

# Schwerpunkt Strahlenschutz



# Impressum

**Herausgeber:**

**Bundesamt für Strahlenschutz**

**Öffentlichkeitsarbeit**

**Postfach 10 01 49**

**D-38201 Salzgitter**

**Telefon: +49 (0)3018 333-0**

**Telefax: +49 (0)3018 333-1885**

**E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)**

**De-Mail: [epost@bfs.de-mail.de](mailto:epost@bfs.de-mail.de)**

**Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)**

**Redaktion:**

**Lutz Ebermann**

**Gestaltung:**

**Quermedia GmbH**

**Querallee 38**

**34119 Kassel**

**Druck:**

**Bonifatius GmbH Druck | Buch | Verlag**

**Karl-Schurz-Str. 26**

**33100 Paderborn**

**Fotos:**

**BfS und genannte Quellen**

**Illustrationen:**

**Themen: Carolin Eitel**

**Portraits: Quermedia**

**Bundesamt für Strahlenschutz (2016)**

ClimatePartner<sup>o</sup>  
**klimateutral**

Druck | ID 53323-1701-1004

# Schwerpunkt Strahlenschutz

# Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

unser Bundesamt steht für den Schutz von Gesundheit und für die Stärkung der Lebensqualität von Bürgerinnen und Bürgern in allen Bereichen des Strahlenschutzes. Der radiologische Notfallschutz bei möglichen schweren Unfällen in kerntechnischen Anlagen, der Schutz vor Radon in Innenräumen, der Strahlenschutz in der Medizin und der Schutz beim Rückbau von Kernkraftwerken sind wichtige Gebiete, auf denen sich das BfS aktuell für die Weiterentwicklung des Strahlenschutzes besonders einsetzt. Die Publikation „Schwerpunkt Strahlenschutz“ erläutert und beleuchtet diese und weitere derzeitige Arbeitsschwerpunkte.

Die vom BfS vorgeschlagene und 2016 von Bundestag und Bundesrat verabschiedete Neuordnung der Organisationsstrukturen im Bereich des Strahlenschutzes und der Endlagerung bietet für das BfS die Chance, sein Profil als Gesundheits- und Verbraucherschutzbehörde weiter zu stärken. In Zukunft wird sich das BfS auf die staatlichen Aufgaben des Strahlenschutzes konzentrieren, während die operative Aufgabe der Endlagerung radioaktiver Abfälle von der staatlichen Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) wahrgenommen wird. Regulierung, Genehmigung und Aufsicht in der nuklearen Entsorgung werden zukünftig zentral im Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) gebündelt.

Wie vielfältig dabei die Aufgaben des Strahlenschutzes sind, das zeigt die vorliegende Publikation. Es geht für uns auch darum, die Brücke zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und alltäglicher Wahrnehmung von Risiken zu schlagen. Eine verantwortungsvolle Risikokommunikation ist ein wesentlicher Baustein dafür, dass Bürgerinnen und Bürger auch im Ereignisfall Vertrauen in staatliches Handeln haben. Ziel des BfS ist es, in der Öffentlichkeit ein besseres Bewusstsein im Umgang mit und bei der Bewertung der von Strahlung ausgehenden potenziellen Risiken zu vermitteln. Das BfS hat dabei den Anspruch, eine transparente, zielgruppengerechte und sachliche Kommunikation zu betreiben und Beteiligungsprozesse zu initiieren und zu fördern. Dazu gehört auch, mit wissenschaftlichen Unsicherheiten umzugehen und diese der Öffentlichkeit zu vermitteln.

Ich hoffe, dass Ihnen die Lektüre wertvolle Informationen und Einblicke bietet.

Ihr

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes that form a stylized representation of the name 'Wolfram König'.

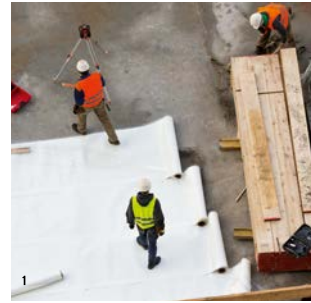
Wolfram König  
Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz

# Inhalt

- 2** Impressum
- 4** Vorwort des Präsidenten
- 8** Einführung ins Thema

## **12** Exposition aus natürlichen Quellen

- 14** Warum gefährdet Radon die Gesundheit?
- 16** Strahlenschutz in den eigenen vier Wänden
- 18** Radongebiete in Deutschland
- 20** Ein Problem: natürliche Rohstoffe im industriellen Prozesskreislauf



## **22** Freigabe

- 24** Freigabe beim Rückbau von Kernkraftwerken
- 28** Die Situation in Deutschland und Europa





# 30 Notfallschutz

- 32 Grundsatzfragen des Notfallschutzes
- 38 Fiktiver Unfallablauf

# 42

## Weitere aktuelle Strahlenschutzthemen

- 44 Mehr Grenzwerte, besserer Schutz?
- 51 Strahlenschutz in der Medizin
- 56 Beruflicher Strahlenschutz





Mit dem Konzept der Euratom-Grundnormen wird das Ziel verfolgt, das Recht auf dem Gebiet des Strahlenschutzes innerhalb der Europäischen Union so weit wie nötig zu harmonisieren, dabei aber Spielräume für länderspezifische Ausgestaltungen zuzulassen und - soweit erforderlich - weitere Präzisierungen auf untergesetzlicher Ebene vorzunehmen, zum Beispiel durch Empfehlungen oder technische Normen.



Aus heutiger Sicht liest sich das, was auf der ersten Seite des EURATOM-Vertrages von 1957 steht, alles andere als zeitgemäß. Da ist die Rede von dem Bewusstsein, „dass die Kernenergie eine unentbehrliche Hilfsquelle für die Entwicklung und Belebung der Wirtschaft und für den friedlichen Fortschritt darstellt“, von der Entschlossenheit, „die Voraussetzungen für die Entwicklung einer mächtigen Kernindustrie zu schaffen“. In dieser Form würde der Vertrag heute sicher nicht mehr von allen Vertragsstaaten unterschrieben werden.

Bei seinen Schutzziele ist der Vertrag jedoch nach wie vor hochaktuell. Er ist unter anderem die Grundlage für das auch heute geltende deutsche Strahlenschutzrecht, das derzeit überarbeitet wird. In Artikel 30 des Vertrages heißt es: „In der Gemeinschaft werden Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen festgelegt.“

Unter Grundnormen sind zu verstehen:

- » Die zulässigen Höchstdosen, die ausreichend Sicherheit gewähren.
- » Die Höchstgrenze für die Aussetzung gegenüber schädlichen Einflüssen und für schädlichen Befall.
- » Die Grundsätze für die ärztliche Überwachung der Arbeitskräfte.

Mit dem Konzept der Euratom-Grundnormen wird das Ziel verfolgt, das Recht auf dem Gebiet des Strahlenschutzes innerhalb der Europäischen Union so weit wie nötig zu harmonisieren, dabei aber Spielräume für länderspezifische Ausgestaltungen zuzulassen und – soweit erforderlich – weitere Präzisierungen auf untergesetzlicher Ebene vorzunehmen, zum Beispiel durch Empfehlungen oder technische Normen.

Die erste Grundnormenrichtlinie für den Strahlenschutz in der Europäischen Gemeinschaft datiert auf den 20.02.1959. 28 Artikel auf 19 Seiten reichten damals aus, um den Strahlenschutz zu harmonisieren. Die neue Richtlinie, die am 17.01.2014 im Amtsblatt der Europäischen Union als RL 2013/59/EURATOM veröffentlicht wurde, hat 109 Artikel und umfasst – mit Anhängen – 73 Seiten. Hat also die sprichwörtliche „Harmonisierungswut“ Europas am Ende auch beim Strahlenschutz gesiegt? Geprägt durch Erfahrungen aus anderen Bereichen mag die Versuchung groß sein, diese Frage mit Ja zu beantworten.

1959 gab es keine Computertomographien, die Zusammenhänge von Radon und Lungenkrebs waren unbekannt und Tschernobyl und Fukushima noch nicht geschehen.

Es hat sich gezeigt, dass der Strahlenschutz ein dynamisches Gebiet ist. 1959 gab es beispielsweise noch keine strahlungsintensiven Computertomographien. Dass das radioaktive Edelgas Radon auch bei Konzentrationen, wie sie in normalen Wohnungen auftreten können, langfristig Lungenkrebs hervorrufen kann, hatten die Epidemiologen noch nicht herausgefunden und die Reaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima waren ebenfalls noch nicht geschehen.

Strahlenschutz in der Medizin, Schutz vor Radon in Innenräumen und radiologischer Notfallschutz sind nur einige Beispiele dafür, auf welchen Gebieten mit der neuen Grundnormenrichtlinie der Strahlenschutz zum Wohle der Bevölkerung, von Beschäftigten und von Patientinnen und Patienten weiterentwickelt wird. Dazu kommt, dass mit der neuen Richtlinie eine Reihe bisher separater Euratom-Richtlinien zusammengefasst werden.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) gab es 1959 noch nicht, es wurde erst 30 Jahre später, 1989, gegründet. Seit seiner Gründung ist es mit Forschung zu den Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung, der Überwachung von Radioaktivität und Strahlung, der Erarbeitung von Schutzstrategien, der Risikokommunikation bis hin zur Wahrnehmung von Vollzugsaufgaben und der Schaffung untergesetzlichen Regelwerks auf allen Ebenen beschäftigt.

So haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des BfS signifikante Beiträge zur Aufklärung des Zusammenhangs zwischen der Exposition durch Radon in Aufenthaltsräumen und der Entstehung von Lungenkrebs geleistet und die Radonsituation in Deutschland in jahrelanger Arbeit erfasst. Expertinnen und Experten des BfS waren bei der Schaffung der Grundnormenrichtlinie beteiligt, die erstmals verbindliche Regelungen zum Schutz vor Radon in Innenräumen verlangt, ebenso wie sie jetzt bei der laufenden Umsetzung der Anforderungen in das deutsche Strahlenschutzrecht mitwirken und künftig den praktischen Vollzug unterstützen werden.

In der vorliegenden Broschüre wird über eine Auswahl dieser Themen berichtet. Wir hoffen, Leserinnen und Lesern damit einen Einblick geben zu können, warum der Strahlenschutz auch knapp 60 Jahre nach dem Inkrafttreten der ersten Grundnormenrichtlinie ein faszinierendes und dynamisches Arbeitsgebiet ist, auf welchem hohem fachlichen Niveau er im Bundesamt für Strahlenschutz betrieben wird und wer die Menschen sind, die diese Arbeit leisten.

#### Anpassung der Freigabe-/ Freigabegrenzenregelungen



#### Notfallschutz (Szenarienatalog, Nachunfallphase, Dosisrekonstruktion)



Rechtfertigung von neuartigen Tätigkeitsarten

Qualitätssicherung bei medizinischen Anwendungen

Rechtfertigung von Anwendungen ionisierender Strahlung am Menschen,  
insbesondere bei Anwendungen zur Früherkennung von Krankheiten

Altersabhängigkeit von Strahlenwirkungen

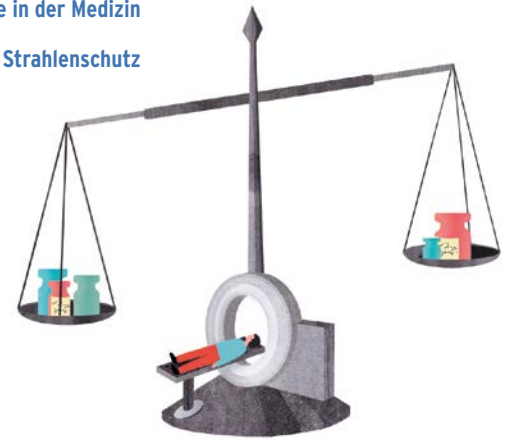
Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosen

Diagnostische Referenzwerte zur Optimierung von Strahlenanwendungen in der Medizin

Risikoanalyse bei therapeutischen Strahlenanwendungen

Meldesystem für besondere Vorkommnisse in der Medizin

Beruflicher Strahlenschutz



# Themenvielfalt

Radonregelungen für Bevölkerung und an Arbeitsplätzen

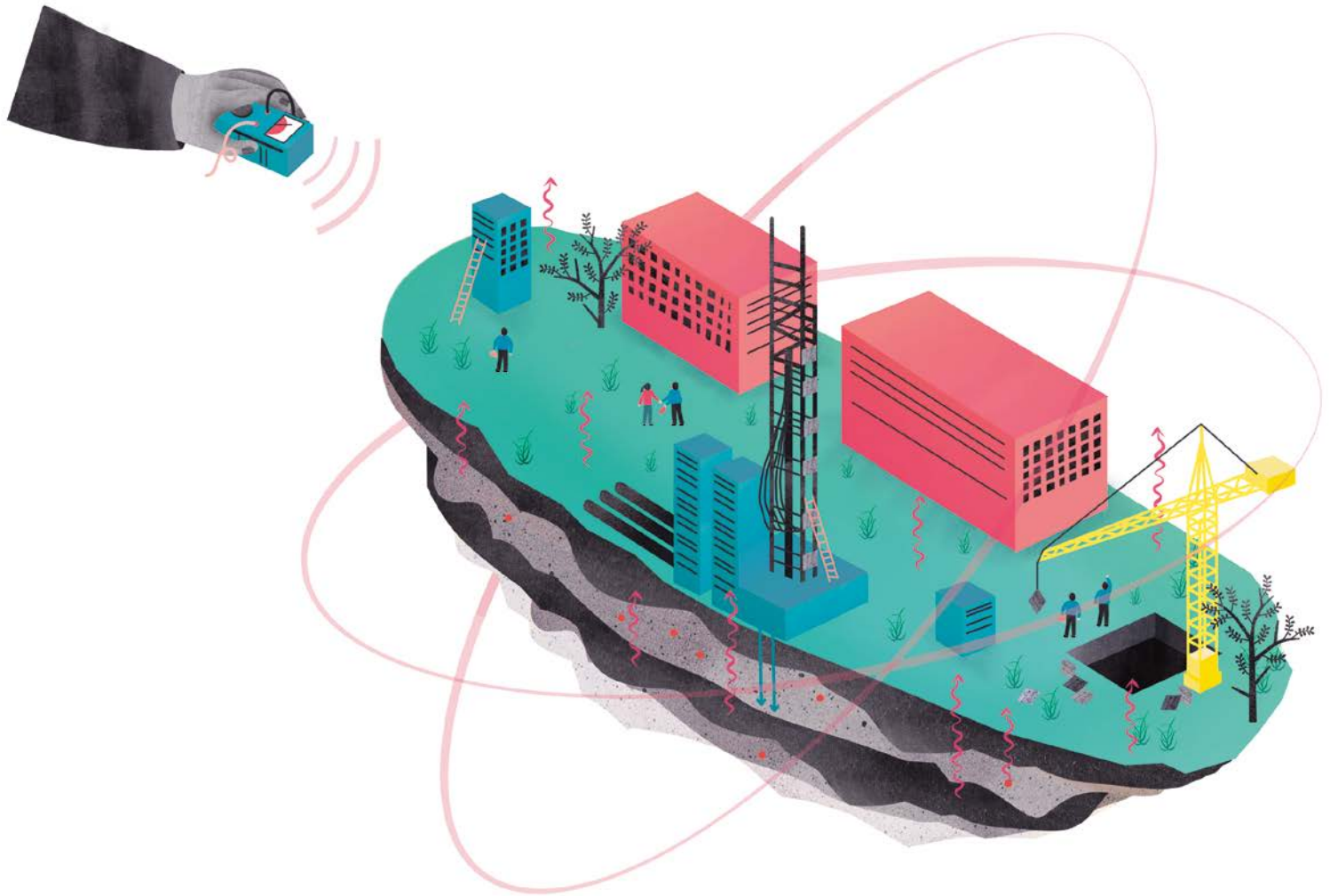
Ableitungen aus NORM-Industrien

Baustoffregelungen

Radiologische Altlasten



Das Bundesamt für Strahlenschutz forscht seit seiner Gründung 1989 zu den Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung, überwacht die Radioaktivität in der Umwelt, erarbeitet Schutzstrategien und betreibt Risikokommunikation.



# Exposition aus natürlichen Quellen

Die Bedeutung erhöhter Strahlenbelastungen aus Quellen natürlichen Ursprungs für die Bevölkerung und Beschäftigte an manchen Arbeitsplätzen wurde lange Zeit unterschätzt.

Erst seit Anfang der 2000er Jahre unterliegen einige Quellen natürlicher Strahlenbelastung einer rechtlichen Regelung, z. B. Rückstände aus bestimmten industriellen Prozessen, wie der Erdöl- und Erdgasindustrie („naturally occurring radioactive materials“, abgekürzt „NORM“). Das BfS leistet permanent wichtige Beiträge zur radiologischen Bewertung solcher Rückstände, etwa als Folge der Beseitigung auf Deponien oder auch eines möglichen Zuschlags zu Baustoffen. Auch neue Technologien wie die Geothermie bringen radiologisch relevante Rückstände hervor, deren Art und Menge sowie Auswirkungen auf Mensch und Umwelt – gemeinsam mit anderen Forschungseinrichtungen – vom BfS untersucht werden.

Von besonderer Bedeutung für den Strahlenschutz ist das radioaktive Edelgas Radon.

Nach aktuellen Erkenntnissen werden in Deutschland etwa fünf Prozent der Lungenkrebssterbefälle der Bevölkerung der Belastung durch Radon in Gebäuden zugeschrieben, das sind etwa 1.900 Todesfälle durch Lungenkrebs pro Jahr.

Bei der Umsetzung der Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz in das deutsche Recht, das unter anderem erstmals rechtsverbindliche Regelungen für den Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden und eine Begrenzung der Radioaktivität in Baustoffen vorsehen wird, bringt das Team um Dr. Bernd Hoffmann seine Expertise ein.

Eines der besonderen Probleme im Regelungsbereich natürlicher Radioaktivität resultiert aus ihrer Allgegenwart. Es ist nicht möglich und auch nicht sinnvoll, die gesamte Natur den Regelungen des Strahlenschutzes zu unterwerfen.

Andererseits sollen signifikante Erhöhungen der Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen möglichst sicher erkannt werden, um künftig entweder vorbeugend oder auch durch Sanierungsmaßnahmen die Situation zu verbessern und die Strahlenexposition auf akzeptable Werte zu reduzieren. Wichtige Arbeiten in diesem Bereich beziehen sich deshalb auf die Eingrenzung des Regelungsbereiches.

Überall in der Natur sind Spuren natürlicher radioaktiver Elemente zu finden. Die wichtigsten Vertreter sind die Schwermetalle Uran, Thorium und Radium sowie das Edelgas Radon. Aber auch das gewöhnliche Kalium, das sich überall in der Umwelt befindet, hat einen geringen radioaktiven Anteil, das Isotop Kalium-40.

In der Regel entstehen daraus keine nennenswerten Strahlenschutzprobleme. Dennoch kommt es zu Situationen, in denen diese natürliche Radioaktivität angereichert auftreten kann, so z. B. in bestimmten industriellen Prozessen oder einfach, indem man ein Haus baut. Die Frage lautet: Unter welchen Bedingungen ist es notwendig, aus Strahlenschutzgründen regulatorisch einzugreifen?

Einen Maßstab zur Beantwortung dieser grundlegenden Frage liefert die Natur selbst. Die natürliche Umweltradioaktivität unterscheidet sich von Ort zu Ort. So haben die Bewohner einiger Gebiete in Deutschland eine geringere aus dieser natürlichen Umweltradioaktivität stammende Strahlenexposition als Bewohner anderer Regionen. Dies kann man nicht regulieren. Jedoch kann man alle zusätzlichen Beiträge an dieser natürlichen Schwankung orientieren und erst dann regulatorisch eingreifen, wenn diese zusätzlichen Beiträge die natürlichen Schwankungen überschreiten.

Diese Vorgehensweise übernehmen auch die Euratom-Grundnormen. Die Anreicherung natürlicher Radioaktivität durch industrielle Prozesse, die Verwertung der anfallenden Rückstände, die Radonkonzentration in Wohnungen und an Arbeitsplätzen oder der Gehalt natürlicher Radioaktivität in Baustoffen werden durch die Euratom-Grundnormen reguliert, jedoch erst dann, wenn sie zu einer Strahlenexposition oberhalb des natürlichen Hintergrundes führen.

Das BfS hat die wissenschaftlichen Grundlagen zur Bewertung der natürlichen Umweltradioaktivität erarbeitet, mittels großer Messprogramme die Hintergrundwerte ermittelt und die Prozesse erforscht, die zu einer Anreicherung führen können. Nun begleitet es die Umsetzung und den Vollzug der Euratom-Grundnormen auf fachlicher Ebene.

**Die Fachgebiete „Radon“ und „Natürlich vorkommende radioaktive Materialien, radioaktive Aftlasten“ werden von Dr. Bernd Hoffmann geleitet.**

**Dr. Bernd Hoffmann** ist Physiker und beschäftigt sich seit etwa 15 Jahren mit den Themen Radon und Radioaktivität in Baustoffen. Er vertritt das BfS auf diesen Gebieten in nationalen und internationalen Gremien.



**Dr. Peter Bossew**, theoretischer Physiker, ist ein international anerkannter Spezialist in der Entwicklung und Anwendung geostatistischer Methoden zur Prognose von Radon sowie der allgemeinen Umweltradioaktivität. Er ist u. a.

Mitglied einer europäischen Expertengruppe zur Entwicklung eines Atlas zur Umweltradioaktivität.

Der Geoökologe **Jörg Dilling** untersucht die Anreicherung von Radionukliden in industriellen Prozessen und die wassergetragene Ausbreitung von Radionukliden in der Umwelt. Daraus erarbeitet er Methoden und Parameter zur Berechnung der Dosis für die Beschäftigten und für die Bevölkerung.



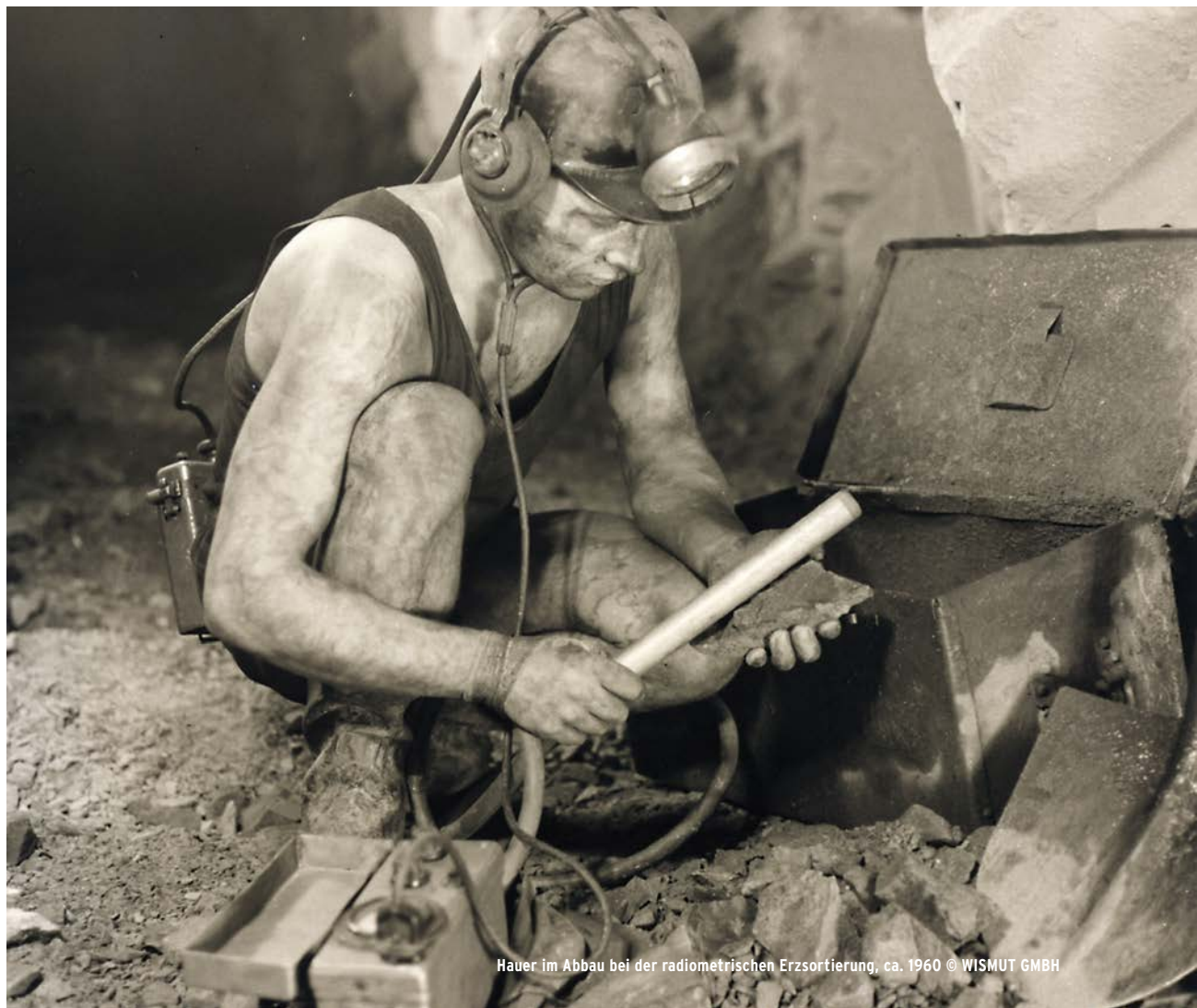
## Warum gefährdet Radon die Gesundheit?

Aufgrund seiner Edelgaseigenschaften und der Halbwertszeit von fast vier Tagen wird Radon nach dem Einatmen zum größten Teil wieder ausgeatmet. Die eingeatmete Luft enthält aber auch immer die Zerfallsprodukte des Radons, nämlich die radioaktiven Isotope der Elemente Polonium, Wismut und Blei, die überwiegend an die in der Luft befindlichen Aerosole wie z. B. Staubteilchen angelagert sind. Diese werden im Atemtrakt abgelagert und zerfallen dort vollständig. Die dabei frei werdende Energie kann zu Schäden am Lungengewebe führen. Die Euratom-Grundnormen greifen dieses gesundheitsgefährdende Phänomen konkret auf und legen Schutzmaßnahmen fest.

### Erkenntnisse lagen schon im 16. Jahrhundert vor

Bereits in der frühen Neuzeit beobachtete man bei unter Tage arbeitenden Bergarbeitern in Schneeberg im Erzgebirge eine ungewöhnliche Häufung von Lungenerkrankungen, die man als „Schneeberger Bergkrankheit“ bezeichnete. Es dauerte aber noch weitere vier Jahrhunderte, bis erkannt wurde, dass es sich dabei um Lungenkrebs handelt und dass radioaktives Radon der Auslöser dafür ist. In einer Reihe von epidemiologischen Studien an Bergarbeitern, die hohen Radonbelastungen ausgesetzt waren, wurde erstmals ab 1965 gezeigt, dass Radon und seine Zerfallsprodukte ursächlich sind für Lungenkrebs. Radon wurde daher bereits 1988 vom Internationalen Krebsforschungszentrum (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Lyon als krebserregend für den Menschen eingestuft.

In einer Reihe von epidemiologischen Studien an Bergarbeitern, die hohen Radonbelastungen ausgesetzt waren, wurde erstmals gezeigt, dass Radon und seine Zerfallsprodukte ursächlich sind für Lungenkrebs.



## Anzahl radoninduzierter Lungenkrebstodesfälle in Deutschland

In Deutschland beträgt die durchschnittliche Radonkonzentration in Wohnungen etwa  $50 \text{ Bq/m}^3$ . Nach neuesten Abschätzungen werden in Deutschland ungefähr fünf Prozent aller Lungenkrebssterbefälle pro Jahr durch Radon in Wohnungen verursacht. Dies entspricht in absoluten Zahlen ungefähr 1.900 durch Radon verursachten Todesfällen pro Jahr.

## Expositions-Wirkungs-Zusammenhang

Der Expositions-Wirkungs-Zusammenhang ist annähernd linear ohne Hinweis auf einen Schwellenwert, d. h. das Lungenkrebsrisiko erhöht sich proportional mit steigender Radonkonzentration.

Die retrospektive Expositionsabschätzung ist mit Unsicherheiten behaftet. Berücksichtigt man diese Unsicherheiten, ergibt sich eine Zunahme des Risikos pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Becquerel pro Kubikmeter ( $\text{Bq/m}^3$ ) um ca. 16 Prozent.

## Gemeinsame Wirkung von Rauchen und Radon

Die relative Erhöhung des Lungenkrebsrisikos durch Radon ist für Raucher, Ex-Raucher und lebenslange Nichtraucher vergleichbar hoch. Da Raucher und zum Teil Ex-Raucher aber ein deutlich höheres Ausgangsrisiko für Lungenkrebs haben als lebenslange Nichtraucher, ist das absolute Lungenkrebsrisiko durch Radon für Raucher und Ex-Raucher deutlich höher als für lebenslange Nichtraucher.



## Durchführung der sogenannten „Wismut-Kohorte“

Im BfS wird eine Kohortenstudie (Kohorte = Gruppe von Personen, die über einen längeren Zeitraum hinsichtlich ihres Gesundheitsgeschehens beobachtet wird) an 60.000 Uranbergarbeitern, die in der ehemaligen DDR in der sogenannten „Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut“ beschäftigt waren, durchgeführt. Dabei handelt es sich um die größte Uranbergarbeiter-Kohorte weltweit. Die Bergarbeiter waren in den frühen Jahren sehr hohen Radonkonzentrationen unter Tage ausgesetzt. Verbesserungen der Strahlenschutz- und Arbeitsschutzmaßnahmen in der Wismut führten dazu, dass etwa ab 1960 die Radonbelastungen der Beschäftigten deutlich sanken. Insgesamt zeigt sich in der Kohorte ein deutlich erhöhtes Lungenkrebsrisiko durch Radon, das zusätzlich vom erreichten Alter, der Zeit seit Exposition und der Dosisrate abhängt. Selbst im Niedrigdosisbereich (Beschäftigte nach 1960) zeigt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Lungenkrebssterblichkeit und Radonexposition.

## Risiken, die man kennen sollte

Mehr als 20 internationale epidemiologische Studien, teilweise durch das BfS im Auftrag des Bundesumweltministeriums im Rahmen des Ressortforschungsplans finanziert, zeigen übereinstimmend auch ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko durch Radon bei jahrzehntelangem Aufenthalt in Wohnungen mit erhöhten Radonkonzentrationen. Daraus abgeleitete Schätzungen gehen von einer Zunahme des Lungenkrebsrisikos um zirka 16 Prozent pro Anstieg der Radonkonzentration um  $100 \text{ Bq/m}^3$  aus.

Erhöhte Radonkonzentrationen in Räumen, die häufig und über viele Stunden am Tag aufgesucht werden, stellen daher ein nicht zu vernachlässigendes Gesundheitsproblem dar.

In einem weiteren Forschungsprojekt wurden 13 europäische Studien gemeinsam ausgewertet und die Ergebnisse 2005 publiziert. Es gingen insgesamt 7.148 Lungenkrebspatientinnen und -patienten und 14.208 Kontrollpersonen ohne diese Erkrankung in die Studienauswertung ein.

Bei den Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern wurden in den jetzigen und früheren Wohnungen die Radonkonzentrationen über mindestens ein halbes Jahr gemessen. Daraus wurde der zeitlich gewichtete Mittelwert der Radonkonzentrationen für die in den letzten 5 bis 35 Jahren bewohnten Wohnungen berechnet. Da bei allen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern neben dem lebenslangen Rauchverhalten und anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs weitere wichtige Daten erhoben wurden, konnten wesentliche Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht und Region bei den Risikoanalysen berücksichtigt werden.

Die Studien zeigen übereinstimmend ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen. Bei vergleichbaren Expositionshöhen sind die Risikoschätzer denen aus den Bergarbeiterstudien sehr ähnlich.

# Strahlenschutz in den eigenen vier Wänden?

## Natur und menschlicher Einfluss

Der Mensch verändert seine Umwelt und damit auch seine natürlichen Lebensbedingungen, so dass der Übergang zwischen geologischen Gegebenheiten und menschlichem Einfluss fließend ist. Ein Beispiel dafür sind Häuser, die wir uns zum Schutz vor den Einflüssen der Natur bauen und in denen wir alles möglichst behaglich gestalten; dort fühlen wir uns sicher. Als Ausgangsstoffe zum Bauen verwenden wir natürliche Materialien, doch die seit der Erdentstehung vorhandenen natürlichen Radionuklide in Böden und Gesteinen können aus dem Baumaterial nicht entfernt werden und die dadurch verursachte terrestrische Strahlung verringert sich wegen der extrem langen Halbwertszeiten dieser Radionuklide praktisch nicht. So sind wir von der Gammastrahlung aus dem Kalium-40 sowie aus den Zerfallsketten des Uran-238 und des Thorium-232 umgeben und setzen uns im Haus ihrem Einfluss aus. Das natürliche radioaktive Edelgas Radon ist sehr mobil. Es gelangt überwiegend aus der Bodenluft des Gebäudeuntergrundes ins Haus und kann sich in der Raumluft anreichern. Verantwortlich dafür sind z. B. undichte Fundamentbodenplatten, Risse im Mauerwerk oder Kabel- und Rohrdurchführungen.

## Große Vielfalt an Baustoffen

Da Baumaterial in großen Mengen benötigt wird, entstand historisch die bevorzugte Verwendung lokaler Vorkommen an Gesteinen und körnigen Ausgangsstoffen für den Hausbau. Beispiele sind die Nutzung von Sandstein, Kalkstein, Granit oder anderen Natursteinen wie Feldsteinen, Schiefer, Ton, Lehm oder Kies.

Mit zunehmender Industrialisierung nahm auch die Nutzung anfallender Abfallprodukte wie Schlacken, Aschen, Schlämmen und auch bergbaulichen Abraumgesteins zu, da sie als preiswerte Zusätze zur Verfügung standen. Aufgrund der steigenden Anforderungen zum verantwortungsvollen Umgang mit natürlichen Ressourcen gewann das Recycling an Bedeutung. Dabei wurde einer möglichen Gefährdung, die durch freigesetzte Schadstoffe aus dem Material auftreten konnte, keine Bedeutung beigemessen. Dies galt für den konventionellen Gesundheitsschutz, aber erst recht für den Strahlenschutz.

## Informationen können Sicherheit geben

Pressemeldungen über die Strahlung aus Granitplatten und Fliesen, über das Edelgas Thoron aus lehmverputzten Häusern und über Radonfreisetzungen aus bergbaulichem Abraum können für Verunsicherung bei Bewohnern und Bauherren sorgen. Eine sachliche Information der Öffentlichkeit zu diesem Thema ist erforderlich, um einen bewussten Umgang mit Baustoffen und ihren Strahlungseigenschaften zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für ökologisches Bauen.

Das BfS hat ein Messprogramm durchgeführt, welches die Beurteilung der wichtigsten Baustoffe hinsichtlich ihres Gehalts an natürlichen Radionukliden ermöglicht. Dabei wurden zwar keine Materialien gefunden, die zu unerwünscht hohen Belastungen in Innenräumen führen, trotzdem empfiehlt es sich aus Vorsorgegründen zu bedenken, welche Materialien eingesetzt werden. Das Wissen um ihre natürliche Radioaktivität soll dabei helfen.

## Regelungen sind sinnvoll

Mit diesen Kenntnissen kann eine Begrenzung der Strahlenbelastung durch gezielten Materialeinsatz in Verbindung mit entsprechenden Bauvorschriften erfolgen. Dazu arbeitet das BfS derzeit in nationalen und internationalen Gremien



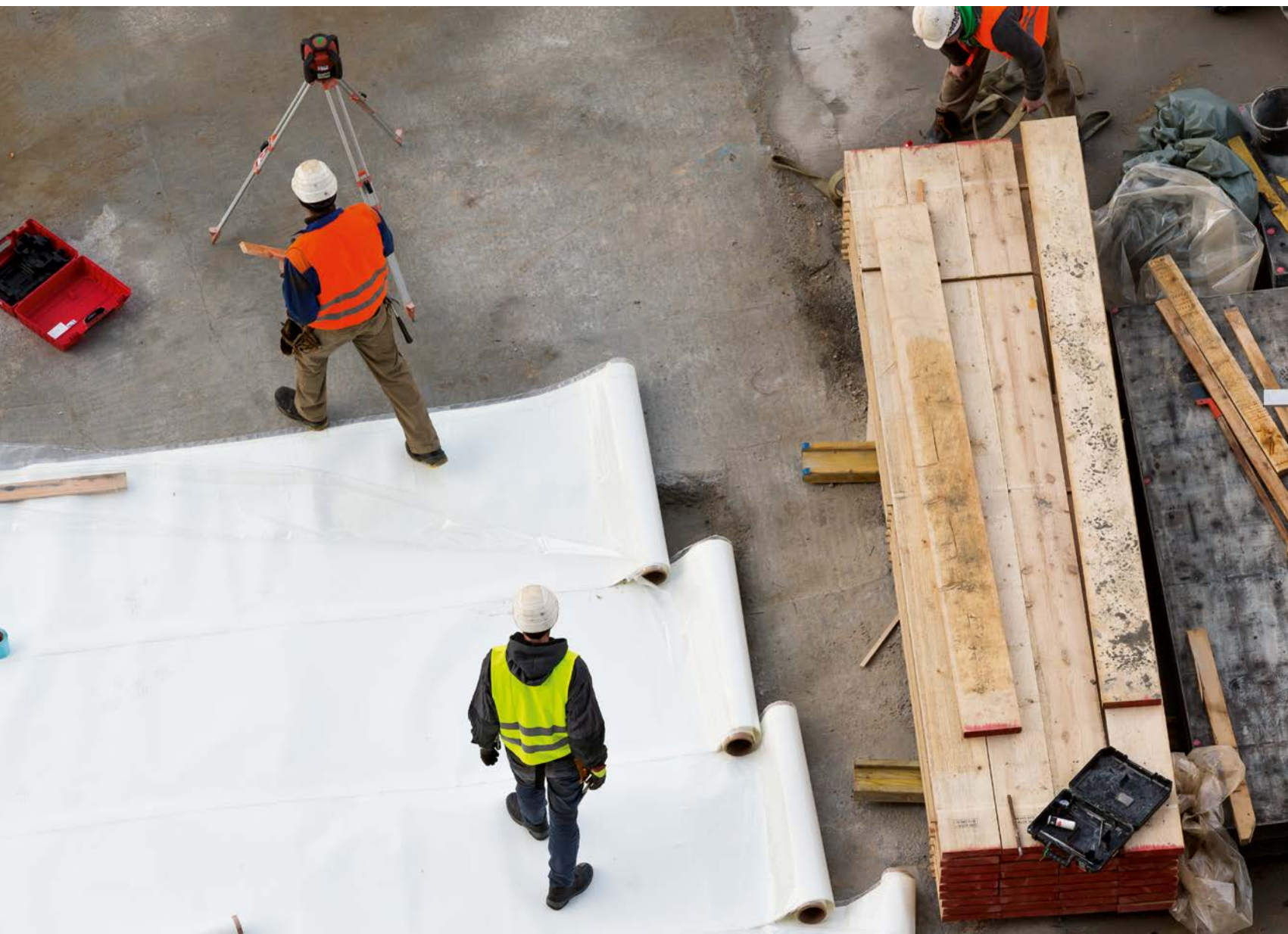


Um erhöhte Radonkonzentrationen zu verhindern, sollten Schutzmaßnahmen bei der Planung und dem Neubau sowie bei der baulichen Sanierung von Häusern beachtet werden.

zur Entwicklung zuverlässiger Messmethoden mit. Aufgrund der nach künftiger Gesetzgebung geplanten Deklaration von Baustoffen hinsichtlich der Einhaltung von Standardwerten können auch Laien eine richtige Auswahl treffen und die Bewohnerinnen und Bewohner künftig sicher sein, dass der hierfür anerkannte Maßstab im Strahlenschutz eingehalten wird.

### Schutzmaßnahmen vor Radon

Um erhöhte Radonkonzentrationen zu verhindern, sollten Schutzmaßnahmen bei der Planung und dem Neubau sowie bei der baulichen Sanierung von Häusern beachtet werden. Dies gilt in besonderem Maße, wenn im Zuge von Energiesparmaßnahmen die Gebäudehüllen immer dichter und die Lüftungsraten immer geringer werden. Das BFS empfiehlt, neu zu errichtende Gebäude so zu planen, dass in den Aufenthaltsräumen Radonkonzentrationen von mehr als 100 Bq/m<sup>3</sup> im Jahresmittel vermieden werden. Darüber hinaus ist es für Bestandsgebäude wichtig, die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen insbesondere in Gebieten zu messen, in denen gehäuft erhöhte Radonkonzentrationen auftreten. Für eine erforderliche Radonsanierung betroffener Gebäude liegen national und international erprobte Methoden vor, die vom BFS in verschiedenen Formen publiziert wurden.



# Radongebiete in Deutschland

Der in der Fachdiskussion seit Langem eingeführte Begriff „radon prone area“ lautet in wörtlicher Übersetzung „Radon gefährdete Gebiete“. Solche Gebiete zeichnen sich dadurch aus, dass Radon im besonderen Maße im Boden freigesetzt wird und in besonders vielen Häusern in ungewöhnlich hohen Konzentrationen auftreten kann. Gebiete mit bestimmtem geologischen Untergrund, wie z. B. Granite, einige vulkanische Gesteine und Sedimente mit hohem organischem Anteil, sind bereits heute in großräumigem Maßstab bekannt. Dazu gehören unter anderem das Tessin in der Schweiz oder Südtirol in Italien, das Zentralmassiv und die Bretagne in Frankreich, Teile der Iberischen Halbinsel, Cornwall auf den Britischen Inseln oder der größte Teil des tschechischen Staatsgebietes.

Auch in Deutschland gibt es Gebiete, in denen die Wahrscheinlichkeit erhöhter Radonkonzentrationen höher ist als im Landesdurchschnitt, z. B. im Erzgebirge, im Bayerischen Wald, im südlichen Schwarzwald, am Alpennordrand sowie in den Mittelgebirgsregionen.

Daraus abgeleitet müssen die Gebiete eindeutig und nach vergleichbaren und begründeten Kriterien eingegrenzt werden, in denen aus Vorsorgegründen gezielte Maßnahmen eingeführt werden sollten, etwa Radonmessungen am Arbeitsplatz oder ein Radonschutz bei Neubauten sowie bei Bedarf Nachbesserungen in bestehenden Gebäuden.

## Wie sollen Radongebiete ausgewiesen und eingegrenzt werden?

Die Euratom-Grundnormen weichen dieser Frage aus und sprechen nur von Gebieten, in denen erwartet wird, dass in einer beträchtlichen Anzahl von Gebäuden die Radonkonzentration den national festzulegenden Referenzwert überschreitet. Gemäß dem aktuell vorliegenden Entwurf des Strahlenschutzgesetzes wird dieser Wert in Deutschland  $300 \text{ Bq/m}^3$  betragen. Das BfS arbeitet derzeit gemeinsam mit dem Bundesumweltministerium und Vertretern der Bundesländer an einem Verfahren zur Festlegung von Radongebieten. Ein Instrument sind dabei Prognosen des Radonpotenzials.

## Das BfS berechnet das Radonpotenzial in Deutschland

In den Jahren 1995 bis 2001 hat das BfS an etwa 3.700 Orten das Radonpotenzial in Böden gemessen. Um nicht das Bundesgebiet mit einer Unzahl von weiteren Messungen überziehen zu müssen, hat das BfS eine Methode entwickelt, um das Radonpotenzial in den Bereichen abzuschätzen, für die keine Messungen vorliegen. Grundlage dafür waren auch Erfahrungen und Methoden aus dem Bereich der Rohstofferkundung. Dort wird auf Grundlage von wenigen Probebohrungen auf das Vorhandensein von Lagerstätten geschlossen. Unter Berücksichtigung der lokalen Geologie kann mit der neuen Berechnungsmethode die räumliche Verteilung des Radonpotenzials in Deutschland abgeschätzt werden. Wie aber definiert man Radongebiete? Gibt es einen Wert des Radonpotenzials, ab dem ein Gebiet als solches einzustufen ist?

## Radonpotenzial

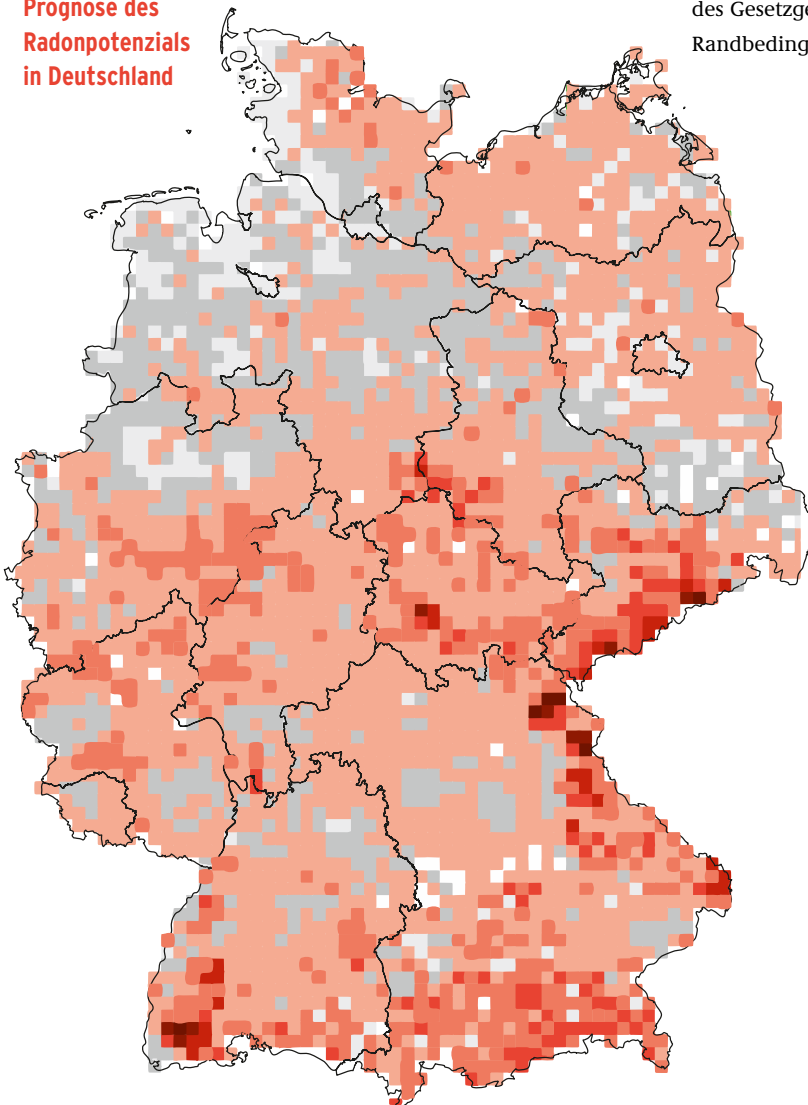
Wie viel Radon aus dem Boden in ein Haus gelangen und darin für eine hohe Radonkonzentration sorgen kann, hängt nicht alleine davon ab, wie stark Gesteinskörner im Boden das Radon freisetzen. Es ist auch wichtig, wie gut Radon oder andere Gase sich im Boden bewegen können. Je größer diese Beweglichkeit ist, umso größer ist das Bodenvolumen, aus dem Radon zum Haus gelangen kann. Man muss also neben der Radonkonzentration im Boden auch die sogenannte Gaspermeabilität eines Bodens bewerten, um Aussagen zum Risiko hoher Radonkonzentrationen in Innenräumen machen zu können. Das Radonpotenzial verknüpft nun beide Größen zu einer einzelnen, handlichen Bewertungsgröße.

Es sollte vermieden werden, dass bei einer zu groben Einteilung der Landkarte Regionen zu Radongebieten erklärt werden, die eigentlich keine sind oder umgekehrt. Ist die Einteilung zu begrenzt, werden Gebiete nicht berücksichtigt, die jedoch eine Radonbelastung aufweisen. Vergleichbare Fragestellungen treten in der Wissenschaft häufig auf, z. B. bei dem Versuch, schwache Signale vom Hintergrundrauschen zu unterscheiden oder die optimale Dosierung eines Medikamentes unter Abwägung von Wirkung und Nebenwirkung zu bestimmen. Diese dort entwickelten Techniken wurden vom BfS auf die Fragestellung der Radongebiete angepasst.

Mit Hilfe vorhandener Messwerte von Radonkonzentrationen in etwa 15.000 Häusern wurden Rechnungen durchgeführt mit dem Ziel, einen optimalen Schwellenwert des Radonpotenzials zu finden, mit dem man Radongebiete eingrenzen kann.

Welcher Schwellenwert festgelegt wird, liegt im Verantwortungsbereich des Gesetzgebers. Die Untersuchungen des BfS sind die Grundlage dafür, die Randbedingungen und die Folgen in Zahlen zu fassen.

## Prognose des Radonpotenzials in Deutschland



hohes Radonpotenzial

geringes Radonpotenzial



# Ein Problem: natürliche Rohstoffe im industriellen Prozesskreislauf

## Radioaktivität in Rückständen

Da natürliche radioaktive Elemente allgegenwärtig sind, gelangen diese auch mit den Rohstoffen (beispielsweise Gesteine oder Grundwasser) in den industriellen Prozesskreislauf. Bei bestimmten technologischen Prozessen reichern sich die Radionuklide ungewollt in Rückständen an. Eine Anreicherung von Radionukliden kann aber auch aufgrund einer gezielten Entfernung von Radionukliden zur Einhaltung gesetzlicher Vorgaben erfolgen, z. B. aus Rohwasser zur Trinkwassergewinnung.

## Geothermie

NORM-Rückstände können dabei in Industriezweigen auftreten, bei denen dies nicht vermutet wird. So z. B. bei der industriellen Nutzung von Erdwärme (Geothermie), wenn das in tieferen Schichten gewonnene heiße Wasser zu Wärmetauschern geführt und anschließend wieder ins Gestein verpresst wird. Dabei können sich in den Anlagenteilen der sogenannten Tiefengeothermie durch veränderte Temperatur- und Druckverhältnisse verschiedene Salze und Minerale bilden und sich wie Kesselstein ablagern, wobei auch das radioaktive Element Radium enthalten sein kann. Um die Bildung von NORM-Rückständen in der Geothermie besser zu verstehen, arbeitet das BfS mit dem Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) zusammen. Das GFZ betreibt in der Nähe von Berlin eine eigene Versuchsgeothermieanlage. In diesem Feldlabor werden die Bildung und die Zusammensetzung von NORM-Rückständen unter betriebsnahen Bedingungen untersucht. Bei der weit verbreiteten Anwendung von Erdwärmepumpen können keine NORM-Rückstände entstehen, da hier im Gegensatz zu Anlagen der Tiefengeothermie kein direkter Kontakt zwischen dem eingepressten Wasser und dem umliegenden Gestein stattfindet.

## NORM

Rückstände mit einem erhöhten Gehalt an natürlichen Radionukliden werden im Strahlenschutz mit dem Begriff NORM (**n**aturally **o**ccurring **r**adioactive **m**aterials) bezeichnet.



Geothermie-Bohrstelle Kirchstockach © INGO E. FISCHER FOTOGRAFIE



### Trinkwasseraufbereitung

Auch bei der Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser können sich NORM-Rückstände bilden. Durch eine Änderung der Trinkwasserverordnung muss daher seit 2011 für das Element Uran ein Grenzwert eingehalten werden. Die Einführung eines Grenzwertes für Uran erfolgte aufgrund seiner Eigenschaft als giftiges Schwermetall und nicht aufgrund seiner radioaktiven Eigenschaft, da die gesundheitliche Gefährdung von Uran durch die chemische Giftwirkung überwiegt. Seit November 2015 wird durch eine weitere Änderung der Trinkwasserverordnung nun auch die Wirkung radioaktiver Strahlung durch Einführung einer Richtdosis und daraus abgeleitete Referenz-Aktivitätskonzentrationen für die häufigsten künstlichen und natürlich vorkommenden Radionuklide im Trinkwasser berücksichtigt. Sofern eine gezielte Entfernung von Uran notwendig ist, wird es bei der Trinkwasseraufbereitung durch sehr wirkungsvolle und auf Uran spezialisierte Filtermaterialien, sogenannte Absorberharze, entfernt. Die Absorberharze werden bei spezialisierten Firmen gereinigt und können danach erneut im Wasserwerk eingesetzt werden.

Mit Vertretern von Wasserwerken werden in einem Gremium des Deutschen Verbandes des Gas- und Wasserfachs (DVGW) Fragen zu natürlichen radioaktiven Stoffen im Wasser diskutiert. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf NORM-Rückständen und der Bestimmung von natürlichen radioaktiven Stoffen im Trinkwasser.

### Berechnungen der Strahlenexposition müssen aktuell sein

Bei NORM-Rückständen handelt es sich in aller Regel nicht um gefährliche Abfälle im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes. Daher werden diese meist verwertet oder auf normalen Deponien abgelagert. In jedem Fall muss dabei gewährleistet sein, dass der Schutz der Bevölkerung vor natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen hinreichend sichergestellt ist. Das Maß hierfür ist der Schwankungsbereich der natürlichen Radioaktivität durch unterschiedliche Wohnsituationen, Lebens- und Verhaltensweisen in Deutschland. Das BfS erarbeitet hierfür Berechnungsvorschriften, mit denen für die beabsichtigte Verwertung oder Beseitigung abgeschätzt werden kann, wie groß die Strahlenexposition durch diese natürlichen Strahlenquellen ist.

Das alleinige Feststellen, ob NORM-Rückstände in Deutschland auftreten, genügt jedoch nicht. Die Industrieproduktion ist veränderlich. Daher beobachtet das BfS, ob durch veränderte Industrieprozesse oder durch die Verwendung von anderen Rohstoffen die Entstehung von NORM-Rückständen beeinflusst wird. Dieses Wissen ist zur fachlichen Beratung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) insbesondere bei der aktuellen Umsetzung der neuen europäischen Grundnormen im Strahlenschutz notwendig.

In Geothermie-Anlagenteilen können sich durch veränderte Temperatur- und Druckverhältnisse verschiedene Salze und Minerale bilden und sich wie Kesselstein ablagern, wobei auch das radioaktive Element Radium enthalten sein kann.



# Freigabe

Der Einstieg in den Ausstieg hat begonnen und damit auch der Rückbau der Anlagen. Doch der Abriss so vieler Kernkraftwerke stellt eine große Herausforderung dar. Die Vorstellung von der strahlenden Altlast, die Stein für Stein in ein Endlager verbracht werden muss, ist weit verbreitet. Aber ist sie auch zutreffend?

Klar ist: Der hochradioaktive Kernbrennstoff muss mit allergrößter Vorsicht aus dem Reaktorkern entfernt und weiter überwacht werden. Gleiches gilt für die hochverstrahlten Anlagenteile aus dem Reaktorkern. Solche Materialien sind oft nicht wiederzuverwenden und müssen schließlich in ein Endlager. Aber eine Maschinenhalle, ein Bürogebäude, ein Labor – wirklich alles radioaktiv?

Auch außerhalb der Kerntechnik fallen tagtäglich Materialien an, deren Strahlenexposition für den Menschen durch Zerfall schließlich weit unter jene aufgrund natürlicher Strahlenquellen sinkt. Und die Verwendung radioaktiver Materialien ist in einer modernen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken, sei es in der Medizin, in der Industrie oder in Wissenschaft und Technik.

Ionisierende Strahlung ist für den Menschen gefährlich. Wo es strahlt, ist grundsätzlich Vorsicht und Sachverstand und nicht zuletzt der Gesetzgeber gefragt. Nicht jeder darf mit radioaktiven Stoffen arbeiten und nicht überall darf mit radioaktiven Stoffen gearbeitet werden. Jedoch kann auch in einem Kontrollbereich die Radioaktivität eines Stoffes mit der Zeit so weit abgeklungen sein, dass eine weitere strenge Überwachung nicht mehr zu rechtfertigen ist. Dabei wird in rechtlich klar definierter Weise entschieden, ab wann dies der Fall ist. Dieser Vorgang heißt Freigabe. Denn der entsprechende Stoff kann hiernach im günstigsten Fall frei von jeder Einschränkung wieder verwendet werden. Das Mittel der Freigabe schont damit auch Ressourcen. Nicht alle Bürgerinnen und Bürger sind mit der Freigabe einverstanden, obwohl sie in der Bundesrepublik streng reglementiert ist und ihre Grundlagen international fachlich etabliert sind.

### „Clearance To Go“ – Freigabe für Eilige

Alle Radionuklide haben die Eigenschaft zu zerfallen, weswegen langfristig die Strahlung radioaktiver Stoffe zurückgeht. Einige zerfallen fast unmessbar schnell, andere so langsam, dass dies sogar während mehrerer Menschenleben praktisch keine Rolle spielt. Wieder andere Radionuklide sind in verschwindend kleinen Konzentrationen in Stoffen vorhanden. In beiden Fällen kann es passieren, dass der Unterschied zwischen Stoffen, für die ursprünglich eine Genehmigung im Sinne des Atomgesetzes

bzw. der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nötig war und nicht radioaktiven Stoffen marginal wird. Sowohl in der Kerntechnik als auch im industriellen (z. B. bei der Materialprüfung) oder medizinischen Bereich (in der Nuklearmedizin oder der Krebstherapie) muss es daher ein wissenschaftlich und rechtlich abgesichertes Verfahren geben, mit dem die radiologische Unbedenklichkeit eines Stoffes ermittelt und festgestellt wird, der vorher einer solchen Genehmigung bedurfte.

Als Schutzziel bei der Freigabe ist sicherzustellen, dass sich hierdurch für Einzelpersonen der Bevölkerung allenfalls eine vernachlässigbare effektive Dosis ergibt.

Es ist international wissenschaftlich etabliert, dass eine solche Dosis dann höchstens im Bereich von 10 Mikrosievert pro Jahr liegen darf. Die entsprechenden Restaktivitäten im freizugebenden Stoff (ausgedrückt z. B. in Becquerel pro Gramm Material) haben sich hiernach auszurichten. Man spricht von Freigabewerten. Freigabewerte sind in Deutschland bundeseinheitlich in der StrlSchV vorgegeben oder müssen per Einzelfallnachweis so erbracht werden, dass die Einhaltung des Schutzziels von 10 Mikrosievert pro Jahr nachgewiesen wird. Zum Vergleich: Die jährliche Strahlenbelastung aufgrund natürlicher Strahlenquellen, also solcher, die ohnehin immer um uns herum anzutreffen sind, ist im Mittel über hundert Mal höher.

Die neuen Euratom-Grundnormen fordern bei Freigaben ebenfalls die Einhaltung des Schutzziels von 10 Mikrosievert pro Jahr. Hierfür stellen sie z. B. einen neuen Wertesatz an Aktivitätskonzentrationen zur Verfügung, welcher aller Voraussicht nach von der Bundesrepublik übernommen werden wird. Für einige Radionuklide werden durch diese Modernisierung entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik Freigabewerte voraussichtlich restriktiver werden. Das ist ein Plus an Sicherheit.

Federführendes Ressort für die Umsetzung der Euratom-Grundnormen in deutsches Recht ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Die Erarbeitung der Regelungen ist fachlich und juristisch aufwendig. Wissenschaftlich vorbereitet wurde dieser Prozess bereits im Vorfeld der Gesetzgebung. So wurden wichtige Expositionsszenarien hinter den neuen Freigabewerten vom BfS mittels komplexer Computersimulationen auf Herz und Nieren geprüft und ihr fachlich hohes Niveau nach dem Stand von Wissenschaft und Technik bestätigt. Aber auch im Umsetzungsprozess selbst, d. h. bei der Entwicklung von Gesetzes- und Verordnungstexten, steht das BfS dem BMUB mit Rat und Tat zur Seite.



**Dr. Bernd Rehs** ist Physiker und seit dem Jahr 2001 im Bundesamt für Strahlenschutz. Er leitet seit dem Jahr 2007 das Fachgebiet Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Zu seinen Aufgaben gehört die fachliche Unterstützung des BMUB in diesem Themenbereich. Ferner nimmt Dr. Rehs an verschiedenen nationalen und internationalen Gremien zum Thema Stilllegung kerntechnischer Anlagen teil.

**Dr. Rainer Merk** ist Physiker und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit mathematischer Modellierung mittels Computern. Seit dem Jahr 2008 befasst er sich im Bundesamt für Strahlenschutz im Fachgebiet Radioökologie mit einem breiten Themenspektrum, zu dem auch der Bereich Freigabe gehört. Weitere Themen sind die Ausbreitung von Radionukliden im Grundwasser sowie Fälle von Radioaktivität in Metallschrott und Stahl.



# Freigabe beim Rückbau von Kernkraftwerken

## Was ist Freigabe?

Über Endlagerung wurde und wird viel gestritten, diskutiert und publiziert. Der Atomausstieg ist beschlossen und weitgehend Konsens. Aus dem Rückbau der Kernkraftwerke resultieren radioaktive Abfälle, die in einem Endlager entsorgt werden müssen. Doch wird eigentlich nach dem Abriss überhaupt der überwiegende Teil eines Kernkraftwerks in einem Endlager entsorgt werden müssen?

Beispielsweise muss ein Bürostuhl aus dem Kontrollbereich eines Kernkraftwerks möglicherweise nicht konditioniert und in tiefen geologischen Schichten endgelagert werden. Umgekehrt dürfen radioaktiv kontaminierte Handschuhe aus dem Labor keinesfalls in den konventionellen Abfall gelangen. Die Freigabe bildet das juristische Rückgrat zur Feststellung der radiologischen Unbedenklichkeit. Das Recht gibt den Rahmen staatlichen Handelns vor, basiert hier selbst jedoch wesentlich auf naturwissenschaftlichen Begründungen, dem derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik. Die Weiterentwicklung der Regelungen zur Freigabe entsprechend diesem Wissensstand erfolgt durch Fachleute im Strahlenschutz. Sie werden anschließend in Gesetzes- und Verordnungsform gebracht. Die Regelungen zur Freigabe werden in Deutschland auf Länderebene im praktischen Vollzug umgesetzt. Es ist dabei wichtig festzuhalten, dass diese Regelungen auf den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Strahlenschutzes basieren, über die international unter Wissenschaftlern mehrheitlich Konsens besteht. Dies gilt insbesondere für den anzuwendenden Begriff der jährlichen effektiven Dosis an sich und für die Höhe des Dosiskriteriums, auf dem die Freigabewerte basieren.

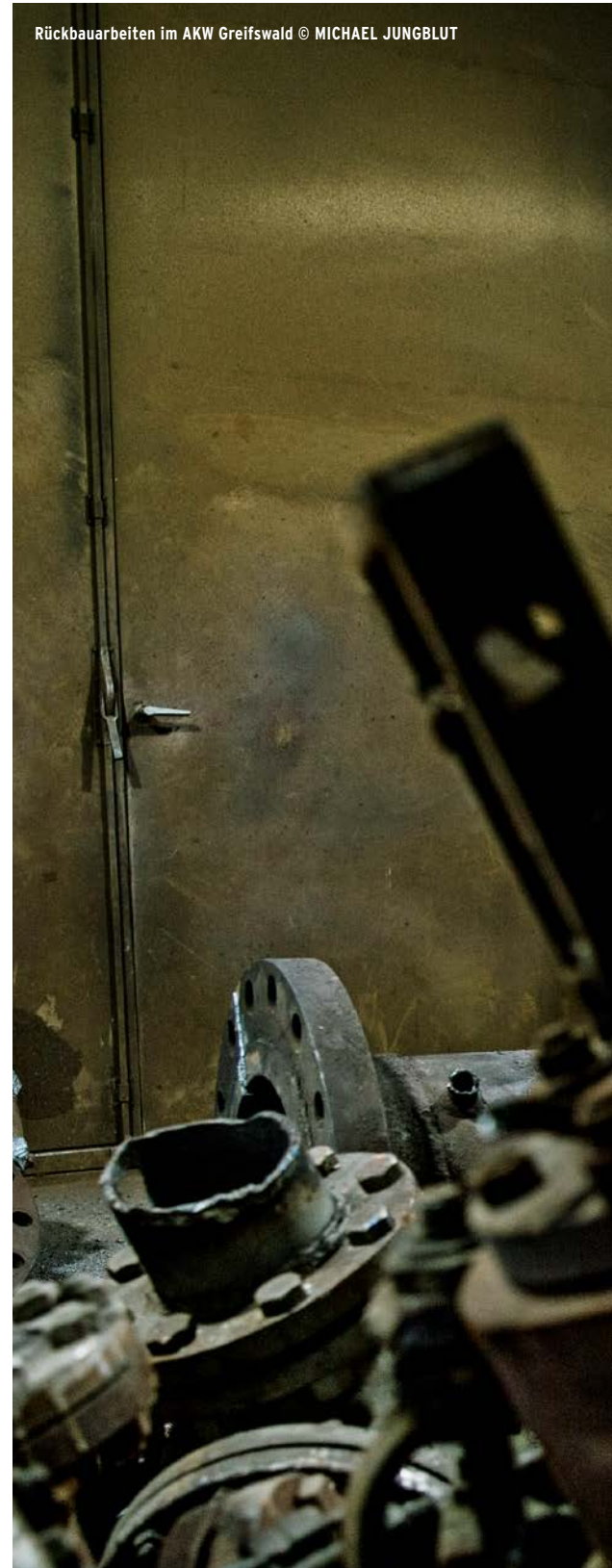
## Wo also liegt die Grenze zwischen radioaktiv und nicht radioaktiv?

Viele Bürgerinnen und Bürger sind verunsichert, wenn auf der Basis eines Dosiskriteriums und von Messungen eine solche Schwelle festgelegt wird. In der Bundesrepublik geschieht dies seit vielen Jahren im Rahmen der Freigabe. Das der Freigabe zugrundeliegende Dosiskriterium liegt bei 10 Mikrosievert pro Jahr für Einzelpersonen in der Bevölkerung. „Sehr schwach“ radioaktives Material kann demnach freigemessen und z. B. in den konventionellen Stoffkreislauf entlassen werden. Das schont Ressourcen, z. B. bei wertvollen Metallen, und vermeidet eine unnötige Beanspruchung von Zwischenlager- oder später Endlagerkapazitäten.

## Ohne Messung keine Freigabe

Beim Rückbau eines Kernkraftwerkes fallen Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute radioaktive Anlagenteile an, die entweder schadlos verwertet oder als radioaktiver Abfall geordnet beseitigt werden müssen. Nur wenige Prozent der Gesamtmasse des Kontrollbereichs eines Kernkraftwerks müssen als radioaktiver Abfall entsorgt werden – man geht von ca. 5.000 Tonnen radioaktiver Abfall pro Kernkraftwerk aus. Der weitaus größte Teil der entstehenden Rückbaumassen kann durch ein Freigabeverfahren der schadlosen Verwertung zugeführt werden. Beim Rückbau eines Kernkraftwerkes fallen über viele Jahre Rückbaumassen in erheblichem Umfang an, die einem Freigabeverfahren unterzogen werden. Deshalb sind bei Rückbauprojekten die Vorkehrungen für die Freigabe ein wichtiger Bestandteil des Reststoff- und Abfallmanagements.

Rückbauarbeiten im AKW Greifswald © MICHAEL JUNGBLUT





Durch die Anwendung eines Freigabeverfahrens bei Rückbauprojekten ist es möglich, dass nur wenige Prozent der Gesamtmasse eines Kernkraftwerkes als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen.





Freimessanlage am Standort Greifswald © EWN GMBH

Die Freimessung wird so durchgeführt, dass die Aktivität des Materials bestimmt und dabei nicht unterschätzt werden kann.

### **Radioaktivität in einem abgeschalteten Kernkraftwerk**

In einem abgeschalteten Kernkraftwerk, aus dem der Kernbrennstoff bereits entfernt wurde, liegen die Aktivitäten zum einen in Form von durch Neutronenbestrahlung aktiviertem Material vor, d. h. die Aktivität ist fest in das Material in der Nähe des Reaktorkerns eingebunden. Diese Materialien müssen meist dem radioaktiven Abfall zugeordnet werden. Zum anderen liegen die Aktivitäten in Form von Kontaminationen auf Oberflächen von Komponenten und Gebäuden vor. Diese können in der Regel mittels Dekontamination (mechanisch oder chemisch) weitgehend von der Aktivität befreit und dann dem Freigabeverfahren zugeführt werden. Die dominierenden Nuklide in Leichtwasserreaktoren sind die gut messbaren und vergleichsweise kurzlebigen Beta-/Gamma-Strahler Kobalt-60 (Co-60) und Cäsium-137 (Cs-137). Durch die Festlegung von repräsentativ vorkommenden Radionukliden zusammen mit der Angabe von prozentualen Aktivitätsanteilen für diese Radionuklide (Nuklidvektoren) wird beim Freigabeverfahren für die verschiedenen Anlagenbereiche die Aktivität der Einzelnuclide ermittelt.

### **Freigabemessungen sind Pflicht**

Es fallen beim Rückbau in größerem Maße Bauschutt aus dem Abriss von Gebäudestrukturen, Metalle, Isoliermaterialien und Kabel sowie Bodenaushub an. Durch radiologische Voruntersuchungen werden die räumliche Verteilung der Kontamination oder Aktivierung sowie die relevanten Radionuklide bestimmt, um eventuell notwendige Behandlungsschritte und die für die Freigabe anwendbare Messtechnik festzulegen. Dann werden die Materialien erforderlichenfalls vorsortiert, in eine handhabbare Größe zerlegt und dekontaminiert. Schließlich erfolgt die für eine Freigabe entscheidende Messung des jeweiligen Materials. Hierbei muss nachgewiesen werden, dass das Material die für die Freigabe geltenden Kriterien erfüllt und es der jeweiligen Verwendung, Verwertung oder Beseitigung zugeführt werden kann.

### Freimessanlagen ermöglichen hohe Massendurchsätze

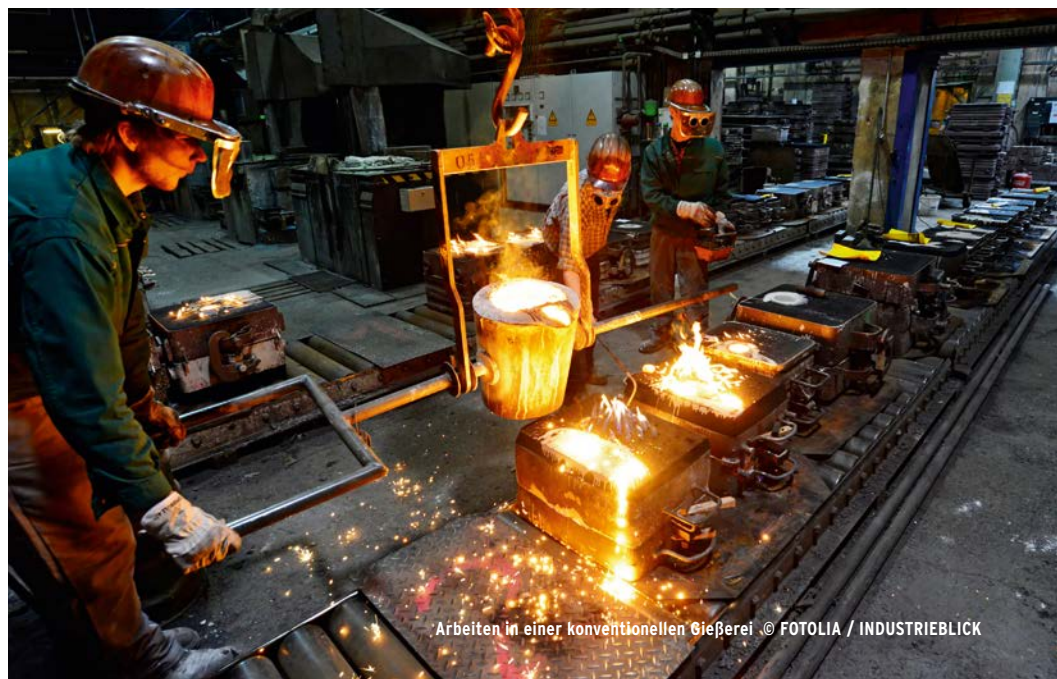
Ist eine Freigabe nicht zu erreichen, wird das Material ausgesondert und dem radioaktiven Abfall zugeführt. Für die Freimessungen stehen eine Reihe von Messverfahren zur Verfügung. Zur Bewältigung der beim Rückbau auftretenden hohen Massendurchsätze werden Freimessanlagen verwendet, bei denen das Messgut in Gitterboxen in eine Messkammer gebracht wird und die Messung dort mit großflächigen, sehr empfindlichen Detektoren durchgeführt wird. Hierbei ist der jeweilige Messablauf weitgehend automatisiert. Freimessanlagen sind sehr gut geeignet, die Einhaltung massenbezogener Freigabewerte bei hohen Durchsätzen nachzuweisen. Zum Nachweis der Einhaltung oberflächenbezogener Freigabewerte werden Kontaminationsmessgeräte verwendet.

Zum Nachweis schwer messbarer Nuklide kann es notwendig sein, dem Material Proben zu entnehmen, die mit speziellen Verfahren im Labor ausgemessen werden. Ferner kommt zur Freigabemessung an Gebäudeoberflächen oder auf Anlagenflächen des Standortes die In-situ-Gammaspektrometrie zum Einsatz. Hierbei wird ein für Gammastrahlung empfindlicher Detektor gegen die zu messende Fläche gerichtet, wobei nur ein bestimmter Raumbereich erfasst wird (mittels eines sog. Kollimators). Da Gammastrahlung Materie durchdringen kann, werden mit dieser Messmethode auch in das Material eingedrungene Aktivitäten erfasst. Bei der Freigabe von Gebäuden zum Abriss soll die Freigabemessung grundsätzlich an der stehenden Struktur erfolgen. Der beim nachfolgenden konventionellen Abriss des Gebäudes entstehende Bauschutt bedarf dann keiner gesonderten Freimessung.

### Metallschrott kann eingeschmolzen werden

Die Strahlenschutzverordnung sieht zum Einschmelzen von Metallschrott (sogenannte Rezyklierung) eigene Freigabewerte vor. Für radioaktives Material, welches auch nach erfolgter Dekontamination noch oberhalb der Freigabewerte liegt, wird bei Rückbauprojekten häufig eine Abklinglagerung in Betracht gezogen. Hierbei wird das Material über einen längeren Zeitraum gelagert, bis die vorhandene Aktivität durch radioaktiven Zerfall soweit abgenommen hat, dass danach u. U. eine Freigabe erreicht werden kann. Seit einigen Jahren wird auch für Großkomponenten aus Kernkraftwerken (z. B. Reaktordruckbehälter und Dampferzeuger) die Abklinglagerung praktiziert.

Eine für den Rückbau von Kernkraftwerken wichtige Freigabeoption ist das Einschmelzen von Metallschrott in einem konventionellen Stahlwerk oder einer Gießerei.



# Die Situation in Deutschland und Europa

## Neue Gesetzgebung durch die Euratom-Grundnormenrichtlinie

Den rechtlichen Rahmen für die Freigabe bei Rückbauprojekten bildet § 29 der Strahlenschutzverordnung. Der Ablauf der Freigabe ist behördlich geregelt. Die zuständige atomrechtliche Landesbehörde prüft, ob die Schritte des bei einem Rückbau geplanten Verfahrens und die eingesetzte Messtechnik für das Freigabeverfahren geeignet sind. Durch die aufsichtliche Kontrolle stellt die Behörde sicher (z. B. durch Stichprobenmessungen zusätzlich zu den Messungen des Betreibers), dass das freizugebende Material die für die Freigabe geltenden Kriterien gemäß Strahlenschutzverordnung erfüllt.

In den kommenden Jahren werden in der Bundesrepublik Deutschland die neuen Euratom-Grundnormen bei der Freigabe in nationales Recht umzusetzen sein. Die Umsetzung ist derzeit sogar schon in vollem Gange, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erarbeitet unter Beteiligung des BfS neue Regelungstexte in Absprache mit den Bundesländern. Die Bürgerinnen und Bürger werden von der Umsetzung der Euratom-Grundnormen auch im Bereich der Freigabe profitieren. Nicht nur werden freigabe-relevante Teile der Strahlenschutzverordnung erneut auf den Prüfstand gestellt und Freigabewerte teilweise restriktiver. Vielmehr werden aller Voraussicht nach auch der Eingang eines Stoffes in die atomrechtliche Überwachung (über Freigrenzen) und die Entlassung eines Stoffes aus der Überwachung (durch Freigabe) harmonisiert werden. Die jetzige Entwicklung ist aus Sicht des Strahlenschutzes begrüßenswert.

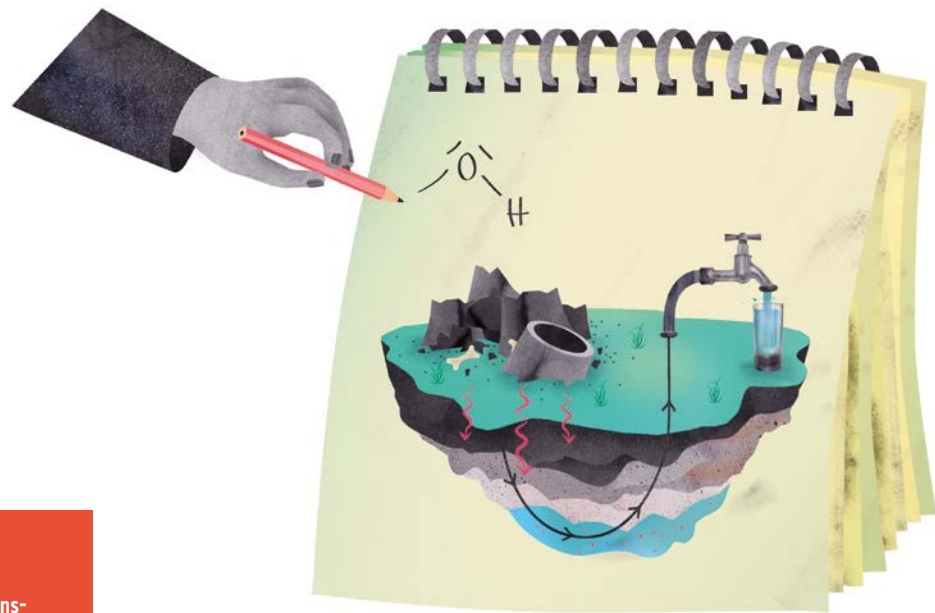
## Strahlenschutz für die Welt – Standards der IAEA als Grundlage

Europa bedeutet nicht ausschließlich Brüssel. Manchmal kommt Europa auch aus Wien: Die Freigaberegulungen der neuen Euratom-Grundnormen im Strahlenschutz basieren wesentlich auf einer Empfehlung der Internationalen Atomenergie Organisation (International Atomic Energy Agency, IAEA) mit Sitz in Wien. Diese Empfehlung, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance (SR 44), soll nicht nur den Menschen in Europa Sicherheit bei der Freigabe geben, sondern weltweit allen Menschen. Den Euratom-Grundnormen, der IAEA-Empfehlung SR 44 und der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland ist dabei der Grundsatz gemeinsam, dass Freigaben bei Einzelpersonen der Bevölkerung allenfalls zu jährlichen effektiven Dosen im Bereich von 10 Mikrosievert führen dürfen. Solche Dosen liegen weit unterhalb der natürlichen Strahlenexposition. Das strenge Dosis-kriterium wird eingehalten, wenn freigegebenes Material nur Radionuklide unterhalb genau berechneter Aktivitätswerte enthält, den sogenannten Freigabewerten (meist in der Einheit Becquerel pro Gramm).

## Freigeben und das war's?

In der Bundesrepublik ist die Freigabe ein wissenschaftlich begründetes juristisches Verfahren im Zuständigkeitsbereich der Bundesländer. Die Rahmenbedingungen für die Freigabe sind bundeseinheitlich geregelt. Die hierfür maßgebliche Vorschrift ist § 29 StriSchV. Die Freigabe umfasst die uneingeschränkte Freigabe, die zweckgerichtete Freigabe (Freigabeoptionen) und den Einzelfallnachweis. Die Freigabewerte basieren auf Modellrechnungen, die sicherstellen, dass durch die Freigabe für eine Einzelperson der Bevölkerung Strahlenexpositionen allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert pro Jahr auftreten können. Dieser Wert ist weltweit als vernachlässigbare (triviale) Dosis fachlich anerkannt. Die Erfüllung des Dosiskriteriums ist garantiert, wenn die Freigabewerte im freizugebenden Material eingehalten werden. Bei der uneingeschränkten Freigabe unterliegt das Material hiernach keinerlei Einschränkungen mehr. Voraussetzung für die zweckgerichtete Freigabe ist es, den Stoff nach der Freigabe einem bestimmten Verwertungs- oder Entsorgungspfad zuzuführen.





## Wasserpfad

Radionuklide können über wassergebundene Transportprozesse zum Menschen gelangen. Berechnet man die hierdurch resultierende Strahlenbelastung in einem Expositionsszenario, spricht man häufig auch vom Wasserpfad. Ein häufig untersuchter Wasserpfad verläuft über das Grundwasser. Entgegen der landläufigen Vorstellung fließt Grundwasser mit beispielsweise 1 Meter pro Tag eher relativ langsam im Vergleich zu Flusswasser. Außerdem durchsetzt das Grundwasser das poröse Material des Untergrundes. Das macht die Berechnung der Fließbewegung und damit des Transports der Radionuklide schwierig. Die Radionuklide können zudem auch dem porösen Material des Untergrundes anhaften (Sorption) und demgemäß erst verzögert beim Menschen ankommen. Kompliziert wird dieser Sachverhalt zusätzlich dadurch, dass die Sorption je nach Radionuklid und Untergrundmaterial sehr verschieden stark ausgeprägt sein kann. Eine Maßzahl hierfür ist der sogenannte Kd-Wert. Geringere Kd-Werte bedeuten geringere Sorption, höhere Konzentration eines Radionuklids im Grundwasser und dementsprechend schnelleren Transport. Transportberechnungen zum Wasserpfad können über aufwendige Computersimulationen erstellt werden. Zum Beispiel hat das BfS solche Simulationen zur Auslaugung von Radionukliden aus einer Bauschuttdeponie durchgeführt. Das Ergebnis ist die Radionuklidkonzentration in Einheiten von Becquerel pro Liter an einem Entnahmebrunnen im Zeitverlauf von Jahren. Es zeigt sich ein sehr unterschiedlicher zeitlicher Verlauf je nach Radionuklid, wobei der Kd-Wert eine entscheidende Einflussgröße darstellt. Auf diese Weise lässt sich auch der Einfluss verschiedener Kd-Werte im Computermodell testen.

## Sicherere Entscheidungen durch Modellberechnungen: Radiologische Expositionsszenarien

Die Berechnung von Freigabewerten basiert auf der Annahme von verschiedenen Expositionsszenarien. Beim Szenario des sogenannten Wasserpfads könnte freigegebener Bauschutt aus dem Rückbau von Kernkraftwerken auf einer konventionellen Deponie oberflächennah entsorgt werden. Etwaige noch vorhandene Radionuklide könnten somit durch eindringendes Regenwasser aus dem Bauschutt ins Erdreich und anschließend auch in das Grundwasser ausgewaschen werden. Sie könnten in das Trinkwasser oder über die Beregnung landwirtschaftlicher Flächen in Lebensmittel gelangen und zu einer Strahlenbelastung beitragen.

Viele geographisch unterschiedliche Regionen gleichzeitig zu schützen, ist dabei eine Herkulesaufgabe. Denn wo es beispielsweise in einem Land scheinbar Regen im Überfluss gibt, ist Wasser in einem anderen Staat absolute Mangelware. Wie soll man auf diese Weise ein Ökosystem modellieren? Es gelingt nur, wenn der Strahlenschutz dabei am Ende überall auf der Erde „auf der sicheren Seite“ steht. In diesem Sinne sind Modelle und Werte der Empfehlung SR 44 konservativ. Das bedeutet, sie gelten in einer Strenge, die für viele Staaten entbehrlich wäre. Gerade am Wasserpfad lässt sich dies gut verfolgen. Die Empfehlung SR 44 enthält ein robust gebautes hydrologisches Modell für den Wasserpfad der Radionuklide, das aufgrund seiner Wichtigkeit auch vom BfS eingehend auf seine wissenschaftlichen Grundlagen hin untersucht wurde.



# Notfallschutz

In der Geschichte der zivilen Nutzung der Kernenergie kam es neben Störungen und Störfällen auch zu schweren Unfällen in kerntechnischen Anlagen mit erheblichen Auswirkungen auf Mensch, Natur und Umwelt, wie 1986 in Tschernobyl und 2011 in Fukushima.

Durch einen nuklearen Unfall können radioaktive Substanzen in stark erhöhtem Maße freigesetzt werden. Dies kann große Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt haben. Kommt es in Deutschland oder dem unmittelbar benachbarten Ausland zu einer Notfallsituation, bei der größere Mengen an radioaktiven Stoffen in die Umwelt freigesetzt werden, greifen Notfallpläne mit Maßnahmen zum Schutz vor radiologischen Gefahren.

### Wie wird die Bevölkerung bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk oder bei anderen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen geschützt?

Ziel ist es, die Strahlenbelastung (Dosis) der Bevölkerung so weit zu begrenzen, dass keine schweren, direkten Strahlenschäden auftreten und höchstens ein – im Vergleich zur natürlichen Krebsrate – geringes zusätzliches Krebsrisiko entsteht. Zum anderen müssen aber auch die negativen Effekte von Maßnahmen für die Bevölkerung berücksichtigt werden (Gesundheitsgefahren für die Bevölkerung während und nach einer Evakuierung).

### Die neuen Euratom-Grundnormen enthalten konkrete Anforderungen an den Notfallschutz in den Mitgliedsländern:

- » Das derzeitige auf Interventionsschwellen basierende Konzept soll durch ein umfassenderes System ersetzt werden, das Referenzwerte, eine Bewertung potenzieller Notfall-Expositionssituationen, ein Gesamtnotfallmanagementsystem, Notfallpläne sowie im Voraus geplante Strategien für den Umgang mit postulierten Ereignissen umfasst.
- » Die effiziente Bewältigung eines Notfalls mit grenzüberschreitenden Folgen erfordert eine stärkere Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedsstaaten bei Notfallplanung und -reaktion.

## Das BfS hat zahlreiche Aufgaben im radiologischen Notfallschutz, wie z. B.:

- » Beteiligung am radiologischen Lagezentrum des Bundes.
- » Ermittlung und Darstellung der radiologischen Lage.
- » Dosisabschätzung, Abschätzung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen.
- » Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Notfallübungen.
- » Entwicklung von Notfallplänen.
- » Betrieb und Weiterentwicklung des Integrierten Mess- und Informationssystems des Bundes IMIS und weiterer Notfallsysteme.
- » Überwachung der Umwelt mit radiologischen Messnetzen.
- » Bereitstellung von land- und luftgestützten mobilen Messsystemen sowie von spezialisierten Laboren.



**Dr. Florian Gering** und seine acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am BfS-Standort Neuherberg sind federführend zuständig für die Ermittlung der Lage bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk oder anderen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen in die

Umwelt. Für diesen Zweck betreiben und entwickeln sie verschiedene Computersysteme, z. B. zur Simulation der Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre und zur Dosisabschätzung. Florian Gering hat Physik (in Deutschland und den USA) studiert und ist seit mehr als 20 Jahren im radiologischen Notfallschutz tätig, seit 5 Jahren verantwortlich für das Team zur Lageermittlung. Er ist Mitglied in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien wie z. B. der internationalen Expertengruppe von UNSCEAR zur Folgenabschätzung des Unfalls in Fukushima.

# Grundsatzfragen des Notfallschutzes

## Wie wird die Bevölkerung bei einem kerntechnischen Unfall geschützt?

Kommt es in Deutschland oder dem unmittelbar benachbarten Ausland zu einer Notfallsituation, bei der größere Mengen an radioaktiven Stoffen in die Umwelt freigesetzt werden, greifen Notfallpläne mit Maßnahmen zum Schutz vor radiologischen Gefahren.

Die Konzepte für den Schutz der Bevölkerung bei derartigen Vorfällen haben das Ziel, die Strahlenbelastung (Dosis) der Bevölkerung so weit zu begrenzen, dass keine schweren, direkten Strahlenschäden auftreten und höchstens ein – im Vergleich zur natürlichen Krebsrate – geringes zusätzliches Krebsrisiko entsteht. Zum anderen müssen aber auch die negativen Effekte von Maßnahmen für die Bevölkerung berücksichtigt werden (Gesundheitsgefahren für die Bevölkerung während und nach einer Evakuierung). Das heißt, es sollen zur jeweiligen Notfallsituation nur die jeweils am besten geeigneten und gerechtfertigten Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Bestandteile des Notfallschutzes bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk dargestellt.

## Wie wird die Bevölkerung bei einem kerntechnischen Unfall alarmiert?

Die Bevölkerung ist bei Eintritt eines kerntechnischen Unfalls zu warnen und über seine möglichen Folgen zu unterrichten. Schon bei Voralarm muss die Bevölkerung Informationen und Anweisungen über geeignetes Schutzverhalten erhalten. Die Warnung der betroffenen Bevölkerung erfolgt durch Sirensignale (eiminütiger Heulton zur Warnung der Bevölkerung bei besonderen Gefahrenlagen wie z. B. einem Zwischenfall in einem Kernkraftwerk) oder andere geeignete Mittel, die eine Weckfunktion besitzen (z. B. Lautsprecherdurchsagen). Gleichzeitig muss die Bevölkerung rasch und wiederholt mit amtlichen Mitteilungen über alle verfügbaren Medien unterrichtet werden. Es werden zwei Alarmstufen unterschieden, nämlich *Voralarm* und *Katastrophenalarm*.

Werden größere Mengen an radioaktiven Stoffen in die Umwelt freigesetzt, greifen Notfallpläne mit Maßnahmen zum Schutz vor radiologischen Gefahren.





Die vom BfS betriebenen Prognoseprogramme liefern die Grundlage für Empfehlungen für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung.



### Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung

Die wichtigsten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt sind:

- » Die Evakuierung nach vorbereiteten Plänen als einschneidende aber auch wirkungsvolle Schutzmaßnahme, insbesondere wenn sie vor Durchzug der radioaktiven Wolke erfolgt.
- » Die Verteilung und Einnahme von Jodtabletten zur Minderung der Strahlenbelastung der Schilddrüse.
- » Die Aufforderung zum Aufenthalt in Gebäuden zum Schutz gegen die radioaktive Strahlung.
- » Die Warnung der Bevölkerung vor dem Verzehr frisch geernteter Lebensmittel und von Frischmilch.

*Voralarm* wird ausgelöst, wenn bei einem Ereignis in der kerntechnischen Anlage bisher noch keine oder nur eine im Vergleich zu den Auslösekriterien für Katastrophenalarm geringe Auswirkung auf die Umgebung eingetreten ist, jedoch aufgrund des Anlagenzustandes nicht ausgeschlossen werden kann, dass Auswirkungen, die den Auslösekriterien für Katastrophenalarm entsprechen, eintreten könnten.

*Katastrophenalarm* wird ausgelöst, wenn bei einem Unfall in der kerntechnischen Anlage eine gefahrbringende Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung festgestellt ist oder droht.

### Welche Gebiete können betroffen sein?

Bei einem Kernkraftwerksunfall muss der Betreiber die zuständigen Landesbehörden umfassend über die technischen Details des Unfalls informieren. Mit diesen Daten lässt sich näherungsweise ermitteln, welche radioaktiven Stoffe in welchen Mengen aus dem Kraftwerk austreten könnten. Diese Abschätzung heißt Quellterm. Eine Prognose für den Quellterm soll bereits erstellt werden, bevor radioaktive Stoffe aus dem Kraftwerk in die Umwelt gelangen. Aus dem Quellterm und der aktuellen Wetterprognose kann das BfS mit Entscheidungshilfesystemen (RODOS, Real-time Online Decision Support System; LASAIR, Programmsystem zur Simulation der Ausbreitung und Inhalation von Radionukliden) prognostizieren,

- » welche Gebiete von einer radioaktiven Wolke betroffen sein werden,
- » wann die Wolke ein Gebiet erreichen wird,
- » welche Strahlenbelastung für die Bevölkerung in den betroffenen Gebieten entsteht, wenn keine Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Die vom BfS betriebenen Entscheidungshilfesysteme liefern die Grundlage für Empfehlungen für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Die Entscheidung, ob und welche Schutzmaßnahmen eingeleitet werden, liegt dann bei den Katastrophenschutzbehörden der Bundesländer.

### Wie hoch ist die Strahlenbelastung vor Ort?

Mit Hilfe von 1.800 ODL-Messsonden (ODL = Ortsdosisleistung), die deutschlandweit die Radioaktivität messen, kann das BfS die Strahlenbelastung in jedem Gebiet ermitteln. Die Sonden messen rund um die Uhr die Radioaktivität in der Umwelt. Breitet sich eine Wolke anders aus als prognostiziert, zeigen die Messungen der ODL-Sonden dies gewissermaßen in Echtzeit an. Die Prognose wird auf der Basis dieser Daten fortlaufend aktualisiert. Nach dem Durchzug einer radioaktiven Wolke führen das BfS und Behörden der Bundesländer genauere Messungen in betroffenen Gebieten durch. Dazu nutzen das BfS und die Landesbehörden mehrere Messfahrzeuge für Messungen vor Ort.

Mitarbeiter von eingerichteten Notfallstationen können messen, ob Personen radioaktiv kontaminiert wurden. Wenn nötig, können sie die Kontamination entfernen.



Die bundesweiten Messnetze von BfS und DWD erheben ständig Daten für die Dosisrekonstruktion. Mobile Messtrupps und Hubschrauber-Messungen liefern zusätzlich Daten.



### Wie werden betroffene Personen betreut?

Bei einem radiologischen Unfall richten die Bundesländer in den betroffenen Gebieten Notfallstationen ein. Dort können sich Betroffene registrieren und beraten lassen. Die Mitarbeiter der Notfallstationen können messen, ob Personen radioaktiv kontaminiert wurden, also radioaktive Partikel auf der Kleidung oder der Haut tragen. Wenn nötig, kann die Kontamination dort entfernt werden. Meist reicht es, die Kleidung abzulegen und zu entsorgen und sich selbst gründlich zu waschen. Neben der Dekontamination erfolgt in der Notfallstation auch eine Dosisabschätzung sowie eine strahlenmedizinische Beurteilung durch speziell fortgebildete Ärzte, um die Betroffenen, die einer weiteren ärztlichen Behandlung bedürfen, zu betreuen. Aufgrund der Ergebnisse der Kontaminationsmessung und der Dosisabschätzung entscheiden die Ärzte auch, ob eine Messung der Menge der im Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe sinnvoll ist. Falls ja, dann verweisen sie die betroffenen Personen auf eine darauf spezialisierte Inkorporationsmessstelle (z. B. im Bundesamt für Strahlenschutz). Gleichzeitig bildet die Notfallstation den Startpunkt des Gesundheitsmonitorings der Betroffenen. Ziel ist es, langfristig die gesundheitliche Entwicklung der Betroffenen zu beobachten und zu dokumentieren.

### Wie wird die Strahlenbelastung der Bevölkerung abgeschätzt?

In den Notfallstationen soll für jede einzelne Person, die die Notfallstation durchläuft, die gesamte Körperdosis aus den Dosisbeiträgen an den verschiedenen Aufenthaltsorten des Betroffenen und der jeweiligen Aufenthaltszeit und -dauer abgeschätzt werden (effektive Dosis aus äußerer Bestrahlung und Inhalation, ggf. Teilkörperdosis Schilddrüse). Für die Dosisabschätzung werden je nach Bundesland Software-Tools oder manuelle Methoden verwendet. Auch die für die Abschätzung erforderlichen Dosisdaten werden mit verschiedenen Programmen, z. B. für Ausbreitungsrechnungen bereitgestellt.

Es wird empfohlen, dass künftig für die Dosisabschätzung in den Notfallstationen einheitlich Berechnungen mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS herangezogen werden. Daher entwickelt das BfS derzeit eine Ergänzung für das bereits operationell eingesetzte RODOS-System, das eine schnelle und individuelle Dosisrekonstruktion erlauben wird. Es dient der Ermittlung der individuellen Dosis, die Einzelpersonen in der Zeit vom Beginn des Unfalls bis zum Erreichen der Notfallstation erhalten haben.

Als Datenbasis für die Dosisrekonstruktion dienen Messungen der Ortsdosisleistung, der Deposition (Ablagerung) und der Aktivitätskonzentration in verschiedenen Medien. Die bundesweiten Messnetze des BfS und des Deutschen Wetterdienstes erheben diese Daten rund um die Uhr. Mobile Messtrupps und Hubschrauber-Messungen liefern zusätzlich ergänzende Daten zwischen den ortsfesten Stationen.

Aus diesen Informationen berechnet RODOS dann den Zeitverlauf der Dosisleistung mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung. Das Vorgehen für die Berechnung ist abhängig von der vorhandenen Datenbasis und der aktuellen Unfallphase. Die Kombination der zeit- und ortsabhängigen Dosisleistung mit den Bewegungsmustern der Einzelpersonen liefert dann die individuellen Dosiswerte. Die Einsatzkräfte in den Notfallstationen erfragen die Aufenthaltsorte und ggf. angewendeten Schutzmaßnahmen der Einzelpersonen und tragen diese Informationen in eine grafische Oberfläche des Systems ein. Die Berechnungen laufen dann auf einem zentralen Server im BfS und dieser meldet die Ergebnisse an die Notfallstationen zurück.

## Welche ergänzenden Methoden zur Dosisabschätzung gibt es nach einem großen Strahlenunfall?

Die biologische Dosimetrie ermöglicht eine individuelle Dosisabschätzung anhand biologischer Marker. Durch ionisierende Strahlung ausgelöste Veränderungen direkt in den Zellen der betroffenen Personen werden dazu verwendet, die Höhe der Strahlenbelastung festzustellen. Die zuverlässigste Methode der biologischen Dosimetrie ist die Bestimmung der dizentrischen Chromosomen. Trifft ionisierende Strahlung auf den Zellkern, kann sie dort Brüche an den Chromosomen hervorrufen. Bei einer fehlerhaften Reparatur der Brüche in zwei verschiedenen Chromosomen können dizentrische Chromosomen entstehen. Diese haben im Gegensatz zu ungeschädigten Chromosomen zwei Einschnürungen, sogenannte Zentromere.

Aus den Blutproben werden Lymphozytenkulturen angelegt und nach zwei Tagen Chromosomenpräparate hergestellt. Die Chromosomen werden mit bestimmten Farbstoffen angefärbt, so dass im Mikroskop die Anzahl der dizentrischen Chromosomen ausgezählt werden kann. Für die eigentliche Dosisbestimmung verfügt das Labor über geeignete Dosiseffektkurven, aus denen ablesbar ist, welche Dosis einer bestimmten Anzahl von dizentrischen Chromosomen pro 1.000 Zellen entspricht. In der Regel werden für die Dosisbestimmung 1.000 Zellen ausgezählt. Um herauszufinden, welche Personen nach einem Unfall einer sofortigen medizinischen Behandlung auf Grund hoher Strahlendosen bedürfen oder wessen Symptome nicht durch ionisierende Strahlung verursacht wurden, reicht es zunächst aus, nur ca. 50 Zellen zu untersuchen.

Allerdings ist das Verfahren relativ zeit- und personalaufwendig, selbst wenn nur 50 Zellen pro Blutprobe ausgezählt werden müssen. Durch Automatisierung ist es bereits gelungen, den Zeitaufwand zu verringern. Nach einem großen Strahlenunfall sind aber die Kapazitäten eines einzelnen Labors trotzdem rasch ausgeschöpft. Es wird daher seit längerem daran gearbeitet, auf europäischer Ebene möglichst viele Labore in möglichst vielen Ländern zu einem Netzwerk für biologische Dosimetrie zusammenzuschließen. Das BfS koordiniert ein entsprechendes Forschungsvorhaben mit der Bezeichnung RENEB (Realizing the European Network of Biodosimetry), das von der europäischen Kommission gefördert wird. An RENEB beteiligen sich insgesamt 23 Einrichtungen aus 16 europäischen Ländern mit dem Ziel, ein dauerhaftes und zuverlässiges Netzwerk von Laboren zu schaffen, die sich bei einem Strahlenunfall gegenseitig unterstützen können.



Trifft ionisierende Strahlung auf den Zellkern, kann sie dort Brüche an den Chromosomen hervorrufen.



Das BfS ist Leitstelle für die Inkorporationsüberwachung, führt regelmäßig Ringversuche für Ganz- und Teilkörpermessungen durch und betreibt an seinen Standorten Berlin und Neuherberg eigene Messstellen.



### Wie können die im Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe gemessen werden?

Viele der radioaktiven Stoffe, die nach einem Reaktorunfall freigesetzt werden, senden Gammastrahlung aus, teilweise zusätzlich zu Alpha- oder Betastrahlung. Gammastrahlung ist eine energiereiche elektromagnetische Strahlung. Sie durchdringt Materie sehr leicht und kann daher außerhalb des Körpers mit Hilfe eines sogenannten Ganz- oder Teilkörperzählers (siehe Abbildung) gemessen werden. Ein großer Teil der freigesetzten radioaktiven Stoffe zerfällt sehr schnell und ist schon wenige Stunden oder Tage nach der Freisetzung nicht mehr nachweisbar. Für eine Messung im Ganz- oder Teilkörperzähler kommen nur die langlebigeren Spaltprodukte in Frage, wie z. B. Jod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137.

Jod-131 ist besonders bedeutsam, da Jod in den Schilddrüsenhormonen enthalten ist und demnach auch das radioaktive Jod-131 in der Schilddrüse angereichert wird. Wie sich nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl gezeigt hat, führt dies zu einem erhöhten Risiko für Schilddrüsenkrebs, besonders wenn das radioaktive Jod im Kinder- und Jugendalter aufgenommen wird. Das Element Cäsium ist dagegen chemisch mit dem Element Kalium verwandt. Dieses kommt in allen Zellen des menschlichen Körpers vor. Demnach verteilt sich aufgenommenes radioaktives Cäsium im gesamten Körper.

Für die Inkorporationsmessungen gibt es ein bundesweites Netz qualifizierter Messstellen. Im Normalbetrieb sorgen diese Messstellen für die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen, die mit größeren Mengen offener radioaktiver Stoffe umgehen. Das BfS ist Leitstelle für die Inkorporationsüberwachung und führt in dieser Funktion regelmäßig Ringversuche für Ganz- und Teilkörpermessungen durch. Außerdem betreibt es an seinen Standorten Berlin und Neuherberg eigene, behördlich bestimmte Messstellen, die mit je einem Ganz- und Teilkörperzähler ausgestattet sind.

Nach einem radiologischen Notfall soll das BfS die landesweiten Inkorporationsmessungen koordinieren, die Messstellen bei der Dosismessung unterstützen, die Ergebnisse sammeln und bewerten, andere Behörden fachlich beraten und die Öffentlichkeit informieren. Nach dem Reaktorunfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi im März 2011 hat die Leitstelle Inkorporationsüberwachung beispielsweise mittels der eigenen Messeinrichtungen aus Japan eingereiste Personen auf deren Wunsch hin untersucht, die landesweit erhobenen Daten zusammengefasst und anderen Behörden und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.



## Fiktiver Unfallablauf

Wie könnte sich ein schwerer Unfall in einem Kernkraftwerk auf die Bevölkerung auswirken?  
Mögliche Geschehnisse aus der Sicht einer fiktiven Person („Sabine“).

Am Morgen des 5. Januars kommt es gegen 6 Uhr in einem Kernkraftwerk zu einem Störfall, der zur Schnellabschaltung des Kraftwerks führt.

#### 5. Januar, 8 Uhr

Sabine befindet sich zu dieser Zeit mit dem Auto auf dem Weg in ihre Arbeitsstätte, die ca. 10 km vom Kraftwerk entfernt ist. Durch eine Verkettung unglücklicher Umstände und dem Ausfall zahlreicher Sicherheitsmechanismen verschlechtert sich die Situation in dem Kraftwerk im Laufe des Tages so sehr, dass die Katastrophenschutzleitung einen Voralarm aus dem Kernkraftwerk erhält.

#### 5. Januar, 20 Uhr

Daraufhin informiert die Katastrophenschutzleitung die Bevölkerung mit folgender Meldung:

*„Im Kernkraftwerk ist es zu einem Unfall gekommen. Es wurden bisher keine radioaktiven Stoffe freigesetzt. Zurzeit besteht für Sie deshalb keine Gefahr und damit kein Anlass für eigene Maßnahmen. Wenn es zu einer Gefahr bringenden Freisetzung kommt, werden Sie sofort informiert. Bitte beachten Sie deshalb die weiteren Meldungen auf diesem Sender.“*

Als Sabine diese Meldung im Radio hört, befindet sie sich wieder in ihrer Wohnung in Niederhausen, die ca. 6 km vom Kraftwerk entfernt liegt.

#### 6. Januar, 2 Uhr

Weitere technische Probleme führen zu einer erneuten Verschlechterung der Situation im Kraftwerk, so dass die Katastrophenschutzleitung den Katastrophenalarm auslöst:

*„Im Kernkraftwerk kam es zu einem Unfall. Bisher wurden keine radioaktiven Stoffe freigesetzt. Es muss aber damit gerechnet werden, dass es in den nächsten 8 bis 10 Stunden zu einer Freisetzung kommt.“*

*Eine vorsorgliche Evakuierung ist daher in den folgenden Gemeinden erforderlich:*

- Römerberg mit Ortsteil Dudendorf in das Aufnahmegebiet Lahnstadt
- Talstadt in das Aufnahmegebiet Kannstadt.

*Die Bewohner der Gemeinden Niederhausen, Oberhausen und Bergstadt werden daher aufgefordert, vorsorglich Häuser aufzusuchen sowie Fenster und Türen zu schließen.*

*Nehmen Sie jetzt noch keine Jodtabletten ein. Wenn es erforderlich werden sollte, werden wir Sie rechtzeitig informieren. Bringen Sie vorsorglich Haustiere und Vieh ins Haus oder die Stallungen, soweit dies kurzfristig möglich ist.“*

### 6. Januar, 2.30 Uhr

Sabine wird durch die Lautsprecher-Durchsagen eines Polizei-Streifenwagens geweckt und erfährt über Radio, dass sie vorsorglich in ihrer Wohnung verbleiben sowie Fenster und Türen schließen soll, bis sie weitere Informationen von den Behörden erhält.

### 6. Januar, 18 Uhr

Sabine erfährt über Radio, TV und Lautsprecherdurchsagen, dass jetzt auch ihre Heimatgemeinde Niederhausen evakuiert werden soll. Die in den letzten Stunden aus dem Kraftwerk ausgetretene Radioaktivität führt in den nächsten Tagen zu einer so hohen Strahlenbelastung in ihrem Wohnort, dass das Evakuierungsgebiet auf diese Gemeinde ausgedehnt wird. Sie erfährt weiterhin, dass in Kannstadt eine Notfallstation eingerichtet wurde, die die Einwohnerinnen und Einwohner von Niederhausen unverzüglich aufsuchen sollen. Dort sollen sie auf eine eventuelle Kontamination überprüft werden. Sabine setzt sich in ihr Auto und macht sich unverzüglich auf den Weg nach Kannstadt.

### 6. Januar, 20 Uhr

Sabine erreicht die Notfallstation in Kannstadt. Nach einer längeren Wartezeit – da gleichzeitig mit ihr viele hundert Personen in der Notfallstation eintreffen – wird sie auf Kontamination ihrer Kleidung und ihrer Haut überprüft. Aufgrund der Messergebnisse wird für Sabine eine Dekontamination empfohlen. Dafür gibt sie zuerst ihre kontaminierte Kleidung ab, und duscht sich anschließend. Beim Duschen wird darauf geachtet, dass sie zuerst gezielt die vorher unbedeckten Körperteile reinigt, ohne den übrigen Körper mit dem kontaminierten Wasser zu benetzen. Die nach dem Duschen vorgenommene Nachkontrolle ist erfolgreich, so dass Sabine bereitgestellte, unkontaminierte Kleidung anziehen kann.

Als Nächstes kommt Sabine zur Dosisabschätzung in der Notfallstation. Dort wird sie gefragt, wie lange sie sich wo und wann zwischen Unfallbeginn und ihrer Ankunft in der Notfallstation aufgehalten hat. Anhand ihrer Angaben schätzt ein Mitarbeiter in der Notfallstation ihre individuelle Strahlenbelastung ab.

Letzter Schritt ihres Durchlaufs der Notfallstation ist für Sabine dann die ärztliche Kontrolle und Beratung. Aufgrund der Ergebnisse ihrer Kontaminationsmessung und der Dosisabschätzung empfiehlt ihr der zuständige Strahlenmediziner, eine Messung der Menge der im Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe durchführen zu lassen. Dafür verweist er sie an eine darauf spezialisierte Inkorporationsmessstelle im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).

Da für diese Messung aber keine große Eile besteht, kann sich Sabine erst einmal zu Freunden in einer nahe gelegenen Ortschaft begeben, bei denen sie in den nächsten Tagen unterkommen kann.

### 7. Januar

Sabine begibt sich zu der ihr genannten Messstelle des BfS. Noch während ihres Aufenthalts in der Inkorporationsmessstelle im BfS erhält Sabine die Ergebnisse der Messung der Menge der im Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe. Obwohl auf ihrer Kleidung vor der Dekontamination in der Notfallstation eine größere Menge an radioaktiven Stoffen festgestellt werden konnte, ist die Menge der in den Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe verhältnismäßig gering.





Sabines Strahlenbelastung aufgrund der bei dem Unfall in dem Kernkraftwerk freigesetzten Stoffe ist zwar höher als die jährliche Strahlenbelastung durch natürliche Ursachen. Aber es besteht für Sabine keine gesundheitliche Gefährdung durch die aufgenommenen radioaktiven Stoffe.

Trotz dieser guten Nachricht fühlt sie sich unwohl, da sie seit gestern Abend an häufiger Übelkeit leidet. Aus diesem Grund wird bei Sabine zusätzlich noch mit Hilfe des aufwendigeren Verfahrens der biologischen Dosimetrie ihre Strahlenbelastung bestimmt. Dazu muss der Arzt ihr Blut abnehmen, das dann in das Labor des BFS geschickt wird, wo die Untersuchung durchgeführt wird.

### 10. Januar

Die Ergebnisse der biologischen Dosimetrie liegen bei Sabine nach drei Tagen vor. Die vorläufige Dosisabschätzung ergab, dass die zusätzliche Strahlenbelastung viel zu niedrig ist, um die von ihr empfundene Übelkeit auszulösen. Dies bestätigen die Ergebnisse der Inkorporationsmessung wie auch die Ergebnisse der ersten Dosisabschätzung in der Notfallstation. Eine gesundheitliche Gefährdung ist bei Sabine nicht zu erwarten.



# Weitere aktuelle Strahlenschutzthemen

Der Strahlenschutz ist eine lebendige Disziplin, deren konzeptionelle und wissenschaftliche Grundlagen sich ständig weiterentwickeln. Auch die gesellschaftlichen und juristischen Rahmenbedingungen sind einem steten Wandel unterworfen.

## Deutsches Strahlenschutzsystem auf dem Prüfstand

Die neuen Euratom-Grundnormen und deren Umsetzung in deutsches Recht geben aktuell Anlass, das bestehende deutsche Strahlenschutzsystem kritisch zu überprüfen und anzupassen. Zu klären sind dabei einerseits Grundsatzfragen und andererseits sehr konkrete Fragestellungen, z. B. für die medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung und den beruflichen Strahlenschutz.

Zu den Grundsatzfragen zählen Grenzwerte im Strahlenschutz, die der Gefahrenabwehr und der Risikovorsorge dienen. Sie sollen sicherstellen, dass Menschen im Berufsleben und im Alltag keine akuten (deterministischen) Strahlenschäden erleiden und die Eintrittswahrscheinlichkeit langfristiger (stochastischer) Strahlenschäden begrenzt wird.

Das deutsche Strahlenschutzsystem verwendet im Vergleich zu internationalen Empfehlungen und den Regelungen in den meisten europäischen Ländern ein wesentlich komplexeres System aus Grenzwerten für die Strahlenexposition des Menschen. Im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMUB) untersucht die Strahlenschutzkommission (SSK) derzeit, ob dieses System bei beruflich strahlenexponierten Personen tatsächlich einen besseren Schutz vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung bietet. Das Bundesamt für Strahlenschutz befasst sich mit der Frage, wie das System von Grenzwerten im Strahlenschutz für die Bevölkerung ausgestaltet werden sollte, um entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft auch künftig den bestmöglichen Schutz zu gewährleisten.

Für die praktische Anwendung ist festzulegen, für welche Altersgruppen der Bevölkerung die Einhaltung der Grenzwerte zu fordern ist. Hier ist zu klären, ob nach einer von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) vorgeschlagenen Reduzierung der Altersgruppen von sechs auf drei das bisherige hohe Schutzniveau bei Prognoserechnungen beibehalten würde. Kinder und Jugendliche sind gegenüber ionisierender Strahlung empfindlicher als Erwachsene. Daher kommt ihrem Schutz eine besondere Bedeutung zu.

## Medizinische Anwendungen: Nutzen versus Risiken

Medizinische Strahlenanwendungen liefern sowohl in Deutschland als auch in Europa insgesamt den weitaus größten Teil der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung. Gleichzeitig sind sie jedoch aus der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken. Angesichts der Bedeutung der medizinischen Expositionen widmen ihnen die Euratom-Grundnormen ein eigenes Kapitel (Kapitel VII).

Das Spektrum medizinischer Anwendungen reicht von einfachen Röntgenaufnahmen über die Computertomographie (CT), nuklearmedizinische Diagnostik mit radioaktiven Stoffen, die Strahlentherapie mit Röntgenstrahlung bis hin zu den modernsten Verfahren wie z. B. die Positronen-Emissions-Tomographie kombiniert mit Computertomographie (PET/CT) oder die Strahlentherapie mit Schwerionen.

Der Strahlenschutz steht hier vor einer besonderen Herausforderung: Im Vordergrund steht der diagnostische und therapeutische Nutzen für die Patientinnen und Patienten. Andererseits geht man im Strahlenschutz davon aus, dass selbst mit geringen Dosen ionisierender Strahlung ein – wenn auch entsprechend geringes – gesundheitliches Risiko verbunden ist. Bei allen medizinischen Anwendungen muss also gewährleistet sein, dass der gewünschte medizinische Nutzen mit einem möglichst geringen Strahlenrisiko erreicht wird. Durch die zunehmende Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin steigt einerseits die Strahlenexposition der Bevölkerung, andererseits nimmt auch die Gefahr von Fehlbestrahlungen und Unfällen zu.

## Fehlbestrahlungen und Unfälle zentral melden

In Artikel 63 der Euratom-Grundnormen ist ein neues Meldesystem vorgesehen, das sicherstellen soll, dass bedeutsame Ereignisse von einer Behörde gesammelt und bewertet werden. Diese Behörde soll die Informationen zeitnah an die anderen Anwender weitergeben. Durch geeignete Maßnahmen soll das Risiko für Fehlbestrahlungen und Unfälle verringert werden.

Neben dem Schutz der Patientinnen und Patienten ist auch der Schutz des Personals zu beachten, das die Strahlenanwendungen

durchführt. Die mit Abstand größte Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen arbeitet im medizinischen Bereich. Die neuen Euratom-Grundnormen enthalten grundsätzliche Regelungen für den beruflichen Strahlenschutz, die gegenwärtig in nationales Recht umgesetzt werden.

Das BfS betreibt das Strahlenschutzregister, in dem die Expositionsdaten aller beruflich strahlenschutzüberwachten Personen in Deutschland (aktuell etwa 400.000) rückwirkend bis in die 1960er Jahre zentral zusammengefasst und ausgewertet werden. Da immer mehr Erwerbstätige, die mit ionisierender Strahlung umgehen, ihren Arbeitsplatz innerhalb Europas wechseln, muss zu deren Schutz sichergestellt werden, dass ihre berufliche Exposition auch bei grenzüberschreitenden Tätigkeiten lückenlos erfasst wird.



**Herr Dr. Martin Steiner** ist Leiter des Fachgebiets Radioökologie, das sich mit dem Verhalten radioaktiver Stoffe in der Umwelt und der sich daraus ergebenden Strahlenbelastung des Menschen beschäftigt. Zusammen

mit seinem Team entwickelt und bewertet er radioökologische Modelle, führt Messkampagnen durch und erstellt Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenbelastung der Bevölkerung. Die Forschung im Fachgebiet Radioökologie ist dabei in ein internationales Netzwerk eingebettet.

**Frau Dr. Anne Dehos** ist Biologin und hat im Bundesamt für Strahlenschutz in verschiedenen Bereichen gearbeitet.

Dieser gute Überblick über die verschiedenen Themengebiete des Fachbereichs „Strahlenschutz und Gesundheit“ bildet die fachliche Basis für ihre Tätigkeit als Kommunikationsbeauftragte. Für die Jahrespublikation stellte sie Fachinformationen aus verschiedenen Arbeitsgruppen zusammen, die für den Strahlenschutz in der Medizin, den beruflichen Strahlenschutz, biologische Strahlenwirkungen und für den Strahlenschutz relevante besondere Vorkommnisse zuständig sind.



# Mehr Grenzwerte, besserer Schutz?

## Grenzwerte im Strahlenschutz

Grenzwerte im Strahlenschutz dienen der Gefahrenabwehr und der Risikovorsorge. Sie sollen sicherstellen, dass Menschen im Berufsleben und im Alltag keine akuten (deterministischen) Strahlenschäden erleiden und die Wahrscheinlichkeit langfristiger (stochastischer) Strahlenschäden begrenzt wird. Das Bundesamt für Strahlenschutz untersucht derzeit, wie das System von Grenzwerten im Strahlenschutz ausgestaltet werden sollte, um entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft den bestmöglichen Schutz des Menschen vor ionisierender Strahlung auch in Zukunft zu gewährleisten. Im Fokus stehen dabei die Grenzwerte für die Organdosen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser, z. B. aus kerntechnischen Anlagen.

## Welche Grenzwerte sind notwendig?

Als Maß für mögliche stochastische Strahlenschäden des menschlichen Körpers bei kleinen Strahlendosen wird seit Jahrzehnten die sogenannte effektive Dosis verwendet. Sie ist die Summe ausgewählter Organdosen, wobei die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit gegenüber ionisierender Strahlung durch Gewebewichtungsfaktoren berücksichtigt wird. Für die effektive Dosis gelten Grenzwerte für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen. Manche Organe tragen jedoch rechnerisch nicht zur effektiven Dosis bei (z. B. Augenlinse) oder können unter ungünstigen Umständen sehr ungleichmäßig belastet werden (z. B. Haut). In solchen Fällen sind zusätzlich Organdosisgrenzwerte erforderlich, um deterministische Strahlenschäden sicher zu vermeiden.

## Zusätzliche Organdosisgrenzwerte zur Beschränkung des stochastischen Strahlenrisikos: Unverzichtbar oder überflüssig?

Neben den Organdosisgrenzwerten in den Grundnormen für die Augenlinse und die Haut, die der Vermeidung deterministischer Strahlenschäden dienen, gibt es für weitere Organe niedrigere Organdosisgrenzwerte zur Begrenzung der Wahrscheinlichkeit stochastischer Strahlenschäden. Momentan wird intensiv diskutiert, ob neben den Organdosisgrenzwerten der Grundnormen diese zusätzlichen Organdosisgrenzwerte tatsächlich erforderlich sind, oder ob der Grenzwert für die effektive Dosis ausreicht, um alle Organe auch vor stochastischen Schäden ausreichend zu schützen. Das Bundesamt für Strahlenschutz untersucht daher, ob die derzeit gültigen Organdosisgrenzwerte noch dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechen und tatsächlich den Strahlenschutz des Menschen verbessern.

## Grenzwerte für die Bevölkerung

Organdosisgrenzwerte für den Schutz der Bevölkerung zur Begrenzung stochastischer Strahlenwirkungen gelten für Ableitungen aus Anlagen und Einrichtungen mit der Luft und dem Wasser, z. B. aus der Kerntechnik (§ 47 StrlSchV). Diese Organdosisgrenzwerte variieren je nach Organ von 0,3 bis 1,8 mSv im Kalenderjahr. Sie sind historisch bedingt, wurden über mehrere Jahrzehnte unverändert beibehalten und spiegeln nicht den aktuellen Kenntnisstand über die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der einzelnen Organe wider. Das Bundesamt für Strahlenschutz überprüft durch Modellrechnungen, ob die derzeitigen Organdosisgrenzwerte an den Stand der Wissenschaft angepasst werden müssen oder ob sie ohne Abstriche am hohen Niveau des Strahlenschutzes zukünftig entfallen können. Hierbei werden alle maßgeblichen Expositionssituationen berücksichtigt.



Die Euratom-Grundnormen schreiben für beruflich strahlenexponierte Personen Organdosisgrenzwerte für Augenlinse, Haut und Extremitäten vor.



© FOTOLIA / CHETTYTHOMAS

Beispiele sind die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper über die Atemluft und mit Lebensmitteln sowie die Strahlenbelastung durch radioaktive Stoffe auf oder im Boden.

### Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen

Zur Vermeidung deterministischer Strahlenschäden schreiben die Euratom-Grundnormen für beruflich strahlenexponierte Personen Organdosisgrenzwerte für Augenlinse, Haut und Extremitäten vor. Darüber hinaus gelten in Deutschland derzeit Dosisgrenzwerte zwischen 50 und 300 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr für eine Vielzahl weiterer Organe (§ 55 StrlSchV). Das Bundesamt für Strahlenschutz und die Strahlenschutzkommission untersuchen gegenwärtig die Frage, ob diese zusätzlichen Organdosisgrenzwerte in der Praxis auch zu einem besseren Strahlenschutz führen, oder ob der Grenzwert für die effektive Dosis indirekt das Strahlenrisiko einzelner Organe und Gewebe ausreichend begrenzt. Grundlage sind die Verhältnisse in Deutschland an bereits bestehenden Arbeitsplätzen sowie der berufliche Umgang mit den derzeit eingesetzten Radionukliden. Die bislang vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Einhaltung der Grenzwerte für die effektive Dosis allein nicht ausreicht, um Überschreitungen der derzeit gültigen Organdosisgrenzwerte sicher auszuschließen.

Rechnerisch können Organdosisgrenzwerte überschritten werden, wenn die zulässige effektive Dosis ausgeschöpft wird.

In der Praxis tritt dies nach den bis jetzt vorliegenden Erkenntnissen jedoch nur in Einzelfällen auf. So wurde 2014 bei nur 23 % von 400.000 beruflich strahlenexponierten Personen eine Dosis oberhalb des natürlichen Untergrundes gemessen. Sie betrug im Mittel 1,1 mSv pro Jahr, also weniger als die durchschnittliche Strahlenexposition in Deutschland durch natürliche Quellen (2,1 mSv), und lag weit unter dem Grenzwert von 20 mSv pro Kalenderjahr. Auch bei der inneren Exposition ergibt sich ein ähnlich positives Bild. Dies ergaben Auswertungen der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz im Zeitraum von 2002 bis 2013. Inkorporationsereignisse wurden sehr selten gemeldet und mit sehr wenigen Ausnahmen lagen bei allen überwachten Organen sowohl die Organdosen als auch die effektive Dosis weit unterhalb der jeweiligen Grenzwerte. Eine Ausnahme ist die Dosis der Knochenoberfläche nach der Inkorporation von Thorium, die das Zweifache des Organdosisgrenzwertes überschritt. Die Verarbeitung und Handhabung von Thorium, z. B. die Handhabung von Gasglühstrümpfen oder die Verwendung von thorierten Schweißdrähten, sind jedoch stark rückläufig. Das Bundesamt für Strahlenschutz stellt sich der Herausforderung, das System von Grenzwerten im Strahlenschutz weiterzuentwickeln und an den aktuellen Stand der Wissenschaft anzupassen. Ziel und Verpflichtung ist es, den bestmöglichen Schutz des Menschen in Beruf und Alltag zu gewährleisten.

### Deterministische und stochastische Strahlenschäden

Deterministische Strahlenschäden sind unmittelbare gesundheitliche Schäden bei höheren Strahlendosen, deren Schwere mit der Dosis zunimmt und die in der Regel erst oberhalb eines Schwellenwertes auftreten (z. B. Hautrötung, Trübungen der Augenlinse). Stochastische Strahlenschäden sind später auftretende gesundheitliche Schäden bei niedrigen Strahlendosen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere.

### Effektive Dosis

Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenbelastung des gesamten Körpers eines Menschen. Sie ist die Summe der mit Gewebe-Wichtungsfaktoren gewichteten Organdosen. Die Gewebe-Wichtungsfaktoren berücksichtigen die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe gegenüber ionisierender Strahlung.

### Strahlenwirkungen sind altersabhängig

Welche Altersklassen herangezogen werden sollten, um die Strahlenbelastung der Bevölkerung z. B. in Genehmigungsverfahren zu prognostizieren, wird gegenwärtig lebhaft diskutiert. Viele Faktoren, von denen die Höhe der Strahlenbelastung abhängt, ändern sich im Laufe des Lebens. Dazu gehören die Art und Menge der verzehrten Lebensmittel, die Atemraten, aber auch physiologische Eigenschaften. Um diese Änderungen bei der Berechnung der zukünftigen Strahlenbelastung zu berücksichtigen, werden im Strahlenschutz gegenwärtig sechs Altersgruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften betrachtet: 0–1 Jahr, 1–2 Jahre, 2–7 Jahre, 7–12 Jahre, 12–17 Jahre und Erwachsene (älter als 17 Jahre).

Die Folgedosis, die sich ergibt, wenn radioaktive Stoffe mit Lebensmitteln oder der Atemluft in den Körper gelangen, wird dabei dem Jahr der Inkorporation zugerechnet. Kinder und Jugendliche sind gegenüber ionisierender Strahlung empfindlicher als Erwachsene. Daher kommt ihrem Schutz eine besondere Bedeutung zu. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt, für die Berechnung der Strahlenbelastung der Bevölkerung wie bisher sechs Altersgruppen zugrunde zu legen, da ansonsten der Strahlenschutz von Säuglingen, einer besonders empfindlichen Altersgruppe, verschlechtert würde.



Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt, für die Berechnung der Strahlenbelastung der Bevölkerung wie bisher sechs Altersgruppen zugrunde zu legen.

Modellrechnungen des Bundesamtes für Strahlenschutz belegen, dass während des ersten Lebensjahres die mit Abstand höchsten Strahlenbelastungen auftreten können.



### Sechs Altersgruppen: Übertrieben detailliert oder notwendig?

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfahl in der ICRP-Veröffentlichung 101, für Prognosen der Strahlenbelastung der Bevölkerung statt der bisherigen sechs Altersgruppen nur noch 1-jährige Kleinkinder, 10-jährige Kinder und Erwachsene zu betrachten. Begründet wurde dies mit dem geringeren Aufwand bei der Beschaffung von Daten über Art und Menge der verzehrten Lebensmittel. Ein solches vereinfachtes Vorgehen wäre aus Sicht des Strahlenschutzes jedoch nur dann akzeptabel, wenn dabei die Strahlenbelastungen der bisherigen sechs Altersgruppen nicht oder nur unwesentlich unterschätzt würden. Modellrechnungen des Bundesamtes für Strahlenschutz belegen, dass während des ersten Lebensjahres die mit Abstand höchsten Strahlenbelastungen auftreten können. Ein Säugling, der mit Flaschenmilch ernährt wird, erfährt z. B. durch das natürliche Radionuklid Radium-226 (Ra-226) im Trinkwasser eine rund 10-fach höhere Strahlenbelastung als etwa ein 1-jähriges Kind oder ein Erwachsener. Die Möglichkeit, dass Säuglinge nicht nur gestillt, sondern auch mit Flaschenmilch ernährt werden können, wurde von der Internationalen Strahlenschutzkommission schlichtweg nicht berücksichtigt.

### Mittelwerte berechnen oder nicht? Alles eine Frage der Bilanzierung

Für den Strahlenschutz ist neben der Frage nach den geeigneten Altersklassen auch die Frage relevant, für welchen Zeitraum die Einhaltung der Dosisgrenzwerte zu fordern ist. Für die Bevölkerung gelten strenge Dosisgrenzwerte, um die Wahrscheinlichkeit langfristiger (stochastischer) Strahlenschäden zu begrenzen. Diese sind nach derzeitiger Rechtslage in jedem Kalenderjahr einzuhalten.

Aus wissenschaftlicher Sicht sind bei der stochastischen Strahlenwirkung nur die Lebenszeitdosis und deren Beschränkung auf ein akzeptables Maß ausschlaggebend. Folgt man diesem Gedanken, wäre es ausreichend, die Einhaltung von Dosisgrenzwerten gemittelt über mehrere Jahre zu fordern.

Dies ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen gängige Praxis (§ 55 StrlSchV). Hier ist festgelegt, dass in fünf aufeinander folgenden Kalenderjahren eine Dosis von 100 mSv nicht überschritten werden darf. Ob eine solche zeitliche Mittelung der Jahresdosen auf den Strahlenschutz der Bevölkerung übertragen

werden sollte oder ob die Einhaltung der geltenden Dosisgrenzwerte wie bisher für jedes Kalenderjahr gefordert werden soll, wird gegenwärtig vom Bundesamt für Strahlenschutz umfassend geprüft. Würde man z. B. die Strahlenbelastung über die ersten fünf Lebensjahre mitteln, müssten drei der bisherigen sechs Altersgruppen betrachtet werden (Altersgruppe 0–1 Jahr, Altersgruppe 1–2 Jahre, drei Jahre der Altersgruppe 2–7 Jahre). Im Gegensatz zu den Empfehlungen in der ICRP-Veröffentlichung 101 würde jedoch die Strahlenbelastung des Säuglings (Altersgruppe 0–1 Jahr) ohne Einschränkung berücksichtigt. Die aktuellen Diskussionen zu einer Neueinteilung der Altersgruppen zum Schutz der Bevölkerung zeigen, dass das Bundesamt für Strahlenschutz neue Konzepte und Empfehlungen stets kritisch hinterfragt. Maßstab ist immer der bestmögliche Schutz des Menschen vor ionisierender Strahlung.

### Wie strahlenempfindlich sind Kinder?

Aus verschiedenen epidemiologischen Studien ist bekannt, dass Kinder und Jugendliche, die sich noch in der Entwicklung befinden, strahlenempfindlicher sind als Erwachsene.

Das Krebsrisiko nach Strahlenexpositionen ist bei Kindern etwa zehnmal höher als bei Erwachsenen.

Diese Untersuchungen beziehen sich aber meist auf Strahlenexpositionen mit höheren Dosen. Für den praktischen Strahlenschutz relevant sind aber niedrige Dosen. Daher versucht die Forschung, Personengruppen zu untersuchen, die mit niedrigeren, aber gut bekannten Dosen exponiert werden. Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung nimmt auch bei Kindern und Jugendlichen zu.

Mit Hilfe moderner Bildgebungsverfahren wie z. B. der Computertomographie können aufgrund technologischer Neuerungen immer bessere diagnostische Informationen gewonnen werden. Außerdem hat der Zeitbedarf für eine CT-Untersuchung deutlich abgenommen. Die Strahlenexposition bei einer CT-Untersuchung ist jedoch um ein Vielfaches höher als bei einer vergleichbaren Röntgenaufnahme und zusätzlich kann die Dosis bei Kindern höher sein als bei einer vergleichbaren Untersuchung bei Erwachsenen.

### Folgedosis

Wenn radioaktive Stoffe in den Körper gelangen, verteilen sie sich entsprechend ihren chemischen Eigenschaften im Körper. Sie führen zu einer Strahlenbelastung des Menschen, bis sie zerfallen sind oder wieder ausgeschieden werden. Die Strahlenbelastung nach der Inkorporation radioaktiver Stoffe über einen bestimmten Zeitraum oder bis zu einem bestimmten Lebensalter wird als Folgedosis bezeichnet.





Im Rahmen der Studie Epi-CT wird eine Kohorte aufgebaut, an der über eine Million Kinder teilnehmen.

### Internationale Kohortenstudie Epi-CT

Um das gesundheitliche Risiko für Kinder im Niedrigdosisbereich möglichst gut abschätzen zu können, wird derzeit europaweit ein großes Forschungsprojekt durchgeführt, das sogenannte Epi-CT-Projekt. Es wird im Rahmen des europäischen Forschungsrahmenprogramms EU FP7 finanziell gefördert. Insgesamt nehmen 18 Studienzentren aus elf europäischen Ländern teil.

### Epidemiologische Untersuchungen im Rahmen von Epi-CT

Im Rahmen der Studie wird eine Kohorte aufgebaut, an der über eine Million Kinder teilnehmen. Für jedes Kind wird ermittelt, welche Strahlendosis die verschiedenen Organe bei medizinisch notwendigen CT-Untersuchungen erhalten haben. Im weiteren Verlauf wird untersucht, ob die Kinder an Krebs erkranken, und wenn ja, um welchen Krebs es sich handelt. Durch Abgleich mit den Daten der nationalen Krebsregister kann die erwartete Krebsrate mit der nach CT-Untersuchungen in der Kohorte beobachteten Rate verglichen werden. Da die Kohorte ausreichend groß ist, sollte sich auch das Krebsrisiko für einzelne Organe in Abhängigkeit von der Organdosis abschätzen lassen.

### Biologische Untersuchungen im Rahmen von Epi-CT

Neben den epidemiologischen Untersuchungen werden in kleineren Gruppen von Kindern verschiedene Biomarker in Blut-, Urin- und Speichelproben untersucht, die Hinweise auf die biologischen Strahlenreaktionen und die Strahlenempfindlichkeit geben sollen. Das BfS führt innerhalb des Projektes eine Machbarkeitsstudie durch. Ziel der Studie ist es herauszufinden, ob mit Hilfe von Biomarkern Unterschiede in der Strahlenempfindlichkeit bei Kindern verschiedener Altersgruppen festgestellt und mit der Strahlenempfindlichkeit von Erwachsenen verglichen werden können.

Die Blutproben von Neugeborenen (Nabelschnurblut), Kleinkindern (2–5 Jahre) und Erwachsenen wurden in einem Computertomographie-Scanner in vitro bestrahlt. Anschließend wurden die entstandenen DNS-Doppelstrangbrüche untersucht und die Zahl der Chromosomenaberrationen analysiert. In der Machbarkeitsstudie im Rahmen von Epi-CT soll geklärt werden, ob sich diese Methode eignet, um an Blutproben von Kindern verschiedener Altersgruppen dosisabhängige Veränderungen im Niedrigdosisbereich zu ermitteln.

Das Projekt Epi-CT ist die zurzeit größte und statistisch aussagekräftigste Studie, um gesundheitliche Risiken durch CT-Expositionen im Kindesalter bewerten zu können. Es trägt dazu bei, altersabhängige Wirkungen niedriger Strahlendosen zu erforschen und damit den Strahlenschutz zu verbessern. Letztlich soll das Projekt dazu führen, dass die Technologie der CT-Geräte weiter verbessert wird, so dass die notwendigen diagnostischen Informationen mit möglichst geringen Strahlendosen erhalten werden können. Damit sollen außerdem bessere Voraussetzungen geschaffen werden für die individuelle Rechtfertigung von CT-Untersuchungen bei Kindern.

Sowohl in Deutschland als auch in Europa insgesamt resultiert der weitaus größte Teil der zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung aus medizinischen Strahlenanwendungen. Dem medizinischen Strahlenschutz kommt daher eine zentrale Bedeutung zu.



# Strahlenschutz in der Medizin

## Rechtfertigung und Optimierung

In den Euratom-Grundnormen sind die drei Grundsätze des Strahlenschutzes rechtsverbindlich festgelegt:

1. Rechtfertigung
2. Dosisbegrenzung
3. Optimierung

Mit Ausnahme der Dosisbegrenzung gelten diese Grundsätze auch für medizinische Anwendungen ionisierender Strahlung. Dosisgrenzwerte werden für medizinische Expositionen nicht angewandt, damit der klinische Nutzen nicht gefährdet wird.

Die besondere Herausforderung besteht darin, einen möglichst hohen Nutzen bei möglichst geringem Strahlenrisiko zu gewährleisten. Bei medizinischen Anwendungen ionisierender Strahlung steht immer der diagnostische und therapeutische Nutzen für die Patientinnen und Patienten im Vordergrund. Andererseits ist selbst mit relativ geringen Dosen ionisierender Strahlung ein – wenn auch entsprechend geringes – gesundheitliches Risiko verbunden.

Neben der Dosisoptimierung fordert der Strahlenschutz daher eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung für jede individuelle Anwendung ionisierender Strahlung durch fachkundige Ärztinnen und Ärzte, die sogenannte rechtfertigende Indikation.

Ziel ist es zu gewährleisten, dass für den einzelnen Patienten der Nutzen der Strahlenanwendung das damit verbundene Strahlenrisiko übersteigt.

Zusätzlich muss – dem Optimierungsgebot entsprechend – die Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen minimiert werden.

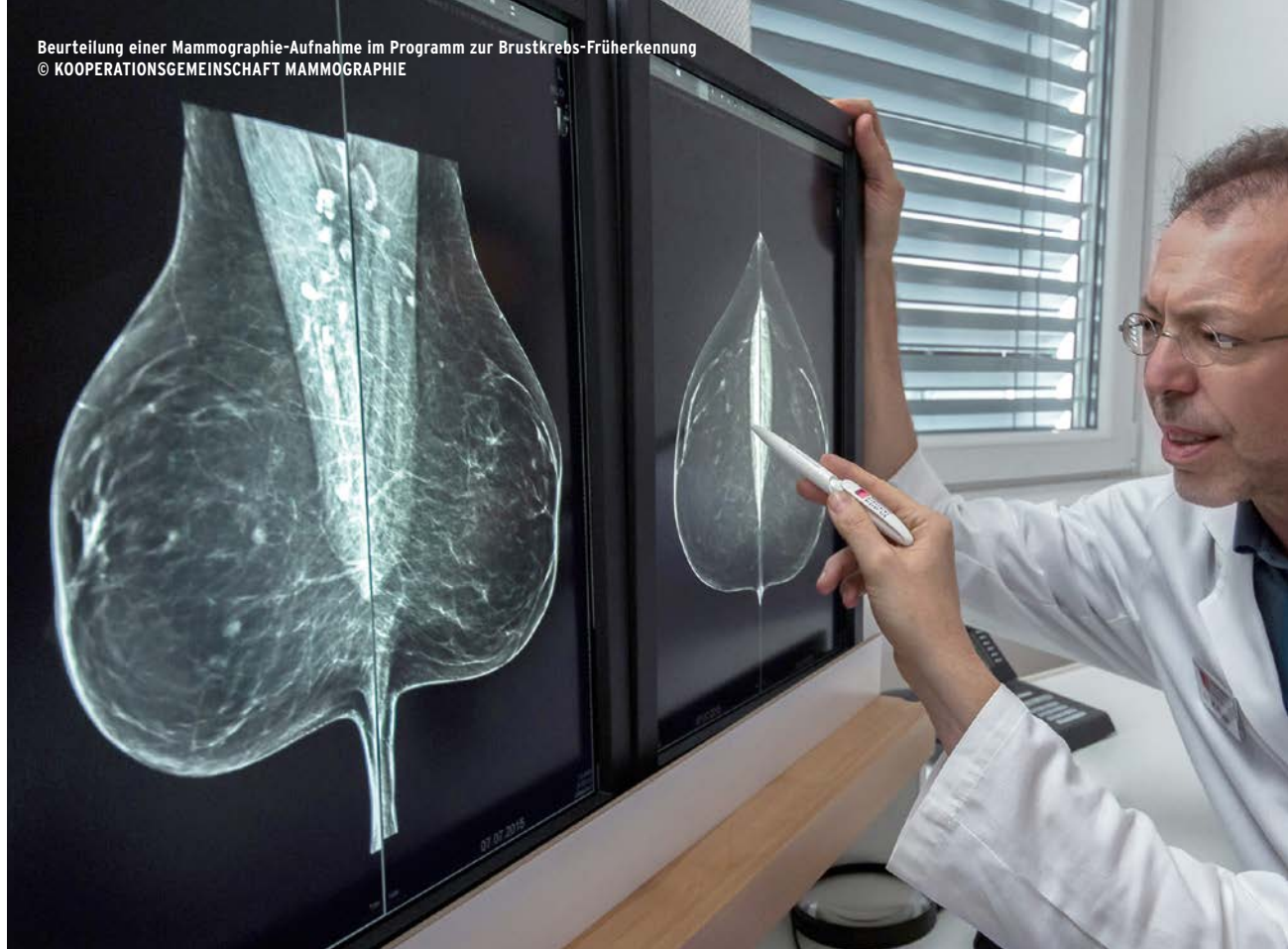
Ziel ist es zu gewährleisten, dass für den einzelnen Patienten der Nutzen der Strahlenanwendung das damit verbundene Strahlenrisiko übersteigt.

## Neuartige Verfahren

Gemäß Euratom-Grundnormen müssen neue – wie auch bestehende – Arten von Tätigkeiten mit medizinischer Exposition gerechtfertigt sein. Dies beinhaltet eine wissenschaftliche Bewertung der entsprechenden Arten diagnostischer und therapeutischer Verfahren, wobei das daraus resultierende Strahlenrisiko gegen den zu erwartenden Nutzen abzuwägen ist.

Angesichts des raschen medizinischen Fortschritts, der immer neue diagnostische Möglichkeiten eröffnet, bedarf es dazu einer fortlaufenden Bewertung der wissenschaftlichen Literatur. Derzeit sind dabei die Weiterentwicklung der Computertomographie (CT) und die Kombination zweier etablierter Bildgebungsverfahren in einem Gerät (z. B. Positronen-Emissions-Tomographie mit Computertomographie (PET-CT)) von Bedeutung.

Patientin bei der Computertomographie (CT)  
© GETTY IMAGES / SIGRID GOMBERT



Das Ziel des Mammographie-Screening-Programms ist die langfristige Verringerung der Brustkrebsmortalität in der Bevölkerung.

### Früherkennung

Eine besondere Herausforderung im Hinblick auf den Grundsatz der Rechtfertigung stellen radiologische Untersuchungen dar, die zum Zwecke der Früherkennung von Krankheiten durchgeführt werden. Diese können sowohl im Rahmen eines organisierten Früherkennungsprogramms als auch als individuelle Früherkennungsmaßnahme durchgeführt werden. In beiden Fällen werden Personen ohne Krankheitssymptome oder begründeten Krankheitsverdacht, sogenannte asymptomatische Personen, mit Hilfe ionisierender Strahlung untersucht. Neben den bereits vorher bestehenden Regelungen zur Durchführung von Früherkennungsprogrammen sehen die neuen Euratom-Grundnormen nunmehr ausdrücklich die Durchführung individueller Früherkennungsuntersuchungen vor, sofern hierbei bestimmte Rahmenbedingungen beachtet werden.

### Mammographie-Screening-Programm (MSP)

Seit 2009 wird in Deutschland flächendeckend allen asymptomatischen Frauen zwischen 50 und 69 Jahren im zweijährigen Turnus eine Mammographie-Untersuchung zur Früherkennung von Brustkrebs angeboten. Besonderer Wert wird dabei auf ein qualitätsgesichertes Verfahren und die Durchführung durch besonders geschultes Personal gelegt. Das übergeordnete Ziel dieses Mammographie-Screening-Programms ist die langfristige Verringerung der Brustkrebsmortalität in der Bevölkerung.

Um die Wirkung auf die Brustkrebsmortalität zu untersuchen, ist eine eingehende Nutzen-Risiko-Bewertung notwendig. Zurzeit lässt das BfS im Rahmen einer Machbarkeitsstudie prüfen, ob und gegebenenfalls auf welche Weise in Deutschland eine solche Evaluation des MSP realisiert werden kann.



### Individuelle Früherkennungsmaßnahmen

Zunehmend werden – auch in Deutschland – individuelle Früherkennungsmaßnahmen unter Anwendung ionisierender Strahlung durchgeführt. Dazu zählen neben konventionellen Röntgenaufnahmen auch dosisintensivere Verfahren wie die Computertomographie, z. B. zur Früherkennung von Lungenkrebs, verengten Herzkranzgefäßen oder von Darmpolypen und Darmkrebs. Selbst Ganzkörper-CTs werden von radiologischen Praxen angeboten.

Nach der Umsetzung der Euratom-Grundnormen in deutsches Recht können solche individuellen Früherkennungsmaßnahmen grundsätzlich zugelassen werden. Dabei werden aber hohe Anforderungen an die Rechtfertigung und Durchführung gestellt.

Da der Nutzen der in Frage kommenden individuellen Früherkennungsuntersuchungen noch Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion ist, ist eine sorgfältige wissenschaftliche Bewertung unter Beteiligung der zuständigen medizinischen Fachgesellschaften erforderlich.

Dies beinhaltet für die verschiedenen Verfahren unter anderem eine verlässliche Abschätzung des Strahlenrisikos, eine Nutzen-Risiko-Abwägung sowie die Festlegung von Anforderungen an ein standardisiertes Qualitätsmanagement.

### Diagnostische Referenzwerte

Auch etablierte und standardisierte Untersuchungen in der Röntgen- oder nuklearmedizinischen Diagnostik sind so durchzuführen, dass die Strahlenbelastung für Patientinnen und Patienten so gering wie möglich ist. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat laut Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung die Aufgabe, diagnostische Referenzwerte für diese standardisierten Untersuchungen zu veröffentlichen und regelmäßig zu aktualisieren. Die diagnostischen Referenzwerte sind Richtwerte der Strahlendosis, die bei normalgewichtigen Patientinnen und Patienten in der Regel nicht überschritten werden sollten.

Moderne Dosismanagementsysteme können bei der systematischen, dauerhaften und automatischen Erfassung dosisrelevanter Größen aus diagnostischen Strahlenanwendungen behilflich sein. Beispielsweise können mit Hilfe von Dosismanagementsystemen technische Neuerungen an den Geräten hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Dosis systematisch bewertet werden. Darüber hinaus können sie die Übermittlung von Dosiswerten durch die ärztlichen Stellen an das BfS erheblich vereinfachen.

### Aus Erfahrungen lernen: Meldesystem zum Schutz der Gesundheit von Patientinnen und Patienten

Durch die zunehmende Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin steigt nicht nur die Strahlenexposition der Bevölkerung, sondern es nimmt auch die Gefahr von Fehlbestrahlungen und Unfällen zu. Daraus können sich für die Patientinnen und Patienten unmittelbare gesundheitliche Schäden oder gesundheitliche Risiken ergeben. Der Strahlenschutz hat zum Ziel, solche Vorkommnisse zu verhindern. Vergangenes lässt sich nicht ungeschehen machen, aber man kann daraus lernen. So lassen sich auch Fehlbestrahlungen und Unfälle in der Medizin dahingehend analysieren, was die Ursachen waren und wie man sie zukünftig vermeiden kann. In Artikel 63 der Euratom-Grundnormen ist ein neues Meldesystem vorgesehen, das sicherstellen soll, dass bedeutsame Ereignisse von einer Behörde gesammelt und bewertet werden. Diese Behörde soll die Informationen zeitnah an die jeweiligen Anwender weitergeben.

### Medizinische Diagnostik: meist geringe Einzeldosis, aber oft viele Betroffene

In der medizinischen Diagnostik (z. B. klassische Röntgenaufnahmen oder Computertomographie) ist auch bei Fehlbestrahlungen die zusätzliche Strahlendosis in der Regel klein. Es entstehen keine unmittelbaren gesundheitlichen Schäden. Unter Umständen können von den Fehlbestrahlungen aber viele Personen betroffen sein. Dann kann das Risiko für sogenannte stochastische Strahlenschäden, d. h. in erster Linie Krebserkrankungen, für diese Personengruppe ansteigen.

### Strahlentherapie: meist nur Einzelpersonen betroffen, aber oft hohe Dosen

In der Strahlentherapie ist das Ziel meistens die Abtötung von Krebszellen. Daher muss die Dosis im Tumor hoch sein. Es lässt sich nicht vermeiden, dass dabei auch das umliegende Gewebe geschädigt wird. Bevor die Behandlung beginnt, erfolgt daher eine sorgfältige Bestrahlungsplanung mit dem Ziel, den Tumor bestmöglich zu zerstören und das umliegende Gewebe so weit wie möglich zu schonen.

Bei Fehlbestrahlungen und Unfällen in der Strahlentherapie besteht die Gefahr, dass gesundes Gewebe unnötig geschädigt wird.

Da jede Bestrahlung individuell geplant und eingestellt wird, ist oft nur eine Person von einer Fehlbestrahlung betroffen. Für diese sind aber unmittelbare gesundheitliche Folgen zu erwarten.

Ein Beispiel: An einem Röntgengerät wurden im passwortgeschützten Bereich die Grundeinstellungen verändert, ohne dass es bemerkt wurde. Dadurch erhielten bei Thoraxaufnahmen über ein Jahr hinweg insgesamt über 4.500 Personen einmalig eine erhöhte Dosis von 0,27 bis 1,14 mSv anstelle der üblichen etwa 0,03 mSv. Für die einzelnen Patientinnen und Patienten ist diese erhöhte Dosis nicht gravierend. Wegen der großen Anzahl von Betroffenen ist diese Fehlbestrahlung aber für den Strahlenschutz relevant.





Ein Beispiel: Eine Patientin wurde bei 20 Bestrahlungen jeweils mit der doppelten Dosis bestrahlt. Ursache war eine falsche Berechnung bei der Bestrahlungsplanung. Die Dosis im Tumor betrug 72 Gray (Gy) statt wie vorgesehen 36 Gy. In der Folge traten stärkere Nebenwirkungen auf, ohne dass sich der Nutzen für die Tumorbekämpfung nennenswert erhöhte. Als Ursache solcher Fehlbestrahlungen kommen sowohl technische Fehler als auch menschliches Versagen in Frage. Beides lässt sich nie ganz vermeiden, aber durch geeignete Maßnahmen kann das Risiko dafür verringert werden.

### Neues Meldesystem zum besseren Schutz der Patientinnen und Patienten

Bisher gibt es in Deutschland nur eine unvollständige Erfassung bedeutsamer Vorkommnisse in der Medizin, da sie bislang nicht meldepflichtig sind und es keine definierten Meldekriterien gibt. Der Nutzen des bisherigen Meldesystems ist gering, da die Betreiber wahrscheinlich nicht alle relevanten Ereignisse melden und die Informationen über Ursachen, Ereignisablauf und begünstigende Faktoren lückenhaft sind. Auf dieser Basis können keine Lehren aus den Vorkommnissen gezogen werden, die an andere Anwender weitergegeben werden könnten. Die neuen Euratom-Grundnormen fordern daher die Mitgliedsstaaten auf, ein neues Meldesystem für besondere Vorkommnisse in der Medizin einzurichten.

Ziel ist ein besserer Schutz der Patientinnen und Patienten bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung.

Das BfS schlägt vor, für die gesamte Bundesrepublik eine zentrale Meldestelle zu etablieren. Die Länderbehörden sollen wie bisher die Meldungen aufnehmen und bewerten. Dann sollen die Meldungen zeitnah an die zentrale Stelle übergeben werden. Deren Aufgabe ist es, die Meldungen unter übergeordneten Strahlenschutzaspekten zu analysieren, die notwendigen Schlüsse daraus zu ziehen, und die von dem Betreiber getroffenen Gegenmaßnahmen zu bewerten bzw. eigene vorzuschlagen.

Die zentrale Stelle soll dann das Vorkommnis, seine Ursachen und Auswirkungen, die Schlussfolgerungen sowie die bewerteten Gegenmaßnahmen den Anwendern in geeigneter Weise zugänglich machen.

# Beruflicher Strahlenschutz

Neben der Strahlenexposition durch medizinische Anwendungen trägt die berufliche Strahlenexposition – wenn auch in deutlich geringerem Ausmaß – zur Gesamtstrahlenbelastung der Bevölkerung bei.

An vielerlei Arbeitsplätzen können Beschäftigte ionisierender Strahlung ausgesetzt sein: Medizinisches Personal bedient z. B. Röntgengeräte und Computertomographen für bildgebende Diagnostik, Strahlenquellen zur Krebstherapie oder wendet offene radioaktive Stoffe zur Diagnose und Therapie von Krankheiten an. Neben Arbeitsplätzen in der Kerntechnik (Kernkraftwerke, Entsorgung, Transport, Lagerung, Stilllegung, Rückbau) verwendet man ionisierende Strahlung in der Industrie, z. B. in der zerstörungsfreien Materialprüfung oder in der Forschung. An manchen Arbeitsplätzen kann es zu einer erhöhten Exposition kommen, z. B. durch kosmisch bedingte Umgebungsstrahlung (fliegendes Personal) oder durch natürliche radioaktive Stoffe (z. B. im Bergbau oder in Wasserwerken).

## Das Strahlenschutzregister im BfS

Die Aufsichtsbehörden der Bundesländer bestimmen Personendosismessstellen und Inkorporationsmessstellen, die die berufliche Strahlenexposition überwachen. Jede dieser Messstellen überwacht beruflich strahlenexponierte Personen mittels Dosimetern oder durch Inkorporationsmessung und übermittelt in der Regel monatlich die festgestellten Dosiswerte personenbezogen an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Für das fliegende Personal werden die Dosiswerte vom Luftfahrt-Bundesamt übermittelt. Da die physikalischen Bedingungen auf Flügen sehr genau bekannt sind, kann die Strahlenbelastung pro Flug anhand von Erkenntnissen aus grundlegenden physikalischen Messungen und den spezifischen Flugdaten berechnet werden. Daraus lässt sich die monatliche Strahlenbelastung für jede überwachte Person errechnen. Im Strahlenschutzregister werden die verschiedenen Messwerte und Meldungen personenbezogen zusammengeführt, auf die Einhaltung von Grenzwerten überwacht, statistisch analysiert und mit Blick auf die Optimierung bewertet.

## Optimierung im beruflichen Strahlenschutz

Mit Hilfe tätigkeitsbezogener Auswertungen und Trendanalysen kann der Erfolg der Optimierung des beruflichen Strahlenschutzes in Deutschland beurteilt werden. Die Ergebnisse dieser Auswertungen werden in jährlichen Berichten zusammengefasst. Sie enthalten z. B.

- die zeitliche Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der Strahlenexposition in den verschiedensten Tätigkeitsbereichen,
- Arbeitsfelder, in denen vergleichsweise hohe Kollektiv- oder Individualdosen auftreten.

Aus den Analysen lassen sich gegebenenfalls gezielte Strahlenschutzmaßnahmen ableiten. Dies kann bei technologisch bedingten Veränderungen erforderlich sein, z. B. wenn in der Medizin neue Diagnose- und Therapiemöglichkeiten zu einer veränderten Strahlenexposition des Personals führen (z. B. Teilkörperexpositionen der Hand).





### Beruflicher Strahlenschutz international

Das Strahlenschutzregister wirkt auch auf internationaler Ebene an der Weiterentwicklung des beruflichen Strahlenschutzes mit. Es unterstützt die von UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) durchgeführten Datenerhebungen zur beruflichen Strahlenbelastung. Ein wichtiges Anliegen ist die Harmonisierung der beruflichen Strahlenschutzüberwachung in Europa. Die Euratom-Grundnormen gelten für alle europäischen Mitgliedsstaaten. Da immer mehr Erwerbstätige, die mit ionisierender Strahlung umgehen, ihren Arbeitsplatz innerhalb Europas wechseln, muss für diese Personen auch ein grenzüberschreitender beruflicher Strahlenschutz sichergestellt werden.

### ESOREX-Plattform

Im Jahr 1997 hat das BfS im Auftrag der Europäischen Kommission das sogenannte ESOREX-Projekt (ESOREX: European Studies of Occupational Radiation Exposure) ins Leben gerufen. In diesem Projekt wurden in einer Reihe von Studien Daten über die berufliche Strahlenschutzüberwachung in bis zu 30 europäischen Staaten erhoben. Die jeweiligen nationalen Systeme der beruflichen Strahlenschutzüberwachung wurden vergleichend beschrieben und es wurde ein europäisches Netzwerk zwischen den nationalen Institutionen der beruflichen Strahlenschutzüberwachung geschaffen. Auf der Basis dieser Erhebungen wurde 2015 vom französischen „Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)“ unter Beteiligung des BfS ein Datensystem zum beruflichen Strahlenschutz in Europa als „ESOREX Plattform“ aufgebaut. Im Sinne der europäischen Harmonisierung des beruflichen Strahlenschutzes sollen in Deutschland die bisherigen Kategorien beruflicher Tätigkeiten überarbeitet und an das Kategoriensystem der ESOREX Plattform angepasst werden. Nach diesem System werden in Zukunft auch die regelmäßigen UNSCEAR- und ESOREX-Erhebungen durchgeführt.

### Individuelle Strahlenschutzüberwachung

Die Bedeutung des Strahlenschutzregisters für jede einzelne beruflich strahlenexponierte Person ergibt sich aus der Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte für die zulässige jährliche Strahlenbelastung und die Berufslebensdosis. Die neue Euratom-Grundnormenrichtlinie (2013/59/EURATOM) verlangt für die nationalen Datensysteme die Verwendung eindeutiger Kennzeichen für Personen und Betriebe, damit die Daten über Strahlenexpositionen und Strahlenpässe stets den richtigen Personen zugeordnet werden können, und zwar auch dann, wenn eine Person den Namen ändert oder die Personalien unvollständig oder fehlerhaft sind. Mit der Umsetzung der neuen Grundnormen muss daher für das Strahlenschutzregister ein geeignetes Personenkennzeichen eingeführt werden, das hinreichend eindeutig ist, über die gesamte Berufslebenszeit und 30 Jahre darüber hinaus sowie bei Namensänderung unverändert bleibt und auch bei einem Arbeitgeber- oder Messstellenwechsel verfügbar ist. Der Datenaustausch zwischen Messstellen, Registrierbehörden und dem Strahlenschutzregister soll im Zuge der Neustrukturierung erleichtert werden.

Eine besondere Herausforderung wird die Integration der bisher erfassten ca. 80 Millionen Strahlenschutzregistermeldungen in ein neues System darstellen.







