwierig zu reduzieren. Aus dieser Tatsache aber den Schluss zu ziehen, dass zusätzliche Risiken der gleichen Größenordnung oder geringerer Höhe, die aus menschlichen Aktivitäten entstehen, deswegen zu akzeptieren seien, ist ethisch und logisch nicht zu begründen und damit im Sinne des Strahlenschutzes nicht zu rechtfertigen. Dass natürliche Belastungen im Risikovergleich eine

Rolle spielen, soll damit aber nicht bestritten werden, vielmehr kann ein Vergleich der Expositionshöhen Strahlenschutzentscheidungen transparenter und nachvollziehbar machen.

Die durch den gegenwärtigen Strahlenschutz, d.h. unter Beachtung der Schutzprinzipien Rechtfertigung, Grenzwertsetzung und Optimierung für Tätigkeiten erreichten Werte der Strahlenexposition für die Bevölkerung liegen im Bereich von wenigen Mikrosievert pro Jahr. Hiervon ausgenommen sind Strahlenexpositionen aus der Medizin, die im Wesentlichen individuell gerechtfertigt sind, im Gegensatz zu Expositionen der Bevölkerung aus sonstigen Tätigkeiten, deren Rechtfertigung sich aus einer gesellschaftlichen Rechtfertigung ergeben. Beispielfähig kann mit Bezug auf einen Freigabewert von $10 \mu\text{Sv}$ pro Jahr, dem aktuellen Risikokoeffizient für Krebsmortalität aus der ICRP 103 von etwa 5 pro Sv und einer angenommenen Lebenszeit von 70 Jahren dem genannten Freigabewert ein Lebenszeitrisiko von etwas mehr als 1 in 100.000 zugeordnet werden. Der für Trinkwasser vorgegebene Richtwert für die Gesamtdosis durch natürliche Radionuklide von $100 \mu\text{Sv}$ pro Jahr entspricht somit einem Risikowert von etwas mehr als 1 in 10.000. Der überwiegende Teil der Bevölkerung wird unterhalb der genannten Referenz- und Grenzwerte exponiert. Damit kann für den heute praktizierten Strahlenschutz, der sich nicht an der Ausschöpfung von Grenz- und Richtwerten orientiert, sondern insbesondere durch das Optimierungsgebot Strahlenbelastungen weit unterhalb der Grenz- und Referenzwerte realisiert, festgehalten werden, dass real ein Schutzniveau für die Bevölkerung erzielt wird, das dem anderer Regelungsbereiche wie Wasser, Boden und Luft vergleichbar ist.

D.II Vorsorge

Hintergrund

Der verantwortungsvolle Umgang mit Risiken für Umwelt und Gesundheit, die durch menschliche Tätigkeiten ausgelöst werden, setzt ganz allgemein voraus, dass neben die Abwehr konkreter Gefahren durch das Ergreifen von Verbots- und Schutzmaßnahmen das Prinzip der Vorsorge als eigenständige Maßnahme hinzutreten muss. Im Bereich niedriger Expositionen, wie sie im Leben eines jeden allgegenwärtig sind, bestehen große Unsicherheiten über die tatsächlichen Risiken. Im Bereich der ionisierenden Strahlung sind die Unsicherheiten dadurch bedingt, dass die Risiken für die Gesundheit durch Extrapolation aus den Expositionsbereichen abgeschätzt werden müssen. Die strahlenhygienisch begründete Konvention einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis bis hinab zu sehr kleinen Dosiswerten begründet die Notwendigkeit für die Anwendung des Vorsorgeprinzips (s. auch A.I.3, Optimierung) im Bereich der ionisierenden Strahlung. Trotz aller Anstrengungen in der Forschung kann zwar erwartet werden, dass die bestehenden Unsicherheiten vermindert werden, es wird aber niemals gelingen, diese ganz auszuräumen. Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung gilt zwar aus grundsätzlichen Überlegungen zur Schadenswirkung ein durch eine Wirkungsschwelle charakterisiertes Schadenseintrittskonzept. Aber auch hier gibt es Hinweise auf biologische Effekte unterhalb dieser Schwellen, deren gesundheitliche Relevanz derzeit noch nicht abschließend bewertet werden kann.

Zwar sind die Energien nichtionisierender, hoch- und niederfrequenter elektromagnetischer Felder zu niedrig, um direkt zur Krebsinduktion beizutragen. Es werden aber in der wissenschaftlichen Diskussion Mechanismen zur Krebspromotion diskutiert. Aus diesem Grund ist auch hier Vorsorge angezeigt, insbesondere bei Jugendlichen und Heranwachsenden, bei denen eine besondere Strahlenempfindlichkeit bisher nicht ausgeschlossen werden kann.

Im Bereich UV ist die Vorsorge insbesondere im Kindesalter und bei heranwachsenden Jugendlichen besonders wichtig, da in diesem Alterszeitraum ein erheblicher Anteil des Gesamtrisikos, an Hautkrebs zu erkranken, akkumuliert wird.

Thesen

- Die Vorsorge stellt beim Umgang mit Risiken neben der Gefahrenabwehr ein zweites wichtiges Prinzip dar, das dem Erhalt der Gesundheit dient und deshalb in den einschlägigen rechtlichen Regelungen als Strahlenschutzprinzip verankert werden sollte.

- Es sollten für Kinder und Jugendliche Vorsorgeprogramme gegen die Risiken der UV Strahlung der Sonne aufgelegt und umgesetzt werden, die Bewusstsein über die Risiken des UV erzeugen und Anleitungen zu einem verantwortungsvollen Umgang mit deren Risiken bei unkontrolliertem Sonnenbaden geben. Aus diesem Grund setzt sich das BfS für ein Solarienverbot für Jugendliche unter 18 Jahren ein.

Begründung

Die im Bereich ionisierender Strahlung und in der Gesundheitspolitik allgemein anerkannte Notwendigkeit der Vorsorge ist im Bereich der nichtionisierenden Strahlung bisher noch nicht in das Bewusstsein der Bevölkerung gelangt; dies gilt es bei der ohnehin überfälligen Regelung zum Schutze gegen die Gefahren nichtionisierender Strahlung zu ändern.

Trotz der beobachteten Zunahme der Hautkrebserkrankungen in Deutschland und entsprechender Empfehlungen aus der Wissenschaft mangelt es nach wie vor an behördlichen Initiativen, die sich dieser nicht einfach zu lösenden Problematik annehmen.