

Forschungsprogramm zum Strahlenschutz für den Zeitraum 2013 - 2017



Bundesamt für Strahlenschutz

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Inhaltsverzeichnis..... | 2 |
| Vorbemerkung zum Forschungsprogramm Strahlenschutz | 3 |
| I Wirkung und Risiko ionisierender Strahlung | 7 |
| II Beruflicher Strahlenschutz | 12 |
| III Medizinischer Strahlenschutz | 16 |
| IV Wirkung und Risiko optischer Strahlung | 20 |
| V Wirkungen und Risiken elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder; Ultraschall | 24 |
| VI Strahlenschutz bei natürlicher Radioaktivität | 28 |
| VII Überwachung und Bewertung der Umweltradioaktivität | 32 |
| VIII Radioökologie | 35 |
| IX Emissions- und Immissionsüberwachung | 39 |
| X Strahlenschutz bei der Endlagerung | 42 |
| XI Nuklearspezifische Gefahrenabwehr | 45 |
| Abkürzungsverzeichnis | 48 |

Vorbemerkung zum Forschungsprogramm Strahlenschutz

Das vorliegende Forschungsprogramm beschreibt für den Zeitraum der Jahre 2013 bis 2017 die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zur sachgerechten und effektiven Aufgabewahrnehmung im Bereich des Strahlenschutzes vordringlich zu bearbeitenden und zu untersuchenden Forschungsfragen und Entwicklungsprojekte. Es verfolgt drei strategische Ziele:

- Auf Grund des technischen Fortschritts und gesellschaftlicher Entwicklungen sich ändernde oder bislang unzureichend erforschte Strahlenexpositionen und -risiken sind belastbar erfasst und in ihren Wirkzusammenhängen untersucht und bewertet. Unsicherheiten der Expositions- und Risikoabschätzungen sind ermittelt und möglichst gering.
- Fundierte Grundlagen für die Vermeidung potenzieller und für das Management bereits existierender erhöhter Strahlenexpositionen, zum Beispiel durch Radon in Innenräumen, sind geschaffen.
- Strahlenhygienisch begründete Maßnahmen gegen unfallbedingte Strahlenexpositionen sind erarbeitet.

Diese strategische Ausrichtung gilt für den Schutz der allgemeinen Bevölkerung ebenso wie für beruflich strahlenexponierte Personengruppen und für Strahlenanwendungen in der Medizin, für ionisierende Strahlung ebenso wie für nicht-ionisierende Strahlung. Ein Erkenntnisfortschritt hinsichtlich der Wirkungen und Risiken der ionisierenden Strahlung im Niedrig-Dosis-Bereich erscheint hier besonders bedeutsam. Diesem Bereich sind einerseits die meisten Expositionen für Bevölkerung, im Beruf und in der medizinischen Diagnostik zuzuordnen, andererseits bestehen hier aber die größten Abschätzunsicherheiten.

Eine vorausschauende Bewertung der Risiken neuer Verfahren, Anwendungen und Techniken ist für das Erreichen dieser Ziele von großer Bedeutung. Dies gilt u. a. für die in der Medizin eingesetzten radiologischen bildgebenden Untersuchungsmethoden, für Screeningprogramme im Rahmen der gesundheitlichen Vorsorge sowie für den sich über einen weiten Frequenzbereich erstreckenden Anwendungsbereich elektromagnetischer Felder und Anwendungen optischer Strahlung. Aufgrund technologischer Weiterentwicklungen, intensiver Nutzung im Gesundheits- und Wellnessbereich und sich verändernder Lebensweisen sind begleitende Untersuchungen zu den strahlenhygienischen Aspekten insbesondere dort notwendig, wo direkte Anwendungen am Menschen vorgesehen sind.

Damit der Strahlenschutz seine gesellschaftliche Aufgabe erfüllt, bedarf es einer ganzheitlichen Vorgehensweise bei Rechtfertigungs- und Optimierungsentscheidungen. Beispielsweise dürfen radiologische Risiken, die mit der Anwendung ionisierender Strahlung in der Medizin verbunden sind, die in radiologischen Notfallsituationen bestehen oder die bei der Entsorgung bzw. der Rückholung von radioaktiven Abfällen auftreten, nicht isoliert betrachtet werden. Sie sind in der Gegenüberstellung zum beabsichtigten bzw. erwarteten

Nutzen zu bewerten. In Zukunft kommt der Rechtfertigung und Optimierung im Strahlenschutz neben der Grenzwertsetzung eine noch größere Bedeutung zu.

Auch hat die am 11. März 2011 in Fukushima als Folge des Erdbebens und des damit verbundenen Tsunamis eingetretene Nuklearkatastrophe in dem vorliegenden Forschungsprogramm seinen Niederschlag gefunden. So hat der Reaktorunfall von Fukushima gezeigt, welche hohe Bedeutung einem wirksamen Notfallmanagement und einer funktionsfähigen und effektiven Kommunikation zwischen den Handelnden, aber auch gegenüber der Bevölkerung zukommt. Fragen einer verbesserten Risiko- und Krisenkommunikation sind daher auch Teil des Forschungsprogramms des BfS. Hier werden nahe an natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen auch gesellschaftswissenschaftliche und ethische Themen bearbeitet.

Die aktuellen¹ Forschungsfragen des Strahlenschutzes betreffen vorrangig die folgenden Themenfelder:

- Den Einsatz ionisierender Strahlung in der Medizin und nicht-ionisierender, einschließlich der optischen Strahlung in Medizin und im Wellnessbereich.
- Die Quantifizierung gesundheitlicher Risiken durch ionisierende Strahlung, elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder sowie optische Strahlung.
- Die Erfassung und Bewertung von Strahlenexpositionen für die allgemeine Bevölkerung, im Beruf und bei medizinischen Anwendungen.
- Die Erfassung und Bewertung der individuellen Strahlenempfindlichkeit im Hinblick auf eine individual-medizinische und evidenzbasierte Behandlung in der Medizin, wie auch auf eine verbesserte Risikoabschätzung bei beruflicher Exposition und in Notfalleinsätzen unter Beachtung der sich daraus stellenden ethischen und gesellschaftlichen Fragestellungen.
- Die radiologischen Belastungen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen bei der Zwischenlagerung und im Rahmen der Langzeitsicherheit bei ihrer Endlagerung.
- Die gesundheitlichen Auswirkungen natürlich vorkommender radioaktiver Stoffe, insbesondere Radon in Innenräumen, einschließlich der Schaffung wissenschaftlich fundierter Handlungsstrategien zu deren Begrenzung.
- Die Überwachung und Bewertung der anthropogenen Umweltradioaktivität einschließlich der Vorsorge zur Bewältigung von kerntechnischen und radiologischen Notfallsituationen.
- Den Schutz von Einzelpersonen und der Bevölkerung vor Strahlenexpositionen beim Verlust radioaktiver Quellen oder vor deren missbräuchlicher Verwendung zu kriminellen oder terroristischen Zwecken.

¹ Ereignisse wie Fukushima können natürlich zu einer Neuorientierung bzgl. der geplanten Forschungsschwerpunkte führen.

- Die Erweiterung des Kenntnisstandes und die Entwicklung fortschrittlicher Modelle zum Verhalten radioaktiver Stoffe in der Umwelt und zur Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung.

Die sich in diesen Themenfeldern ergebenden Forschungsfragen werden entweder in Eigenforschung untersucht oder im Rahmen der sogenannten extramuralen Ressortforschung durch die Vergabe von Forschungsaufträgen an Auftragnehmer bearbeitet. Diese stammen überwiegend aus dem universitären oder außeruniversitären Forschungsbereich. Dabei erfolgt die Vergabe von Forschungsaufträgen im Rahmen des Umweltforschungsplans (UFOPLAN) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Das BfS als wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMU übernimmt für den Bereich Strahlenschutz zentrale Aufgaben bei Aufstellung und Ausführung des UFOPLAN.

Das vorliegende Forschungsprogramm berücksichtigt, dass mit der Gründung des Kompetenzverbundes Strahlenforschung (KVVSF) durch das Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fachlich einschlägige, aber eher der Grundlagenforschung zuzuordnende Themen mit dem Ziel des Kompetenzerhalts in den kommenden Jahren aus Mitteln des BMBF gefördert werden.

Für die Bewältigung der Forschungsaufgaben des BfS sind neben den Erkenntnissen aus Forschungsvorhaben und der wissenschaftlichen Literatur die Vernetzung mit nationalen und internationalen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen und Gremien von großer Bedeutung. Um an den europäischen Forschungsprogrammen beteiligt zu sein und diese mitgestalten zu können, wirkt das BfS in zahlreichen Forschungsvorhaben und -netzwerken der nationalen und internationalen Strahlenschutzforschung mit und trägt zu deren weiteren Entwicklung bei. Auf europäischer Ebene haben sich in den letzten Jahren im Bereich der Strahlenschutzforschung Wissenschaftsplattformen auf den Gebieten des gesundheitlichen Strahlenschutzes (MELODI), der Radioökologie (ALLIANCE) und des Notfallschutzes (NERIS) etabliert. Ziel dieser Plattformen ist es, strategische Forschungsprogramme zu entwickeln, Forschungsprioritäten zu benennen und Ressourcen zu bündeln. In der Perspektive sollen diese Plattformen unter einer Schirmorganisation zusammengefasst werden mit dem Ziel, ein Europäisches Strahlenschutzforschungsprogramm mit gemeinsamer Prioritätensetzung zu erarbeiten. An diesen Plattformentwicklungen nimmt das BfS an zentraler Stelle teil. Die Themen des vorliegenden Forschungsprogramms des BfS wurden in die europäische Diskussion eingebracht, wie auch umgekehrt wichtige Impulse aufgenommen wurden.

Inhaltlich umfasst das Wissenschaftsverständnis des BfS aber auch das fachliche, konzeptionelle Arbeiten im Zusammenhang mit Vollzugs- und Genehmigungsaufgaben, die notwendig auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauen und ein tiefes Verständnis der

wissenschaftlichen Grundlagen voraussetzen. Auch für diese dem BfS durch Errichtungsgesetz zugewiesenen Aufgaben sind die Einbindung und die Mitarbeit in nationalen und internationalen fachlichen Arbeitsgruppen und Gremien und die daraus gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse von substantieller Bedeutung, um den Strahlenschutz im Rahmen der Basic Safety Standards der IAEA und der Strahlenschutzgrundnormen der Europäischen Union mitgestalten, weiterentwickeln und anwenden zu können. Das BfS beteiligt sich dazu unter anderem an Fachgremien der EU, der IAEA, der OECD-NEA und der WHO. Fachleute des BfS sind Mitglieder in ICRP und ICNIRP.

Hauptaufgabe der Fachbereiche Strahlenschutz und Gesundheit (SG) und Strahlenschutz und Umwelt (SW) im BfS sind die Erfassung und Bewertung von Strahlenexpositionen für die Bevölkerung, im Beruf, bei medizinischen Anwendungen und in radiologischen Notfallsituationen, die Beratung und Unterstützung des BMU in diesen Themenfeldern sowie Verwaltungs- und Vollzugsaufgaben auf den Gebieten des Strahlenschutzes und der Strahlenschutzvorsorge. Die Notwendigkeit von Forschung, ihr Umfang und ihre Intensität werden von den gesetzlich zugewiesenen Fachaufgaben und den Vorgaben des Ressorts bestimmt. Forschung wird mit der Zielsetzung betrieben, Entscheidungshilfen für die Wahrnehmung dieser Aufgaben zu liefern und bildet damit die Basis gesetzlicher Regelungen. Insofern steht der im Errichtungsgesetz des BfS formulierte Forschungsauftrag nicht gleichrangig neben den hoheitlichen Aufgaben und den Dienstleistungsfunktionen des Amtes. Vielmehr besitzen die Forschungsaktivitäten des BfS einen engen aufgabenakzessorischen Bezug, der letztlich eine unterstützende Funktion der Forschung im Hinblick auf die sachgerechte Erledigung der Fachaufgaben des Ressorts darstellt. Diese sind der Anforderung unterworfen, dass Schadensvorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu treffen ist.

I Wirkung und Risiko ionisierender Strahlung

Das Ziel ist die Bewertung gesundheitlicher Risiken des Menschen durch ionisierende Strahlung. Dies umfasst zum einen die quantitative Abschätzung der Höhe des strahlenbedingten Gesundheitsrisikos vorwiegend durch epidemiologische Studien sowie die genaue Kenntnis der Wirkmechanismen auf biologischer Ebene. Im Fokus stehen neben Krebserkrankungen zukünftig auch Nicht-Krebserkrankungen in dem für den Strahlenschutz relevanten Niedrig-Dosis-Bereich.

I.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Das BfS gewährleistet den Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung. Für die Weiterentwicklung des Strahlenschutzes der Bevölkerung ist die verbesserte Quantifizierung des strahlenbedingten Krebsrisikos im Niedrig-Dosis-Bereich von besonderer Bedeutung. Derzeit wird von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen. Abschätzungen hierfür basieren zumeist auf Extrapolation von Daten höher exponierter Personen aus epidemiologischen Studien oder auf Tierversuchen und sind von daher mit Unsicherheiten behaftet.

Weitere erhebliche wissenschaftliche Unsicherheiten bestehen bezüglich eines möglichen kausalen Zusammenhangs zwischen ionisierender Strahlung und Nicht-Krebserkrankungen wie z.B. Herz-Kreislauferkrankungen oder Katarakten im Niedrig-Dosis-Bereich. Offen sind auch die Wirkungen und Risiken unterschiedlicher Strahlenqualitäten und Dosisraten, sowie die Frage nach Faktoren, die die individuelle Strahlenempfindlichkeit beeinflussen.

Das BfS geht diesen offenen Fragen mit epidemiologischen und strahlenbiologischen Methoden nach. Ziel ist die Identifikation von Wirkmechanismen und des Expositions-Wirkungs-Zusammenhangs zwischen Krankheit und ionisierender Strahlung. Auf Basis der Erkenntnisse und unter Berücksichtigung aktueller Verfahren der Dosimetrie entwickelt das BfS Strahlenschutzkonzepte laufend weiter und bewertet die Risiken ionisierender Strahlung für Mensch und Umwelt nach dem Stand von Wissenschaft und Technik.

I.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Das BfS ist maßgeblich an dem strategischen EU-Projekt DoReMi (Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration) und der EU-Plattform MELODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative) beteiligt. Hier werden mittel- und langfristig die Forschungsstrategien im Niedrig-Dosis-Bereich auf europäischer Ebene koordiniert. Forschungsschwerpunkte sind die Quantifizierung der Form der Dosis-Wirkungs-Beziehung für Krebserkrankungen, die Abschätzung der individuellen Strahlenempfindlichkeit und die Quantifizierung des Risikos von Nicht-Krebserkrankungen im Niedrig-Dosis-Bereich.

- Strahlenepidemiologie

Das BfS führt seit 1993 die weltgrößte Uranbergarbeiter-Kohortenstudie durch. Diese soll Beiträge zur Quantifizierung des Risikos von Krebs- und Nicht-Krebserkrankungen im Hoch- und Niedrig-Dosis-Bereich ionisierender Strahlung leisten, hier vorwiegend bezogen auf Radon und Gammastrahlung. Das BfS ist weiterhin an der weltweiten Zusammenführung der Daten zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen beteiligt („World Pooling“). Deren Auswertung soll weitere Erkenntnisse zur Expositions-Wirkungs-Beziehung im Niedrig-Dosis-Bereich liefern. Die Risikobewertung von Herzkreislauferkrankungen durch ionisierende Strahlung im Niedrig-Dosis-Bereich ist ein anderer Schwerpunkt. Durch eigene Studien und durch die Beteiligung an Meta-Analysen sollen neue Erkenntnisse zur Bewertung dieses Risikos gewonnen werden. Ziel der Forschung des BfS zu den Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung ist es, bestehende Kenntnislücken zur Wirkung zu schließen und bestehende Unsicherheiten der Risikoabschätzung zu verringern. Neuere Untersuchungen zur Entstehung von Katarakten geben Hinweise auf ein möglicherweise bislang unterschätztes Erkrankungsrisiko. Im Bereich beruflicher Strahlenschutz initiiert das BfS daher epidemiologische Studien zu Katarakten bei interventionellen Kardiologen und Radiologen und ist an der strategischen Planung einer europäischen gemeinsamen Auswertung von Querschnittsstudien zu Katarakten bei interventionellen Kardiologen beteiligt (ELDO-DoReMi).

Mit den Fortschritten der Strahlentherapie und der Anwendung neuer Bestrahlungstechniken stellt sich verstärkt die Frage nach langzeitlichen Nebenwirkungen, z.B. die nach Sekundärtumoren, bzw. nach der Wirkung gemischter Strahlenfelder, die im Zuge der Bestrahlung mit schweren Ionen, beginnend mit Protonen, unvermeidbar entstehen. Der Frage nach Sekundärtumoren bei Kindern nach einer Strahlentherapie mit Protonen und der unterschiedlichen Wirkung von Neutronen und Protonenstrahlung wird daher über ein EU-Vorhaben (ANDANTE) nachgegangen.

Durch die Reaktorkatastrophen in Tschernobyl und Fukushima wurden Teile der Bevölkerung in den angrenzenden Regionen einer erhöhten Strahlendosis ausgesetzt. Bis heute gibt es Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung und in der Bewertung der gesundheitlichen Folgen, insbesondere im Bereich niedriger Dosen. Die Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Fukushima (Kooperation mit WHO) und Tschernobyl (CO-CHER) wird daher in internationaler Kooperation bearbeitet.

- Strahlenbiologie

Das BfS initiiert Untersuchungen zum Wirkmechanismus unterschiedlicher Strahlenqualitäten in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und genetischem Hintergrund und führt sie in den eigenen strahlenbiologischen Laboren durch. Die Forschungsfragen werden im engen Austausch mit nationalen und internationalen Projekten (ZISS, EPI-CT) untersucht.

Darüber hinaus sollen dringend benötigte, aussagekräftige Marker etabliert werden, die Angaben über die allgemeine Strahlenempfindlichkeit des Gesamtorganismus des Patienten und die Strahlenempfindlichkeit von Normal- und Tumorgewebe ermöglichen. Für die Untersuchungen wird sowohl auf Material aus der BfS-eigenen Bioprobenbank als auch auf Material aus Verbundprojekten zurückgegriffen. Zur Bewertung der Wirkungen niedriger Strahlenexpositionen ist ein besseres Verständnis der molekularen Vorgänge nach Exposition notwendig, da dieser Expositionsbereich sich der direkten Beobachtung durch epidemiologische Studien grundsätzlich aus methodischen Gründen entzieht, er aber gleichwohl von großer Bedeutung für Risikobewertung und Strahlenschutz ist. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten des BfS sind daher Untersuchungen zu den Wirkungen niedriger und niedrigster Strahlendosen sowie unterschiedlicher Dosisleistungen. Hier führt das BfS mit europäischen Partnern Untersuchungen hinsichtlich einer veränderten Zellantwort auf Proteomebene in adulten Zellen und Stammzellen durch. Schließlich sollen Beiträge zur Identifikation von Markern zum Nachweis einer länger zurückliegenden Strahlenexposition erbracht werden, sowohl im Normalgewebe von Personen ohne eine Tumorerkrankung als auch in Tumorgeweben von Personen mit bzw. ohne Strahlenbelastung.

Das BfS betreibt eine Bioprobenbank mit z. T. einzigartigem Material für Untersuchungen zum Nachweis einer länger zurückliegenden Strahlenexposition oder zur individuellen Strahlenempfindlichkeit. Im Rahmen internationaler Kooperationen wurde darüber hinaus das Europäische Strahlenbiologische Archiv ERA entwickelt. Es soll der wissenschaftlichen Gemeinschaft langfristig zur Verfügung gestellt werden. Daraus hat sich als weitere Infrastruktur die Plattform STORE entwickelt, die das Konzept eines Data Warehouse verfolgt: Ziel ist es, die Originaldaten möglichst aller bislang aus öffentlichen Mitteln Europas und Deutschlands geförderter strahlenbiologischer und strahlenepidemiologischer Untersuchungen zu katalogisieren und Zugriffsmöglichkeiten auf die Originaldaten unter Beachtung der Belange des Datenschutzes und der Urheberrechte zu schaffen, um Sekundärauswertungen zu ermöglichen.

Das BfS leistet Beiträge zur Weiterentwicklung der biologischen Dosimetrie, die die Dosisrekonstruktion bei unklaren Strahlenexpositionen erlaubt. Das entsprechende Labor des BfS ist national und international in den Notfallschutz eingebunden (IAEA, WHO) und federführend am Aufbau eines europäischen Biodosimetrie-Netzwerkes beteiligt (EU-Projekt RENEB).

- Interdisziplinäre Ansätze

Für die wissenschaftliche Arbeit im Bereich Wirkung und Risiko ionisierender Strahlung ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Epidemiologie und Biologie notwendig. In molekular-epidemiologischen Studien sollen anhand biologischer und molekularer Marker exponierte Personen noch spezifischer untersucht werden. Ziel der Zusammenarbeit ist es, die Erkennungsgrenzen epidemiologischer Untersuchungen durch die Einführung expositions-

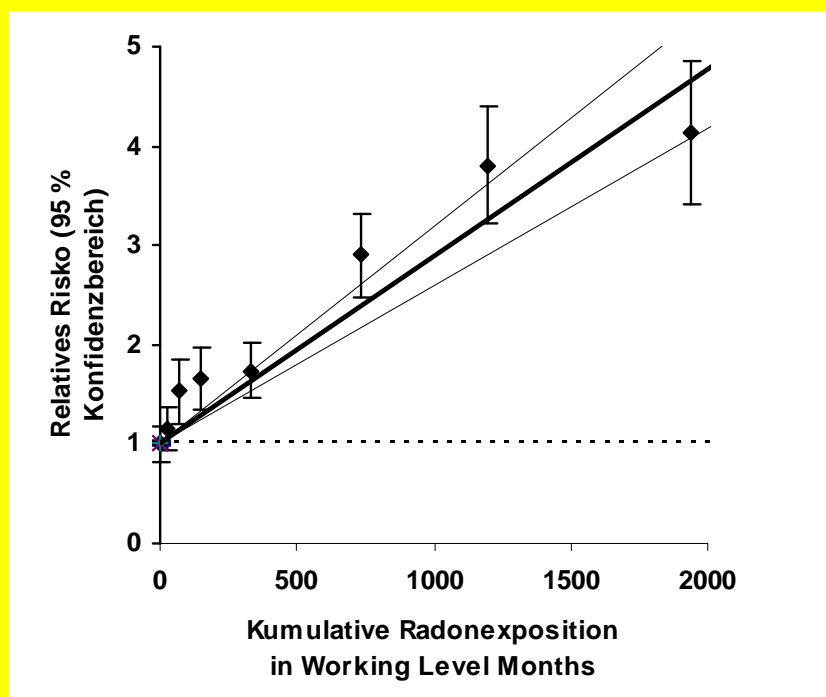
oder erkrankungsspezifischer Marker weiter zu senken, um möglichst auch im Bereich niedriger Dosen quantitative Aussagen treffen zu können. Der Aufbau von Infrastrukturen, um Daten und Biomaterial aus laufenden und früheren Studien langfristig nutzen zu können, ist notwendige Voraussetzung dieser Arbeiten.

Auch Untersuchungen, die sich mit der Entstehung von Leukämien im Kindesalter beschäftigen, haben einen interdisziplinären Charakter. Die Ergebnisse zu erhöhten Erkrankungsraten um Kernkraftwerke und im Zusammenhang mit 50-Hz-Feldern können mit dem bisherigen Wissen nicht erklärt werden (s. hierzu Beitrag "Wirkungen und Risiken elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder; Ultraschall").

Die genannten Themen fügen sich in die im Rahmen von DoReMi und MELODI als relevant definierten Querschnittsthemen ein: Daten- und Biobanken, Analyseplattformen, Kohorten, Nutzung von Wissen außerhalb der Strahlenforschungsgemeinschaft.

Beispiel: Wismut-Studien zu den gesundheitlichen Effekten und biologischen Wirkungen von ionisierender Strahlung

Ein Beispiel für die interdisziplinäre Arbeit von Epidemiologen, Biologen und Dosimetristen auf den Gebieten Wirkung und Risiko durch ionisierende Strahlung sind die Studien zum Uranerzbergbau. Das BfS führt seit 1993 die weltgrößte Uranbergarbeiter-Kohortenstudie („WISMUT-Kohorte“) mit 59.000 ehemaligen Beschäftigten des Uranerzbergbaus in Thüringen und Sachsen durch. Diese waren insbesondere in den Anfangsjahren (ab 1946) einer hohen Radon- und Staubbelastung ausgesetzt, aber auch externer Gamma-Strahlung und interner Exposition durch langlebige Radionuklide. Im Abstand von jeweils fünf Jahren wird festgestellt, wie viele Bergarbeiter an welcher Todesursache verstorben sind. Der Beobachtungszeitraum umfasst derzeit mehr als 60 Jahre (1946-2008). Ziel der Kohortenstudie ist die Quantifizierung der Form des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs zwischen ionisierender Strahlung und Krebs- und Nicht-Krebserkrankungen. Eine umfangreiche Bioprobenbank mit biologischem Material der ehemaligen Beschäftigten bildet die Basis für molekularepidemiologische Studien zur Untersuchung von Wirkmechanismen und individueller Strahlenempfindlichkeit und ermöglicht somit ergänzende Untersuchungsansätze. Die Wismut-Studien sind in mehrere EU-Projekte und die strategischen Forschungsschwerpunkte des oben genannten DoReMi-Projekts eingebunden.



*Lungenkrebsrisiko durch Radon in der Wismutkohorte
(1 Working Level Month := Radonexposition über einen Arbeitsmonat (170 Stunden)
bei einer alpha-Energiedeposition in 1l Luft von $1,30 \cdot 10^5$ MeV)*

II Beruflicher Strahlenschutz

In Deutschland sind annähernd 400.000 Personen beruflich strahlenschutzüberwacht. Sie sind hauptsächlich in der Medizin, Industrie, Kerntechnik oder als fliegendes Personal tätig. Die Forschung und Entwicklung zur beruflichen Strahlenschutzüberwachung leistet Beiträge zur Anpassung der dosimetrischen Verfahren und der Maßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition (ALARA-Prinzip) an neue Expositionssituationen, technische Neuentwicklungen sowie geänderte rechtliche Anforderungen.

II.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Nach Atomgesetz, Strahlenschutz- und Röntgenverordnung führt das Bundesamt für Strahlenschutz zur Überwachung der Dosisgrenzwerte und Beachtung des Minimierungsgrundsatzes (ALARA-Prinzip) des Strahlenschutzes das Strahlenschutzregister. Unter Berücksichtigung sich ändernder Rahmenbedingungen sind Strahlenschutzregister und Leitstelle Inkorporationsüberwachung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu betreiben und weiter zu entwickeln.

Beispiele für sich ändernde Expositionsszenarien sind einerseits der zunehmende Umfang an Tätigkeiten bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen und andererseits Arbeiten in gemischten Strahlenfeldern im medizinischen Bereich, z.B. Beta-/Photonen- bzw. Protonen-/Neutronen-Felder. Die Absenkung des Dosisgrenzwertes für die Augenlinse schafft neue Herausforderungen im Bereich der Dosimetrie. Ein weiteres Arbeitsfeld ist die Ermittlung der Exposition des fliegenden Personals, die notwendigerweise rechnerisch erfolgt. Hierfür sind die eingesetzten Dosisberechnungsprogramme unter Einbeziehung des Einflusses von Sonnenzyklus und solaren Massenauswürfen anhand von Messdaten zu validieren.

II.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

- Erhebung tätigkeitsbezogener Expositionen in kerntechnischen Anlagen

Im Rahmen einer mittelfristigen Studie sollen die tätigkeitsbezogenen Expositionen in allen deutschen kerntechnischen Anlagen erfasst und unter dem Gesichtspunkt des ALARA-Prinzips analysiert werden. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf die zunehmend bedeutsamer werdenden Bereiche Stilllegung und Rückbau gelegt.

Inkorporationsrisiken beim Rückbau kerntechnischer Anlagen wurden bisher nicht systematisch untersucht. Derzeit gibt es keine Übersicht über tätigkeitsspezifische Inkorporationen des Fremdpersonals, das gemäß § 15 StrlSchV in Kontrollbereichen fremder Anlagen tätig ist. Um Grundlagen zur Bewertung des Inkorporationsrisikos zu schaffen, sollen die

bisherigen Inkorporationen bei den behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen erhoben werden.

- Validierung der rechnerischen Bestimmung der Ortsdosisleistung in Flugzeugen

Die Strahlenexposition des fliegenden Personals auf Flugrouten wird mittels der in Deutschland zugelassenen Rechenprogramme ermittelt. Wesentlichen Einfluss auf die Dosis haben der etwa elfjährige Sonnenzyklus, Veränderungen des Erdmagnetfelds und das unregelmäßige Auftreten von solaren Ereignissen (Solar Particle Events, SPE). Von 2009 bis 2012 wurden zwei deutsche Verkehrsflugzeuge, die weltweit im Dauereinsatz waren, mit geeigneten Dosimetern ausgestattet. So wurden auf zahlreichen Flugrouten die Ortsdosisleistung und Flugroutendosis ermittelt und mit den Ergebnissen der Rechenprogramme verglichen. Das Projekt soll fortgesetzt werden, damit die Messungen mindestens einen halben Sonnenzyklus umfassen und Auswirkungen sowohl niedriger als auch hoher Sonnenaktivität (einschließlich Maximum und Minimum) erfasst werden. Ferner ist zu erwarten, dass in den folgenden Jahren aufgrund der zunehmenden Sonnenaktivität vermehrt SPE auftreten werden.

- Entwicklung eines Ortsdosimeters für gemischte Beta-/Photonenstrahlungsfelder

Mit der zunehmenden Verwendung von Beta-Strahlern in der Medizin wird der Mangel an kommerziell verfügbaren und den Erfordernissen des praktischen Strahlenschutzes entsprechenden Messgeräten zur Ermittlung der Ortsdosisleistung in gemischten Beta-/Photonenstrahlungsfeldern immer gravierender. Ein solches Dosimeter muss für operative Messungen im Rahmen der Strahlenschutzkontrolle an Arbeitsplätzen mit Teilkörperexpositionen, insbesondere für die in der Nuklearmedizin typischen Expositionssituationen in inhomogenen Strahlungsfeldern geeignet sein. Aufgrund der spezifischen Expositionsbedingungen ist eine möglichst hohe Ortsauflösung bei gleichzeitig ausreichender Empfindlichkeit erwünscht. Die Entwicklung eines derartigen Ortsdosimeters soll angestoßen werden.

- Überwachung der Strahlenexposition der Augenlinse

Die ICRP empfiehlt, den Grenzwert für die zulässige Strahlenexposition der Augenlinse von 150 mSv/Jahr auf 20 mSv/Jahr zu senken. Diese Empfehlung wird in die neuen EU-Grundnormen aufgenommen und dann im deutschen Strahlenschutzrecht umgesetzt werden. Um die Einhaltung des neuen Grenzwertes zu überwachen, ist es notwendig, die Strahlenexposition der Augenlinse bei unterschiedlichen Berufsgruppen und Expositionssituationen (mit Schwerpunkt auf medizinischen Anwendungen) realistisch abzuschätzen. Es soll ein Katalog mit kritischen Berufsgruppen und Expositionssituationen erstellt werden, bei denen die Überwachung der Augenlinsendosis notwendig ist. Außerdem sollen dosimet-

rische und überwachungspraktische Fragen geklärt sowie Empfehlungen zu technischen und arbeitsorganisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen entwickelt werden.

- Interne Dosimetrie und Inkorporationsüberwachung beruflicher Expositionen

Die ICRP überarbeitet derzeit unter Beteiligung von BfS-Mitarbeitern die biokinetischen Modelle zur Berechnung der inneren Dosis bei beruflich strahlenexponierten Personen und Einzelpersonen der Bevölkerung. Um bestehende quantitative Lücken in der Kenntnis der Biokinetik schließen zu können, sind weitere Untersuchungen z. B. mit stabilen Isotopen durchzuführen. Zur Bewertung der Strahlenbelastung sind weitergehende Abschätzungen der Unsicherheitsbandbreiten der Dosiskoeffizienten notwendig. Diese Abschätzungen schließen insbesondere Sensitivitätsanalysen zur Identifizierung der wesentlichen Modellparameter für die Dosisabschätzung mit ein.

Für eine belastbare interne Dosimetrie nach Inhalation radioaktiver Partikel ist die Kenntnis der Partikelgrößen und die Löslichkeit der Substanzen eine notwendige Voraussetzung. Deshalb sollen für verschiedene berufliche Arbeitsfelder die Partikelgrößen und die Löslichkeit durch Messungen charakterisiert werden. Weiterhin soll überprüft werden, inwieweit vereinfachte Verfahren wie die Auswertung von Filterproben zu vergleichbaren Ergebnissen der Partikelcharakterisierung führen und diese Verfahren geeignet sind, personenspezifische anstelle raumspezifischer Werte ermitteln zu können.

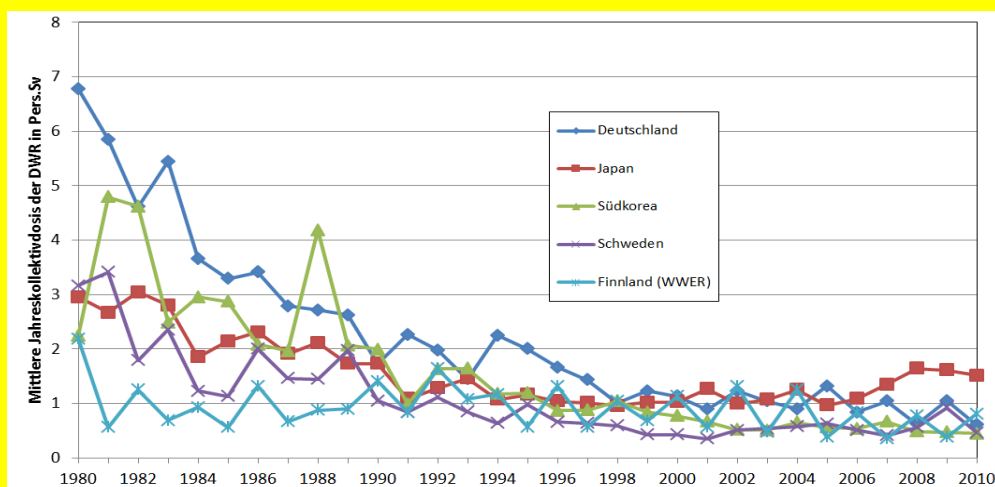
- Netzwerk zur beruflichen Strahlenschutzüberwachung

Das Netzwerk zur beruflichen Strahlenschutzüberwachung in Europa soll im Rahmen des dreijährigen EU-Vorhabens "ESOREX Platform Project", das unter Beteiligung des BfS vom französischen Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) durchgeführt wird, ausgebaut werden.

Beispiel: Optimierung des beruflichen Strahlenschutzes in der Kerntechnik durch internationale Vernetzung

In der Kerntechnik liegt der Schwerpunkt der beruflichen Strahlenschutzüberwachung heute nicht mehr auf der nationalen Überwachung der Einhaltung von Grenzwerten, sondern auf der Optimierung erheblich unterhalb der Grenzwerte. Der Maßstab für optimale Vorgehensweisen wird dabei im internationalen Vergleich bestimmt. Für die Weiterentwicklung der Optimierung sind detaillierte Kenntnisse der Expositionsursachen und der Arbeitszusammenhänge erforderlich, die weit über die unmittelbaren Erkenntnisse nationaler Aufsichtsbehörden hinausgehen.

Deutschland ist deshalb seit langem an internationalen Arbeiten zur Optimierung des beruflichen Strahlenschutzes in kerntechnischen Anlagen beteiligt. Die derzeitige Erhebung tätigkeitsbezogener Expositionen in kerntechnischen Anlagen wird in enger Kooperation mit dem ISOE-Netzwerks (Information System on Occupational Exposure) durchgeführt. Im Rahmen dieses von der OECD/NEA und der IAEA gemeinsam getragenen Netzwerks werden jährlich nach einem international abgestimmten Vorgehen detaillierte tätigkeitsbezogene Expositionsdaten aller deutschen Leistungsreaktoren in die internationale ISOE-Datenbank eingespeist. Diese enthält vergleichbare Expositionsdaten aus 29 Ländern (ca. 400 Leistungsreaktoren im Betrieb sowie 81 Anlagen in Stilllegung oder Rückbau). Die Daten werden zum Beispiel für jährliche internationale Benchmarktests über Strahlenexpositionen bei Tätigkeiten in vergleichbaren Reaktortypen (z. B. Austausch des Dampferzeugers, Brennelementwechsel, etc.) ausgewertet. Die Ergebnisse der regelmäßigen internationalen Analysen haben unmittelbaren Einfluss auf den praktischen Strahlenschutz in deutschen kerntechnischen Anlagen. Seit der Gründung des ISOE-Netzwerks 1992 haben sie zu einer kontinuierlich optimierten Arbeitsplanung und -durchführung und damit zu beträchtlichen Dosiseinsparungen bei den Beschäftigten beigetragen.



Entwicklung der mittleren Jahreskollektivdosis deutscher Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktoren im internationalen Vergleich.

III Medizinischer Strahlenschutz

Ziel des medizinischen Strahlenschutzes ist der Schutz des Menschen vor unnötigen oder unnötig hohen Strahlenexpositionen durch Strahlendiagnostik und Strahlentherapie. Hierzu müssen möglichst detailliert Daten zu Häufigkeit und Dosis spezifischer diagnostischer Strahlenanwendungen erhoben werden. Konzepte zur Rechtfertigung und Optimierung medizinischer Strahlenanwendungen gilt es zu erarbeiten und zu verbessern.

III.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland ist zum weit überwiegenden Teil auf medizinische Anwendungen ionisierender Strahlung bzw. radioaktiver Stoffe zurückzuführen. Aus diesem Grund kommt der Erfassung und Bewertung der Strahlenexposition der Patienten sowie der Rechtfertigung und der Optimierung der Untersuchungsverfahren unter strahlenhygienischen Gesichtspunkten ein hoher Stellenwert zu. Hierzu erhebt das BfS Daten zu Häufigkeit und Dosis medizinischer Strahlenexpositionen in Deutschland. Auf Basis dieser Daten schätzt das BfS die durch die medizinischen Strahlenanwendungen bedingte Kollektivdosis (§ 28 RöV, § 85 StrlSchV) ab und legt Diagnostische Referenzwerte (DRW; § 16 RöV, § 81 StrlSchV) fest. Weiterhin sind diese Daten zentrale Voraussetzung für die Berichterstattung an den Deutschen Bundestag und an internationale Institutionen wie die Europäische Kommission und UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Für die valide Datenerhebung sind Ressortforschung und Methodenentwicklung unverzichtbar.

III.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Um die Datenlage im Bereich der Quantifizierung der Strahlenexposition zu verbessern und Konzepte zur Rechtfertigung und Optimierung von Strahlenanwendungen zu entwickeln, werden mittel- und langfristig folgende Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

- Häufigkeit und Dosis spezifischer diagnostischer Strahlenanwendungen

Die Erhebung der medizinischen Strahlenexpositionen in Deutschland umfasst die ambulant und stationär durchgeführten Anwendungen ionisierender Strahlung. Das BfS erhält für den größten Teil des ambulanten Bereichs regelmäßig vollständige Datensätze von den Leistungsträgern. Für den stationären Bereich müssen die Leistungen dagegen bestmöglich abgeschätzt werden. Die bestehende Abschätzung auf Basis einer repräsentativen Stichprobenerhebung soll aktualisiert werden, um auch weiterhin die valide Bewertung medizinischer Strahlenexpositionen in Deutschland zu gewährleisten.

- Interne und äußere Dosimetrie bei medizinischen Expositionen

Im Bereich der Röntgendiagnostik, insbesondere bei Anwendungen der Computertomographie (CT), war in den letzten Jahren eine zum Teil stürmische technische Entwicklung zu verzeichnen. Die neuen Methoden und Geräte haben inzwischen Eingang in die klinische Routine gefunden. Beispiele sind verfeinerte Röhrenstrom-Modulation-, „Dual-Energy“- und iterative Rekonstruktionstechniken. Diese neuen Verfahren sollen dosimetrisch bewertet werden.

Zur Erfassung der CT-Expositionspraxis in Deutschland führt das BfS in Kooperation mit der Deutschen Röntgengesellschaft und dem Berufsverband der Deutschen Radiologen eine Umfrage durch. Um eine objektive Vergleichbarkeit verschiedener konventioneller CT-Systeme bezüglich Dosis und Bildqualität zu ermöglichen und um die Umsetzung des ALARA-Prinzips zu erleichtern, wird weiterhin an der Erprobung eines „Dosis-Effizienz-Parameters“ gearbeitet. Die Nachfrage nach 3D-Schnittbildverfahren bei interventionellen oder operativen Eingriffen außerhalb radiologischer Abteilungen hat mit der technischen Weiterentwicklung von CT-Geräten mit Flachdetektoren („Cone-Beam“-CT) stark zugenommen. Diese neuen Geräte und Anwendungen sind unter Berücksichtigung der applizierten Dosis, der erzielten Bildqualität und der diagnostischen Aussagekraft mit konventionellen CT-Geräten und etablierten Anwendungen zu vergleichen.

Zur Abschätzung der internen Dosis durch neuartige Radiopharmaka sollen die biokinetischen Vorgänge untersucht werden. Die Analyse von Unsicherheiten der Dosisabschätzung und der Variabilität der internen Dosis bei Anwendung von Radiopharmaka dient der besseren Einschätzung der Strahlenbelastung für Patienten. Zur Ermittlung des Risikos für das ungeborene Kind bei Anwendung von Radiopharmaka kurz vor oder während einer – möglicherweise noch nicht bekannten – Schwangerschaft sollen Methoden zur individuellen Dosisabschätzung weiterentwickelt werden, insbesondere auch bei therapeutischen Anwendungen.

Zur Aktualisierung der DRW ist das BfS auf aktuelle Informationen über die Untersuchungsparameter röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Maßnahmen angewiesen. Diese werden von den Ärztlichen Stellen (ÄS) im Rahmen ihrer Überprüfung erhoben und in unterschiedlicher Form an das BfS gemeldet. In einem Vorhaben soll ein Verfahren zur einheitlichen elektronischen Erfassung und Übermittlung an das BfS entwickelt werden.

- Klinische und strahlenhygienische Bewertung

Nutzen-Risiko-Abschätzungen sind die Grundlage des medizinischen Strahlenschutzes im Bereich der Heilkunde. Dabei darf gemäß § 23 RöV / § 80 StrlSchV die so genannte rechtfertigende Indikation nur dann gestellt werden, wenn der Nutzen des

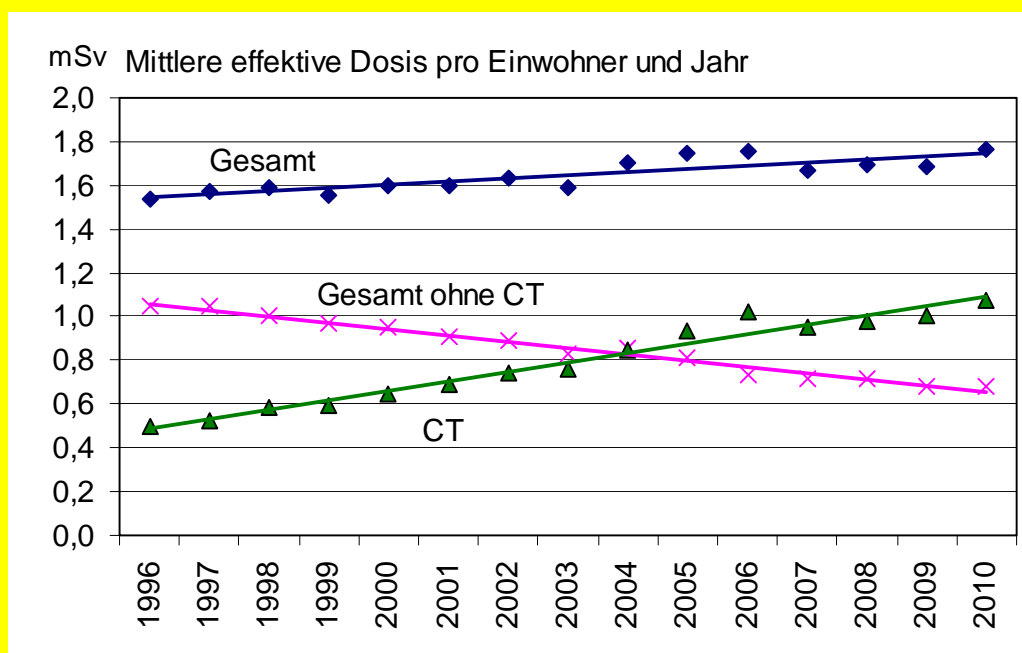
strahlendiagnostischen Verfahrens größer ist als das damit verbundene Strahlenrisiko. Diese Nutzen-Risiko-Abwägung ist insbesondere beim Einsatz neuester Gerätetechnik wie CT, PET, PET/CT, SPECT/CT und PET/MRT noch nicht in allen Fällen geklärt. Es sollen die Grundlagen geschaffen werden, um Nutzen und Risiken dieser neuer Verfahren fundiert zu beurteilen. Eine belastbare Bewertung des diagnostischen Nutzens und der gesundheitlichen Risiken hilft dabei auch, einen möglichen Einsatz der Geräte zur Amortisation der Investitionskosten zu begrenzen.

In den letzten Jahren hat die Früherkennung von Krankheiten mittels radiologischer Bildgebung an Bedeutung gewonnen. Dabei werden zunehmend auch neuere Verfahren, insbesondere die CT und die Ganzkörper-MRT, eingesetzt. Obwohl die MRT nicht mit einer Exposition durch ionisierende Strahlung verbunden ist, sind derartige individuelle Früherkennungsmaßnahmen strahlenhygienisch bedeutsam, da sie typischerweise eine Vielzahl unklarer Befunde nach sich ziehen, die oft mittels Strahlendiagnostik abgeklärt werden. Es sollen Grundlagen geschaffen werden, um die Häufigkeit dieser Abklärungsdiagnostik und die dadurch bedingte Strahlenexposition abschätzen zu können.

Aufgrund der hohen Anzahl von Teilnehmerinnen ist das Mammographie-Screening-Programm (MSP) in Deutschland aus Sicht des Strahlenschutzes von großer Bedeutung. Die Evaluation des MSP hinsichtlich der langfristigen Wirkung auf die Brustkrebsmortalität stellt eine unabdingbare Voraussetzung für die Nutzen-Risiko-Bewertung des gesamten MSP dar. Das BfS hat die Evaluation der langfristigen Wirkung auf die Brustkrebsmortalität initiiert. Ein Wissenschaftlicher Beirat aus unabhängigen Experten berät das BfS und die anderen beteiligten Ministerien und Institutionen bei der Konzeption, der Gestaltung und Durchführung der Studie. Das BfS wird diese Studie in den nächsten zehn Jahren aktiv begleiten.

Beispiel: Erfassung und Bewertung der medizinischen Strahlenexposition in Deutschland

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis werden jeweils das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und -dosis für unterschiedliche Untersuchungsarten bezogen auf verschiedene Körperregionen, z. B. CT-Untersuchungen des Thorax, ermittelt und anschließend addiert. Bei den aktuellen Erhebungen werden für die spezifischen Untersuchungen mittlere Werte der effektiven Dosis verwendet, die für häufige und / oder dosisintensive Röntgenuntersuchungen von den Ärztlichen Stellen regelmäßig an das BfS übermittelt werden. Darüber hinaus fließen auch Daten ein, die auf stichprobenartigen Messungen des BfS in radiologischen Einrichtungen sowie auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben basieren. Besonders wichtig sind genaue Daten zu CT-Untersuchungen, da diese im Vergleich zu konventionellen Röntgenuntersuchungen dosisintensiver sind und die Häufigkeit der CT-Untersuchungen seit vielen Jahren zunimmt. Die aktuelle Erhebung zur CT-Expositionspraxis wird die Genauigkeit der Schätzungen zur medizinischen Strahlenexposition deutlich erhöhen. Darüber hinaus werden Grundlagen zur strahlenhygienischen Bewertung aktueller technischer Entwicklungen im CT-Bereich erarbeitet (Röhrenstromautomatiken, iterative Rekonstruktionsverfahren u. a.). So können im Sinne des ALARA-Prinzips Hersteller, Anwender und die für den Strahlenschutz im Bereich medizinischer Anwendungen zuständigen Stellen möglichst frühzeitig auf die Entwicklung zukünftiger Expositionen hingewiesen werden.



Geschätzte mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr für Deutschland (1996 bis 2010) infolge diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen.

IV Wirkung und Risiko optischer Strahlung

Die gesundheitlichen Risiken für den Menschen durch UV-Strahlung, sichtbares Licht und Infrarotstrahlung sollen analysiert und bewertet werden. Dazu wird die Höhe des Gesundheitsrisikos auf Grundlage der biologischen Wirkmechanismen optischer Strahlung abgeschätzt und die Exposition durch natürliche wie künstlich erzeugte optische Strahlung mittels Messungen, Simulationsprogrammen und Probandenstudien erfasst. Auf Basis der ermittelten gesundheitlichen Risiken erfolgt schließlich die auf Risikogruppen hin fokussierte Entwicklung primärer Präventionsmaßnahmen mit dem Ziel eines wirksamen Gesundheitsschutzes.

IV.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Befunde und Wissenslücken zu akuten und möglichen langfristigen Wirkungen optischer Strahlung – vor allem auch im Hinblick auf empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Kinder und Jugendliche, aber auch Alte und Kranke – werfen eine Reihe von Fragen auf, zu deren Klärung die im Folgenden dargestellten Forschungsfragen beitragen sollen.

Für UV-Strahlung sollen biopositive Effekte (Vitamin-D-Synthese) gegenüber den bekannten gesundheitlichen Risiken (insbesondere Hautkrebsinduktion) abgewogen werden. Für Infrarotstrahlung ist die Datenlage zu deren Wirkung spärlich. Auf Grund der zunehmenden Nutzung im privaten und insbesondere im Wellnessbereich ist es notwendig, die Kenntnisse über die biologischen Wirkungen zu verbessern, um mögliche unerwünschte gesundheitliche Konsequenzen zu vermeiden. Die Wirkungen der optischen Strahlung sind vor allem in Anbetracht der stetig erweiterten Anwendungsbereiche im Kosmetik- und Wellnessbereich, bei der auch Laser-Strahlung eingesetzt wird, und gleichzeitiger Unkenntnis der genauen Charakteristika dieser unterschiedlichen Strahlenquellen zu überprüfen.

Fehlende Daten und offene Fragen zu Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit vorliegender Befunde auf ähnliche Expositionssituationen oder Technologien führen besonders für neue optische Technologien zu Unsicherheiten bei der Bewertung der Expositionen, der Festlegung von Grenzwerten und der Entwicklung rechtlicher Regelungen.

IV.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Im Bereich der ultravioletten Strahlung (UV) befasst sich das BfS mit der Erfassung der UV-Exposition der allgemeinen Bevölkerung, der Hautkrebsprävention und mit der UV-induzierten Vitamin-D-Bildung.

Zur Erfassung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung unterhält das BfS zum einen das UV-Messnetz, mit dessen Hilfe Prognosen der zu erwartenden Tagesspitzenwerte sonnenbrandwirksamer UV-Strahlung erstellt und als UV-Index (UVI) veröffentlicht werden.

Der UVI stellt eine international einheitliche Orientierungshilfe für die Prävention gesundheitlicher Schädigungen durch UV-Strahlung dar.

Zur Hautkrebsprävention beteiligt sich das BfS an der Gesetzgebung und Normenarbeit zum Schutz des Menschen vor unerwünschten gesundheitlichen Wirkungen optischer Strahlung. Weiterhin koordiniert das BfS zur Verbesserung der Effektivität von Hautkrebspräventionsmaßnahmen das UV-Schutz-Bündnis der in Deutschland und in der EU im UV-Schutz aktiven wissenschaftlichen, medizinischen und politischen Organisationen und Institutionen. Mit Hilfe des Aktionsplans „Sonne – aber sicher“ sollen Fachinformationen und Empfehlungen zur Hautkrebsprävention auf der Basis aktueller sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse zur Risikokommunikation an Betroffene herangetragen werden und die Wirksamkeit der Maßnahmen fachlich evaluiert werden. Schließlich beteiligt sich das BfS an der Erarbeitung von Leitlinien, z.B. an der im Rahmen des Leitlinienprogramms „Onkologie“ geplanten S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“.

Vom BfS gegenwärtig initiierte Forschungsarbeiten fokussieren sich auf die Verbesserung der Datenlage bezüglich der für die Vitamin-D-Bildung notwendigen UV-Exposition. Damit soll eine auf wissenschaftlichen Fakten beruhende Harmonisierung der Empfehlungen bezüglich UV-Exposition und Vitamin-D-Bildung in Kooperation mit Fachgesellschaften und -institutionen der Ernährungswissenschaften unterstützt werden.

Vorrangig sind folgende offene Forschungsfragen im Bereich Wirkung und Risiko optischer Strahlung sowie zur Prävention gegen Schäden durch optische Strahlung zu bearbeiten:

Mittels Modellierung, zell- und tierexperimenteller Studien sowie Probandenstudien soll die individuelle Exposition durch künstliche und natürliche Quellen optischer Strahlung einschließlich der UV-Strahlung erhoben werden und deren Wirkung auf den menschlichen Körper und eventuelle körperliche Reaktionen (Schutzreaktionen wie Lidschluss-Reflex) analysiert werden. Entsprechende Daten sind vor allem für den Wellness- und Kosmetikbereich erforderlich, da hier unterschiedliche Quellen mit zum Teil komplexer spektraler Verteilung und zum Teil hohen Energieeinträgen zur Anwendung am Menschen kommen. Die Anwendungen erfolgen in der Regel durch Laien ohne ausreichende Fachkunde. Über die genauen Charakteristika der verwendeten optischen Strahlenquellen und mögliche Nebenwirkungen von Anwendungen liegen bisher – zumindest außerhalb medizinischer Anwendungsbereiche – wenige Informationen vor. Ergänzend sollen Untersuchungen zu den möglichen gesundheitlichen Wirkungen von Infrarot-Strahlung und sichtbarem Licht allein sowie in Kombination miteinander und mit UV-Strahlung durchgeführt werden, da entsprechende Behandlungen im Kosmetik- und Wellnessbereich zunehmen.

- Prävention / Risikokommunikation

Angesichts einer zunehmenden Anwendung optischer Strahlung zu kosmetischen oder vermeintlich gesundheitsfördernden Zwecken (z.B. „intense pulsed light (IPL)“ zur Haarentfernung, Nutzung von Lasern zur Entfernung von Tätowierungen, „Lichttherapie“ etc.) im privaten und im kommerziellen Bereich ist eine bessere Information der Bevölkerung über Wirkungsweisen, Expositionscharakteristika und ggf. unerwünschte oder gesundheitsrelevante Nebenwirkungen im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes dringend notwendig.

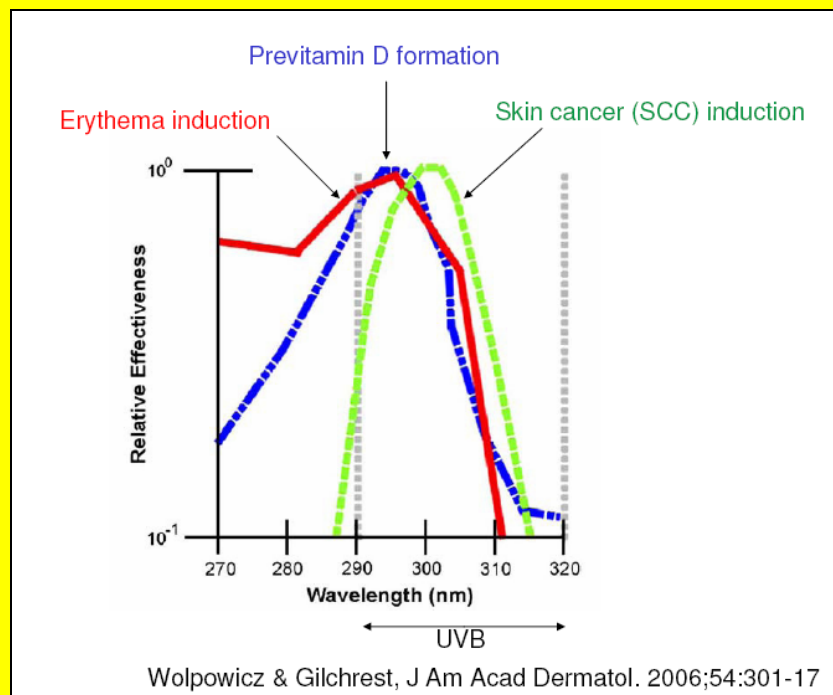
Der sorglose Umgang mit natürlicher wie künstlicher UV-Strahlung hat klar davon ableitbare Erkrankungen zur Folge: die Zunahme an Hautkrebserkrankungen weltweit vor allem bei der hellhäutigen Bevölkerung ist besorgniserregend.

Mittels entsprechender Maßnahmen der Verhältnisprävention (Maßnahmen zur Änderung der äußeren Verhältnisse zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes) und der Verhaltensprävention (Maßnahmen zur Vermeidung gesundheitsgefährdenden Verhaltens) sollen nachhaltige Änderungen im individuellen Expositions- und Schutzverhalten der Bevölkerung erreicht werden. Die bisherigen Maßnahmen beispielsweise bezüglich UV-Strahlung zeigen bereits erste Erfolge. So werden durch die Maßnahmen des BfS Kinder, Jugendliche und die Erziehungsberechtigten in deren Umfeld erreicht. Die Maßnahmen sollen – auch unter Einbezug entsprechender gesellschaftswissenschaftlicher und psychologischer Forschungsergebnisse – wissenschaftlich evaluiert und weiter optimiert werden.

Der bewusste Umgang soll auch in Bezug auf Anwendungen von Infrarotstrahlung und sichtbarem Licht am Menschen wie z. B. bei IPL-Anwendungen oder dem Einsatz von Lasern gefördert werden. Auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse zu Exposition und Wirkung der hier zum Einsatz kommenden optischen Strahlungsquellen sind zielgruppenspezifische Verhältnis- sowie Verhaltenspräventionsmaßnahmen zu entwickeln und im Weiteren zu evaluieren und optimieren.

Beispiel: Regulierung der Solariennutzung

Natürliche wie künstliche UV-Strahlung ist wissenschaftlich nachgewiesen krebserregend. Entsprechend ist ein bewusster Umgang mit UV-Strahlung geboten. Unnötige UV-Expositionen in Solarien sind zu meiden. Trotzdem setzen sich viele Menschen mehr oder weniger unwissend in Solarien künstlicher UV-Strahlung aus, in der irrigen Annahme, damit ausschließlich positive Effekte zu erzielen, wie zum Beispiel die Bildung des körpereigenen Vitamin D. Aber genau der Anteil der UV-Strahlung, der diese positive Wirkung hat, ist gleichzeitig Ursache für akute (z.B. Sonnenbrand) und chronische (z.B. vorzeitige Hautalterung, Hautkrebs) Schäden. Auf Initiative des BfS etablierte das BfS gemeinsam mit Vertretern der Wissenschaft, Medizin, Politik und Wirtschaft (Solarienbranche) einen gesundheitsfördernden Verbraucherschutz in Form eines freiwilligen Zertifizierungsverfahrens für Solarienbetriebe unter der Kontrolle des BfS. Die Kriterien für eine Zertifizierung bezogen sich dabei auf Gerätestandards, den Betriebsablauf und Hygiene sowie auf Beratung und Information durch geschultes Personal. Die wiederholte Evaluation des Verfahrens durch das BfS ergab jedoch, dass auf diese Weise keine Verbesserung des Verbraucherschutzes erreicht werden konnte. Dies war ein entscheidender Anstoß zur gesetzlichen Regelung des Solarienbetriebs. Die gesetzliche Regelung, an deren Ausarbeitung das BfS beteiligt war, ist durch das Gesetz zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) und der UV-Schutz-Verordnung (UVSV) realisiert worden.



Der positive Effekt des Anstoßes der körpereigenen Vitamin-D-Synthese und negative Effekte (Induktion von Sonnenbrand und Hautkrebs) werden durch UV-Strahlung desselben Wellenlängenbereiches hervorgerufen.

V Wirkungen und Risiken elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder; Ultraschall

Die tatsächliche, alltägliche Exposition der Bevölkerung durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder soll erfasst und gesundheitlich bewertet werden. Da vielfältige und rapide technische Entwicklungen stattfinden und die flächendeckende Verbreitung der resultierenden Technologien einen raschen Wandel der Expositionsszenarien und deren Komplexität bedingt, ist eine zeitnahe Abschätzung möglicher gesundheitlicher Risiken unerlässlich.

V.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Die 1996 in Kraft getretene und 2013 novellierte Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) gewährleistet den Schutz der Bevölkerung vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken von nieder- und hochfrequenten Feldern. Es bestehen jedoch Wissenslücken und wissenschaftliche Unsicherheiten zu gesundheitlichen Risiken, die durch gezielte Forschungsansätze geklärt werden müssen. Dabei stehen möglicherweise empfindliche Bevölkerungsgruppen im Mittelpunkt des Interesses wie z.B. Kinder und Jugendliche sowie Alte und Kranke.

Im Jahr 2002 wurden niederfrequente Magnetfelder und im Jahr 2012 auch hochfrequente elektromagnetische Felder auf der Grundlage epidemiologischer Studien von der „International Agency for Research on Cancer“ (IARC) als mögliches humanes Karzinogen (Gruppe 2b) eingestuft. Die Einordnungen beruhen auf statistischen Zusammenhängen, eine Ursache-Wirkungs-Beziehung konnte in experimentellen Studien aber bisher nicht belegt werden. Aus der Konsistenz der vorliegenden epidemiologischen Befunde ergibt sich ein dringender Klärungsbedarf.

Die Übertragbarkeit vorliegender Forschungsergebnisse auf Expositionsszenarien unter Berücksichtigung neuer Technologien ist derzeit nicht ausreichend geklärt.

Ultraschallanwendungen in der Medizin durch fachkundige Ärzte gehören schon seit langem zum klinischen Alltag. In jüngster Zeit werden aber zunehmend Ultraschallanwendungen im Wellness- oder Lifestyle-Bereich beworben, die neue strahlenhygienische und strahlenschutzrechtliche Fragen aufwerfen.

Die Forschungsschwerpunkte zum Themenfeld Wirkungen und Risiken elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder sowie Ultraschall basieren auf den von BfS und der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) identifizierten Kenntnislücken und berücksichtigen die „Research Agenda“ der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sowie die Forschungsprogramme anderer Länder. Die Ergebnisse der nationalen Forschung fließen in die Risikobewertungen (EHC-Documents) der WHO ein.

V.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

- Statische Magnetfelder

Expositionen gegenüber starken statischen Magnetfeldern sind im Alltag vergleichsweise selten. An Arbeitsplätzen im medizinischen Bereich und in der Industrie können Menschen im Rahmen ihrer Tätigkeit jedoch starken statischen Magnetfeldern mit Feldstärken größer als ein Tesla ausgesetzt sein. Da keine verlässlichen Daten über das Ausmaß der gesundheitlichen Risiken vorliegen, untersucht das BfS die möglichen Wirkungen starker statischer Magnetfelder, wie z.B. Veränderungen der kognitiven Fähigkeiten beim Menschen oder Verhaltensänderungen im Tiermodell. Dabei werden auch Magnetfeldänderungen mit extrem niedrigen Frequenzen berücksichtigt, wie sie z.B. durch Körperbewegungen in räumlichen Gradienten bei der Magnetresonanztomographie auftreten.

Im Bereich niedriger Feldstärken ist damit zu rechnen, dass die Zahl der Personen, die statischen Magnetfeldern ausgesetzt sind, steigen wird, da beim Ausbau des Energieversorgungsnetzes die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) vorgesehen ist.

Zu Expositionen durch statische Magnetfelder liegen bislang keine ausreichenden Beobachtungsstudien an Bevölkerungsgruppen vor. Eine begleitende wissenschaftliche Beobachtung ist daher aus Gründen des vorsorgenden Gesundheitsschutzes angeraten.

- Niederfrequente Felder

Der Ausbau der Infrastruktur für die elektrische Energieversorgung, die forcierte Elektromobilität sowie drahtlose Energieübertragungssysteme führen dazu, dass auch in diesem Frequenzbereich mit einem Anstieg der Exposition der Bevölkerung zu rechnen ist. Der Einfluss der neuen Technologien auf die Gesamtexposition kann bislang noch nicht quantitativ prognostiziert werden. Um existierende und zukünftige Expositionssituationen genauer zu charakterisieren, wurde begleitende Forschung initiiert. Gründe des vorsorgenden Gesundheitsschutzes sprechen dafür, dass vor Einführung neuer Techniken durch begleitende Forschung eine Bewertung der damit möglicherweise verknüpften gesundheitlichen Risiken erfolgt.

Es liegen konsistente Hinweise aus epidemiologischen Studien vor, die einen statistischen Zusammenhang zwischen niedrigen Magnetfeldexpositionen (oberhalb von 0,3 – 0,4 μT), wie sie u. a. im häuslichen Umfeld auftreten können, und einem leicht erhöhten Risiko für Kinder an Leukämie zu erkranken, zeigen. Weiterhin wurde in epidemiologischen Studien ein schwacher Zusammenhang zwischen chronischen Magnetfeldexpositionen und neurodegenerativen Erkrankungen gefunden. Für beide Zusammenhänge fehlen Hinweise zum zugrunde liegenden Wirkmechanismus. Auch konnten experimentelle Studien einen kausalen Zusammenhang bis dato nicht unterstützen (s. Beispiel „Ursachenforschung zu Leukämien im Kindesalter“).

- Hochfrequente Felder

Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (2002 – 2008) konnte mit seinen über 50 Projekten und verschiedenen Studiendesigns (Fall-Kontroll-Studien, Querschnittsstudien, Laborstudien am Menschen und am Tiermodell, in vitro Untersuchungen, etc.) die Datenbasis zur biologischen Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder erheblich verbessern und einige Kenntnislücken schließen. Bislang ist nur der thermische Wirkmechanismus sicher belegt. Die bestehenden Grenzwerte verhindern zuverlässig Schäden und Risiken durch diesen Wirkmechanismus.

Zwei Themenkomplexe sind jedoch noch nicht abschließend geklärt:

i) Die Frage nach einem möglicherweise erhöhten Hirntumorrisiko bei intensiver Mobiltelefonnutzung ist noch offen, da die geringen Fallzahlen seltener Tumore und die langen Latenzzeiten eine abschließende Bewertung noch nicht zulassen. Hier ist die Beobachtungszeit bereits laufender Studien zu verlängern, um so auch Langzeitrisiken besser erfassen zu können.

ii) Die Frage, ob Kinder und Jugendliche möglicherweise empfindlicher auf die hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks reagieren, lässt sich nicht zufriedenstellend beantworten, da geeignete Studiendesigns am Menschen nicht realisierbar sind und die Aussagekraft von Tiermodellen eingeschränkt bleibt. Da gezielte Interventionsstudien zur Fragestellung aus ethischen Gründen kaum durchführbar sind, sollten andere Herangehensweisen in Machbarkeitsstudien geprüft werden.

Es ist bisher davon auszugehen, dass die Ergebnisse aus dem DMF auch auf neue Mobilfunktechnologien und -netze, z.B. LTE, übertragbar sind.

Im Terahertzbereich ist die Datenlage zu Expositionen und Risiken insgesamt noch spärlich. Inwieweit die Erkenntnisse zu bisherigen Mobilfunktechnologien auch für zukünftige Technologien in diesem Frequenzbereich ihre Gültigkeit behalten, bleibt zu überprüfen. Da die technischen Nutzungsmöglichkeiten vielfältig sind (z.B. in der Sicherheitstechnik die Body-scanner o. ä.) und stetig neue hinzukommen, ist auch hier eine begleitende Forschung zu Expositionen und Risiken aus Gründen des vorsorgenden Gesundheitsschutzes geboten.

- Ultraschall

Anwendungen von Infra- und Ultraschall im Kosmetik- und Wellnessbereich sollen verstärkt untersucht und bewertet werden. Strahlenschutzaspekte finden hier bisher oft kaum oder keine Berücksichtigung (z.B. Ultraschallanwendungen als neue Methode zur Fett- und Cellulite-Entfernung). Da diese Anwendungen häufig mit hohen Energieeinträgen in den Körper verbunden sind, besteht die Gefahr der akuten Gesundheitsschädigung, zumal die Anwendungen in der Regel durch Personen ohne ausreichende Fachkunde erfolgt. Um hier

regulatorische Maßnahmen einleiten zu können, sind die dazu erforderlichen fachlichen Grundlagen durch begleitende Forschung zu schaffen.

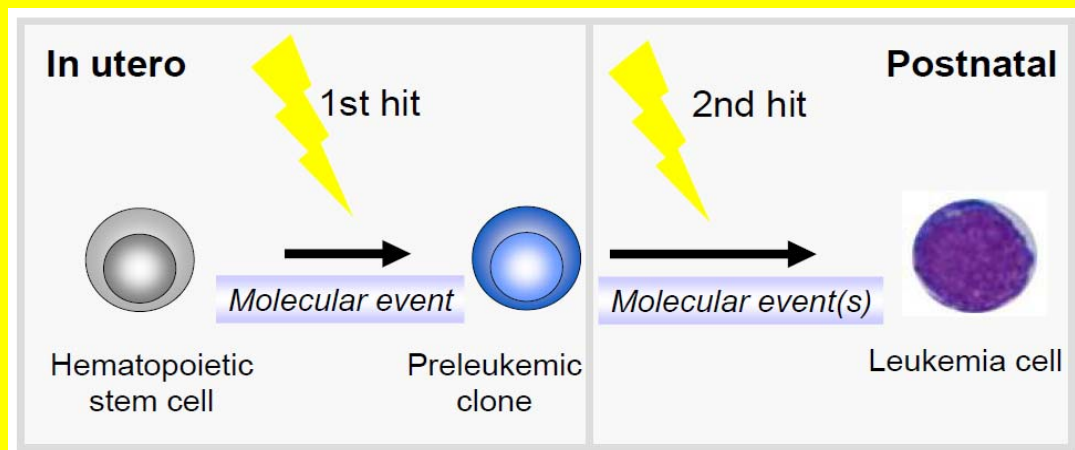
Beispiel: Ursachenforschung zu Leukämien im Kindesalter

Die Auslösemechanismen für die Entstehung von Leukämien im Kindesalter sind noch weitgehend ungeklärt. Ein direkter Wirkzusammenhang mit ionisierender Strahlung ist zwar bekannt, liegt aber im relevanten Dosisbereich unterhalb methodischer Beobachtungsgrenzen. Für niederfrequente elektromagnetische Felder ist kein direkter Wirkzusammenhang bekannt. Gleichwohl zeigen epidemiologische Studien einen Zusammenhang des Risikos

- i) mit dem Wohnen in der Umgebung von Leistungsreaktoren,
- ii) mit Radon und/oder der Gamma-Komponente der natürlichen Hintergrundstrahlung und
- iii) mit elektromagnetischen Feldern mit Feldstärken deutlich unterhalb der Grenzwerte.

Erhöhte Risiken für Leukämien im Kindesalter werden immer wieder in der Umgebung von Anlagen beobachtet. Dies gilt für Leistungsreaktoren wie auch für Hochspannungsleitungen. In beiden Beobachtungsfeldern ist es bislang nicht gelungen, dies quantitativ und qualitativ auf mögliche Ursachen zurückführen zu können. Vom BfS (mit)organisierte internationale Workshops (Berlin 2008, Hohenkammer 2010 und Bombon zusammen mit IRSN und MELODI 2012) zeigten, dass zur weiteren Aufklärung der Leukämie bei Kindern ein interdisziplinäres Vorgehen notwendig ist. Auf Basis einer interdisziplinären Forschungsagenda hat das BfS im Jahr 2012 fünf Pilotstudien initiiert, deren Ergebnisse im Dezember 2013 diskutiert werden.

Es haben sich auf der Basis der Arbeiten des BfS und der Ergebnisse der Workshops und Klausurtagungen von 2008, 2010 und 2012 internationale Kooperationen entwickelt, insbesondere mit ASN und IRSN in Frankreich. Der Aufbau einer Kooperation mit COMARE, UK, wird im Jahr 2013 realisiert werden.



Zwei-Treffer-Modell der Entstehung von Leukämie bei Kindern

VI Strahlenschutz bei natürlicher Radioaktivität

Der Mensch lebt seit jeher in einer strahlenden Umwelt. Mehr als die Hälfte der jährlichen Dosis der Bevölkerung Deutschlands beruht auf ionisierender Strahlung natürlichen Ursprungs. Anthropogene Faktoren können die Expositionen signifikant gegenüber durchschnittlichen Werten erhöhen. Solche Situationen müssen aus Sicht des Strahlenschutzes bewertet werden. In einigen Fällen ist es notwendig, Schutzmaßnahmen zu treffen.

VI.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Der Schutz vor erhöhter Strahlenexposition aus Quellen natürlichen Ursprungs ist in Deutschland seit 2001 in der Strahlenschutzverordnung rechtlich geregelt. Auf der Grundlage der derzeit in Überarbeitung befindlichen Grundnormenrichtlinie für den Strahlenschutz in Europa (EU-BSS) sowie der Empfehlungen internationaler Organisationen (IAEA, ICRP, WHO) werden sich die Anforderungen in vielen Teilbereichen künftig erhöhen. So soll erstmals der Schutz vor erhöhten Expositionen durch Radon in Wohngebäuden und an Arbeitsplätzen rechtlich geregelt und Referenzwerte verbindlich festgelegt werden. Auch das Spektrum der künftig zu berücksichtigenden industriellen Rückstände mit erhöhten Gehalten natürlicher Radioaktivität (NORM-Stoffe: Naturally Occurring Radioactive Materials) wird erweitert. Baustoffe werden hinsichtlich der Exposition des Menschen durch natürliche Radioaktivität zu bewerten sein, ebenso Trinkwasser.

Die Forschung des BfS dient der sachgerechten und effizienten Umsetzung der neuen Anforderungen unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen in Deutschland. Sie erweitert den Kenntnisstand zu Expositionen und Wirkungen durch natürliche Radioaktivität und verbessert die Informationslage der Bevölkerung und der Entscheidungsträger in Verwaltung und Politik. Zur Umsetzung dieser Ziele entwickelt das BfS Messmethoden weiter, schafft Übersichten über die Expositionen in speziellen Situationen und erweitert das Verständnis der gesundheitlichen Risiken sowie deren Vermittlung.

VI.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

- Radon in Wohnräumen

Das radioaktive Edelgas Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte führen im Wohnbereich teilweise zu hohen Strahlenexpositionen. Radon gilt – nach dem Rauchen – als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs (vgl. Beitrag „Wirkung und Risiko ionisierender Strahlung“).

Für die Information der Bevölkerung, die Planung von Untersuchungen oder ggf. die Förderung von Sanierungsmaßnahmen, aber auch zur räumlichen Eingrenzung eventueller

Maßnahmen sind durch Prognosen besonders betroffene Regionen und ggf. auch besonders relevante Gebäude zu identifizieren. Die wissenschaftliche Basis dieser Prognosen soll weiter abgesichert und ausgebaut werden. Aufbauend auf Vorarbeiten der zurückliegenden Jahre sollen die Modelle für die statistische Schätzung solcher Gebiete (international ‚radon prone areas‘ genannt) zur Anwendungsreife gebracht werden (u. a. mit verbesserter Klassifizierung der Geologie, der Einbeziehung weiterer Prädiktoren, einer erhöhten räumlichen Auflösung sowie Unsicherheitsquantifizierung).

Neben dem geologischen Untergrund und den Gebäudeeigenschaften ist die Luftwechselrate ein entscheidender Parameter für die Radonsituation. Steigende Energiepreise haben vielfach durch ein verändertes Lüftungsverhalten zu geringeren Luftwechselraten geführt. Auch Maßnahmen zur energetischen Sanierung haben häufig die gleiche Konsequenz. Als Beitrag zu tragfähigen Lösungen des Zielkonfliktes wurden systematische Untersuchungen der Zusammenhänge begonnen. Sie werden in den kommenden Jahren fortgeführt.

Wichtige messmethodische Arbeiten der nächsten Jahre betreffen einerseits die Entwicklung von Verfahren, mit denen die Luftwechselrate mit vertretbarem technischen Aufwand parallel zur Radonmessung ermittelt werden kann, um eine Rückführung der Radonkonzentrationen auf eine in Baustandards festgelegte Mindest-Luftwechselrate zu ermöglichen. Die Standardisierung von Messmethoden zur Ermittlung der Radonexhalation aus Baustoffen unterstützt den Nachweis und die Kontrolle, dass Baustoffe wie von der Bauprodukteverordnung gefordert, keine gefährlichen Strahlen und Stoffe abgeben. Insbesondere bei der aus Sicht der Ressourceneffizienz wünschenswerten Verwendung von NORM-Stoffen als Zusatz zu Baustoffen ist eine Kontrolle notwendig. Es ist angedacht, die bei Baustoffen standardisierten Kammern zur Bestimmung volatiler Kohlenwasserstoffe zur Bestimmung der Radonexhalationsrate zu qualifizieren.

Bei der vor allem aus ökologischen Gründen beliebter werdenden Verwendung ungebrannten Lehms als Baustoff und anderen neuen Entwicklungen ist nicht auszuschließen, dass neben dem Radon-222 auch das Isotop Radon-220 (Thoron) radiologisch bedeutsam auftreten kann. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass seine Bedeutung – verglichen mit der des Radon-222 – insgesamt gering ist, aber der Kenntnisstand zur Höhe der Expositionen und zum möglichen Umfang des Problems ist derzeit unbefriedigend. Das ist auch im Hinblick auf die künftige Umsetzung der EU-BSS ein Problem. In den kommenden Jahren sollen deshalb geeignete Screening-Verfahren identifiziert und gegebenenfalls (weiter-)entwickelt werden, mit deren Hilfe Übersichten über die tatsächliche Exposition durch Thoron in Gebäuden geschaffen werden können.

- Radon an Arbeitsplätzen

Von den kommenden Regelungen auf europäischer Ebene werden neben den bereits überwachten Arbeitsplätzen (Beispiel: Wasserwerke) künftig weitere Arbeitsplätze und auch

öffentliche Gebäude erfasst, die nicht in Zusammenhang mit der NORM-Industrie stehen. Über die Radonsituation in solchen Räumen und Gebäuden gibt es derzeit keine repräsentativen Übersichten. Dieser Mangel soll in den kommenden Jahren durch entsprechende Untersuchungen abgestellt werden, um angemessene und effektive Maßnahmen ergreifen zu können.

Für die Einschätzung der durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten an Arbeitsplätzen hervorgerufene Strahlenexposition sind die Radonkonzentration und auch das Konzentrations-Zeitintegral nur bedingt geeignet, da die Dosis durch die Konzentration der Zerfallsprodukte und deren Partikelgröße bestimmt wird. Die ICRP verfolgt Ansätze, den Einfluss der Teilchengröße bei der Bewertung zu berücksichtigen. In den kommenden Jahren sind deshalb systematische Untersuchungen zur repräsentativen Ermittlung des Parameters „freier Anteil“ (Teilchengrößen kleiner als 10 nm) an NORM-Arbeitsplätzen geplant. Bereits laufende Arbeiten zur Entwicklung eines diese Effekte berücksichtigenden Radon-Dosimeters sollen bis zu einem einsatzfähigen Prototyp weitergeführt werden.

- NORM

NORM-Stoffe können bei ihrer Entstehung, Verwertung oder Entsorgung aus Sicht des Strahlenschutzes zu relevanten Strahlenexpositionen führen – sowohl bei Beschäftigten wie bei der Bevölkerung. Das Spektrum der relevanten Stoffe unterliegt Veränderungen. So wird derzeit in Deutschland die geothermische Energiegewinnung gefördert. In Anlagen der tiefen Geothermie treten zum Teil Inkrustationen (Scales) auf, die sehr hohe Aktivitäten natürlicher Radionuklide aufweisen. Langfristig ist ein erheblich anwachsendes Mengenaufkommen zu erwarten. Bestehende Wissensdefizite zu den Entstehungsprozessen, zur radiologischen Bedeutung sowie zu möglichen Vermeidungs- oder Schutzmaßnahmen sollen behoben werden. Das BfS arbeitet dazu mit dem Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) zusammen, das derzeit in Groß Schönebeck bei Berlin eine Versuchsanlage der tiefen Geothermie betreibt. Diese Zusammenarbeit soll fortgesetzt werden.

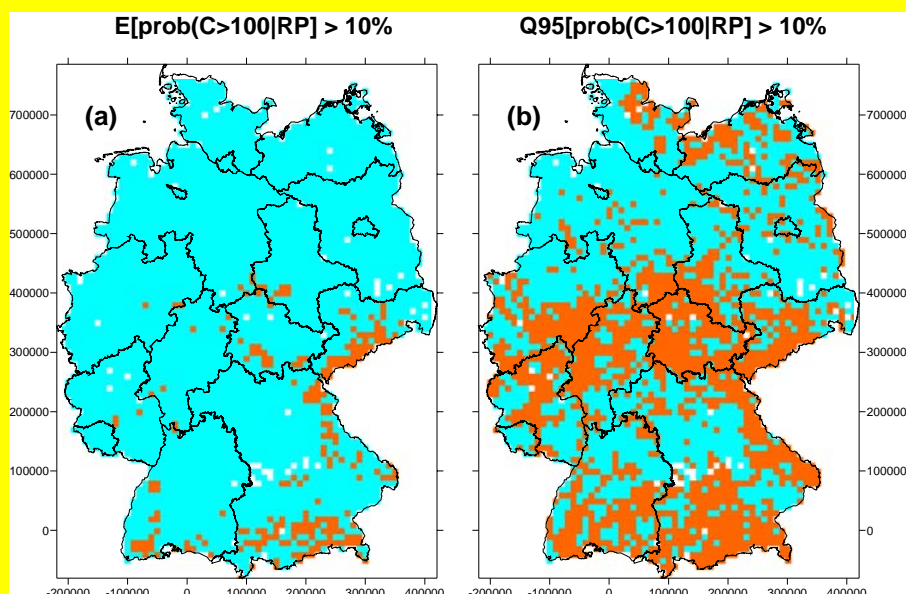
Beispiel: Radon-Kartographie

Die EU-BSS sehen gebietsbezogene oder auf andere Parameter bezogene Einteilungen vor, um Orte zu identifizieren, an denen für die Radonkonzentration in einer signifikanten Anzahl von Gebäuden eine Überschreitung des betreffenden nationalen Referenzwertes erwartet wird.

Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass in einem Teil des Gebäudebestandes im Sinn der EU-BSS problematisch hohe Radonkonzentrationen in Innenräumen auftreten. In Deutschland ist eine sehr gute Datenbasis geogener Größen mit Radon-Bezug, wie Radonkonzentration in der Bodenluft, Permeabilität, Geologie, möglicherweise terrestrische Dosisleistung und Geochemie verfügbar. Deswegen hat das BfS die Strategie gewählt, im Rahmen einer belastbaren Prognose die geogenen Größen als Prädiktoren für eine probabilistische Abschätzung der Innenraumkonzentrationen heranzuziehen. Dies ist Grundlage für die Umsetzung der EU-BSS in nationales Recht und dessen Vollzug.

Für die nächsten Jahre sind die Weiterentwicklung der Modelle (z.B. verbesserte Klassifizierung der Geologie, weitere Prädiktoren, erhöhte räumliche Auflösung) und eine Bewertung der Konsequenzen bezüglich hoher Radonkonzentrationen (ausreichend realistisches Modell, Unsicherheitsquantifizierung) geplant.

Fortschritte und Probleme werden mit Experten anderer betroffener Länder diskutiert. Das BfS beteiligt sich aktiv an der alle zwei Jahre stattfindenden internationalen Tagung zur Radon-Kartierung in Prag sowie an der europäischen Radon-Kartierung (im Rahmen des langfristigen Projekts des Europäischen Atlas der Natürlichen Radioaktivität) der Europäischen Kommission.



Wahrscheinlichkeit, dass die Aktivitätskonzentration in Innenräumen 100 Bq/m^3 überschreitet
 (a) Erwartungswert der Wahrscheinlichkeit; (b) 95% Quantil der Wahrscheinlichkeit.

VII Überwachung und Bewertung der Umweltradioaktivität

Bei unfallbedingten Kontaminationen der Umwelt muss zum optimalen Schutz der Bevölkerung die Lage schnell und zuverlässig erfasst werden. Die wesentliche Grundlage hierfür bilden die durch Messnetze zur Überwachung der Umweltradioaktivität gewonnenen Daten. Darauf aufbauend sind fachliche Empfehlungen zu erarbeiten und die gebotenen Maßnahmen zu ergreifen. Empfindlichste Messungen der atmosphärischen Radioaktivität dienen darüber hinaus der Kontrolle der weltweiten Bemühungen um einen Stopp von Atomwaffentests.

VII.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Der Bund hat als Reaktion auf die Situation nach dem Reaktorunglück in Tschernobyl mit dem Strahlenschutzvorsorgegesetz die Grundlage geschaffen, um mit dem integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) über die anlagenbezogenen Überwachungs- und Notfallprogramme hinaus großflächig die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen. Die Messergebnisse werden bewertet, um in einem Notfall das radiologische Ereignis einordnen und ggf. fachliche Empfehlungen und Maßnahmen ableiten zu können. Trotz des planmäßigen Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung bleiben die Anforderungen an die staatliche Vorsorge wegen der Restlaufzeiten und des Rückbaus der kerntechnischen Anlagen, der Endlagerung der radioaktiven Abfälle und der Nutzung der Kernenergie im benachbarten Ausland hoch. Deswegen muss IMIS – ebenso wie die Schutzkonzepte – weiterentwickelt werden. Darüber hinaus hat die Reaktorkatastrophe von Fukushima Anlass gegeben, die vorhandenen Schutzkonzepte kritisch zu hinterfragen und anzupassen.

VII.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Eine vorläufige Studie des BfS hat gezeigt, dass lang andauernde Freisetzungen – wie während der Reaktorkatastrophe von Fukushima beobachtet – eine Neubewertung der Planungsradien des Katastrophenschutzes erfordern, da die bisherigen Radien bei Weitem nicht ausreichend sind. Das BfS betreibt mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS ein zentrales Hilfsmittel der Modellierung von Umweltkontaminationen. RODOS soll in den kommenden Jahren weiterentwickelt werden, um es möglichst global für Unfälle mit radioaktiven Freisetzungen einsetzen und an nationale und internationale Notfall-Meldeverfahren koppeln zu können. Dabei werden die neuesten ICRP-Empfehlungen berücksichtigt und eine Datenbank zu möglichen unfallbedingten Freisetzungen aus Brennelementlagerbecken von Kernkraftwerken sowie ein Modell zur atmosphärischen Ausbreitung bereitgestellt. Des Weiteren ist geplant, Verfahren für eine bestmögliche Kombination von Mess- und Prognosedaten (Datenassimilation) zu entwickeln, um eine möglichst realistische Abschätzung von Konta-

minationen, Strahlenexposition und Maßnahmegebieten zu erreichen. Ziel ist, dass RODOS bis 2017 als ein international harmonisiertes Entscheidungshilfesysteme, das schnelle und realistische Dosisprognosen sowie deren Bandbreiten und Unsicherheiten ermitteln kann, operationell verfügbar ist.

Fukushima hat auch gezeigt, wie wichtig schnelle und aussagekräftige Kartendarstellungen z. B. von Bodenkontaminationen in ausreichender räumlicher Auflösung sind. Hierfür stehen in der Bundesrepublik verschiedene stationäre und mobile Systeme zur Verfügung. Im BfS werden u. a. hierzu Hubschrauber-gestützte spektrometrierende Systeme operationell vorgehalten, die mit dem Ziel der schnellen und flexiblen Einsatzfähigkeit weiterzuentwickeln sind. Ergänzend sind Verfahren zu entwickeln, die Daten unterschiedlicher Herkunft zusammenfassen und zu Bodenkontaminationswerten verrechnen. Bis 2017 sollen validierte, für den Notfallschutz anwendbare automatisierte Verfahren in das Gesamtkonzept IMIS integriert sein.

Die Modellierung atmosphärischer Ausbreitung wird nicht nur für Entscheidungshilfssysteme des nuklearen Notfallschutzes, sondern auch für die Abschätzung der Strahlenexposition von Kernkraftwerken im Routinebetrieb und für die nuklearspezifische Gefahrenabwehr (NGA) benötigt. Im Fall der NGA werden dabei auch kleinräumige urbane Ausbreitungsszenarien betrachtet. Die Modelle sind an diese Szenarien anzupassen und die Turbulenzparametrisierung ist zu verbessern (s. Beitrag „Emissions- und Immissionsüberwachung“). Im großräumigen Bereich sollen adjungierte Ausbreitungsrechnungen zur Quellenidentifikation im Bereich der Spurenanalyse und der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens bis zur Anwendungsreife entwickelt werden.

Im Bereich der Messtechnik plant das BfS, die Geiger-Müller-Zählrohre in den IMIS-Messsonden des ODL-Messnetzes durch preisgünstige spektrometrierende Systeme zu ersetzen. Sie können spezifischer künstliche Radioaktivität erkennen (Siehe Beispiel „Entwicklung von neuartigen Detektoren“).

Die Erfassung von radioaktiven Edelgasen zur Identifikation nicht-ziviler Freisetzungen solcher Edelgase komplettiert die Umweltüberwachung und wird wegen ihrer Bedeutung für Verifikationsaufgaben weiterentwickelt. Die Messtechnik für Radioxenon und die Modellierung des Untergrunds, der aus der zivilen Nutzung der Kernenergie herrührt, müssen verbessert werden, um sicher Signaturen von unterirdischen Kernwaffentests identifizieren zu können. In Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Naturwissenschaften und Friedensforschung der Universität Hamburg und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sollen der globale Kr-85 Untergrundpegel modelliert und Überwachungsstrategien für ein globales Verifikationssystem zur Begrenzung von spaltbarem Material entwickelt werden.

Beispiel: Entwicklung von neuartigen Detektoren

Für den Einsatz im Notfallschutz werden energieauflösende Halbleiterdetektoren benötigt, die bei Raumtemperatur arbeiten. Das BfS erforscht in Kooperation mit dem Materialforschungszentrum der Universität Freiburg die Einsatzmöglichkeit von Cadmium-Zink-Tellurid-Detektoren bei Raumtemperatur. Kristallzüchtung, Detektorintegration, Elektronik und Auswertesoftware werden als Kernkomponenten über extramurale Projekte entwickelt, die operationelle Erprobung und Optimierung und die konzeptionelle Integration in den bestehenden Notfallschutz erfolgen durch das BfS. Bis 2017 sollen ca. 200 spektrometrierende Sonden im BfS-Messnetz im Einsatz sein.

Flankiert wird diese Arbeit durch intensive internationale Kooperation z.B. im Rahmen eines Arbeitskreises der EURADOS-Gruppe, der sich u. a. mit Fragen der Kalibrierung und Qualitätssicherung beschäftigt. Die Entwicklung von Hard- und Software erfolgt grundsätzlich nach dem Open Source Prinzip. Die entwickelte Software wird den Kooperationspartnern kostenlos zu Verfügung gestellt und die Hardware wird zum Selbstkostenpreis angeboten. Modulare Technik, einheitliche Datenaustauschformate und Vergleichsmessungen bewirken eine sehr enge internationale Verzahnung und Harmonisierung.



Prototyp einer CZT-Detektoreinheit

VIII Radioökologie

Ziel der Radioökologie ist das quantitative Verständnis und die zuverlässige Prognose des dynamischen Verhaltens radioaktiver Stoffe in der Umwelt sowie die Ermittlung der realistischen Strahlenexposition von Mensch und Umwelt. Radioökologie ist als Querschnittsthema in allen Fällen von Bedeutung, in denen infolge menschlicher Tätigkeiten radioaktive Stoffe in die Biosphäre gelangen oder in denen natürliche Radionuklide zu einer erhöhten Strahlenexpositionen führen können.

VIII.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Radioaktive Stoffe können unter anderem durch Ableitungen mit Luft und Wasser, durch die langfristige Freisetzung aus Endlagern oder durch die Freigabe schwach radioaktiven Materials in die Umwelt gelangen. Neben diesen der atomrechtlichen Genehmigung und Aufsicht unterliegenden Einträgen radioaktiver Stoffen in die Umwelt können radioaktive Stoffe auch aus NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) oder Altlasten ausgetragen oder bei kerntechnischen Unfällen in die Biosphäre freigesetzt werden. Radioökologische Modelle sind unverzichtbar, um das dynamische Verhalten und die Akkumulation dieser radioaktiven Stoffe in der Umwelt quantitativ zu beschreiben. Sie sind die Grundlage, um die potentielle oder tatsächliche Strahlenexposition von Mensch und Umwelt zu ermitteln sowie die Einhaltung von Dosisgrenzwerten nach dem Atomgesetz (AtG) und/oder nachgeordneten Rechtsvorschriften (z.B. §§ 46, 47 StrlSchV) nachzuweisen.

Das BfS entwickelt die für die Ermittlung der Strahlenexposition von Mensch und Umwelt erforderlichen Berechnungsgrundlagen gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik weiter und schreibt sie fort. Im Falle der für Genehmigung und Aufsicht relevanten Modelle stellt das BfS einen im Hinblick auf den jeweiligen Anwendungszweck angemessenen Grad an Konservativität sicher.

Das BfS leitet zudem aus den einschlägigen Dosisgrenz- bzw. Dosisrichtwerten mithilfe radioökologischer Modelle sekundäre Grenz- oder Richtwerte, wie z.B. Freigabewerte, ab.

VIII.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Der Kenntnisstand zum dynamischen Verhalten radioaktiver Stoffe in der Umwelt und die Datengrundlage für die radioökologische Modellierung sind je nach chemischem Element hinsichtlich Umfang und Qualität äußerst heterogen. Zum großen Teil basiert die radioökologische Modellierung gegenwärtig auf empirischen Parametern, wie z.B. Transferfaktoren, Konzentrationsverhältnissen oder K_d -Werten. Diese Werte können – abhängig von im heutigen Modellansatz nicht betrachteten Faktoren – um mehrere Größenordnungen variieren. Bei generischen Modellprognosen, etwa im Rahmen von Genehmigungsverfahren,

führt diese Bandbreite zu extrem unsicheren Werten für die Strahlenexposition von Mensch und Umwelt, was einen hohen Grad an Konservativität der Modellierung erfordert. Relevante Daten fehlen insbesondere bei langlebigen Radionukliden, die über sehr lange Zeiträume aus Endlagern freigesetzt werden und in die Biosphäre gelangen.

Um die Belastbarkeit radioökologischer Modellprognosen zu verbessern, werden mittel- und langfristig folgende Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

- Prozessorientierung der radioökologischen Modellierung

Die prozessorientierte radioökologische Modellierung ersetzt wichtige empirische Modellparameter, die mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, durch robuste radioökologische Teilmodelle. Mit diesen soll die radioaktive Kontamination von Umweltmedien sowie die Strahlenexposition von Mensch und Umwelt genauer und sicherer prognostiziert werden. Hierzu sollen Schlüsselprozesse, die das dynamische Verhalten radioaktiver Stoffe in der Umwelt bestimmen, identifiziert, detailliert aufgeklärt und explizit modelliert werden. Machbarkeitsstudien werden im Rahmen des europäischen Exzellenznetzwerks STAR (Strategy for Allied Radioecology) und des beantragten Nachfolgevorhabens COMET (Coordination and Implementation of a Pan-European Instrument for Radioecology) auf europäischer Ebene durchgeführt.

- Weiterentwicklung radioökologischer Modellierungsansätze

Zur radioökologischen Modellierung werden sowohl deterministische als auch probabilistische/stochastische Ansätze herangezogen. Bei letzteren liegt der Schwerpunkt derzeit bei eindimensionalen Monte-Carlo-Simulationen zur verteilungsbasierten Modellierung. Im Rahmen eines kürzlich abgeschlossenen Vorhabens wurde untersucht, welchem Modellierungsansatz unter den jeweiligen Randbedingungen (Fragestellung, Expositionssituation, Qualität der zur Verfügung stehenden Daten) der Vorzug zu geben ist. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen mittelfristig Methoden identifiziert werden, mit denen die im Strahlenschutz oft geforderten hohen Perzentile (95. Perzentile) einer Zielgröße zuverlässig ermittelt werden können, insbesondere wenn die Modellparameter korreliert sind.

Parameter radioökologischer Modelle unterliegen im Allgemeinen einer natürlichen Variabilität, die jedoch nicht sicher bekannt ist. Mithilfe zweidimensionaler Monte-Carlo-Simulationen soll der Frage nachgegangen werden, wie sich der Einfluss von Variabilität und Unsicherheit in der Modellprognose niederschlägt. Ergänzend soll im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Variabilität von Umweltkontaminationen quantifiziert werden, die allein aus der zeitlich stochastischen Natur der maßgebenden radioökologischen Prozesse resultiert.

- Modellvalidierung

Eine besondere Herausforderung der radioökologischen Modellierung ist die Validierung von Langzeitprognosen dynamischer radioökologischer Modelle. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass unter günstigen ökologischen Bedingungen Langzeitprognosen mithilfe der Verteilung stabiler Isotope des gleichen chemischen Elements in einem Ökosystem validiert werden können. Ausgangspunkt ist die Überlegung, dass die (zerfallskorrigierte) Verteilung eines Radionuklids sich asymptotisch der stationären Verteilung des stabilen Isotops annähern sollte, sofern sich die Umweltbedingungen nicht signifikant ändern. Im Rahmen des europäischen Exzellenznetzwerks STAR und des beantragten Nachfolgevorhabens COMET sollen auf europäischer Ebene innovative Ansätze zur Validierung dynamischer radioökologischer Modelle entwickelt und operationalisiert werden.

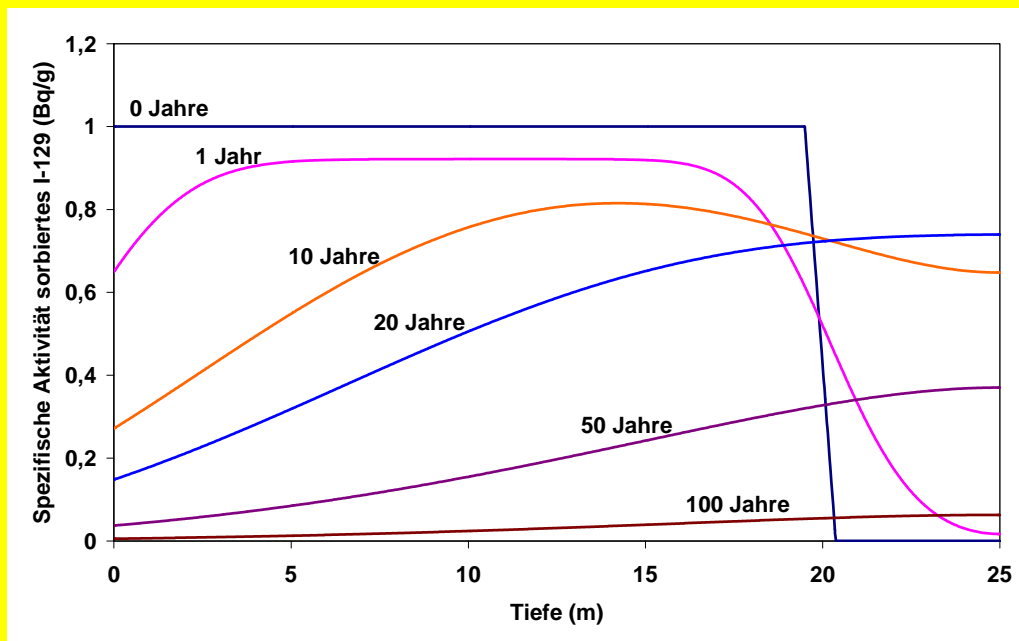
Die Forschungsschwerpunkte im Bereich Radioökologie finden sich auch in der gemeinsamen, langfristig angelegten Forschungsstrategie (Strategic Research Agenda), die das BfS zusammen mit acht renommierten europäischen Partnern – nationalen Strahlenschutzbehörden, Großforschungseinrichtungen und Universitäten – unter Beteiligung der internationalen Wissenschaftsgemeinde entwickelt hat. Die Vernetzung der europäischen Spitzenforschung im Bereich Radioökologie erlaubt es, auch anspruchsvolle Forschungsthemen effizient und wirtschaftlich zu bearbeiten.

Beispiel: Prozessorientierte Modellierung

Die klassische Radioökologie verwendet zum großen Teil empirische Parameter, die auf vereinfachenden Annahmen basieren und die Effekte mehrerer dynamischer Prozesse in einem einzigen empirischen Parameter aggregieren. Die Unsicherheitsbandbreite solcher Modellparameter, wie z.B. Transferfaktoren, umfasst oft mehrere Größenordnungen. Nicht selten sind sie zusätzlich zeitabhängig. Zuverlässige Modellprognosen sind in solchen Fällen entweder nur sehr eingeschränkt oder gar nicht möglich.

Bei der prozessorientierten Modellierung werden sensitive empirische Modellparameter, die mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind oder eine erhebliche Zeitabhängigkeit aufweisen, durch robuste radioökologische Teilmodelle ersetzt. Hierzu werden zunächst die hinsichtlich des Radionuklidtransports dominierenden Prozesse identifiziert, in einem angemessenen Detaillierungsgrad aufgeklärt und explizit modelliert. Leitgedanken sind hierbei eine möglichst einfache Struktur des radioökologischen Teilmodells und die Zeitunabhängigkeit der Modellparameter. Am Beispiel ausgewählter radioökologischer Prozesse, die einen ausgeprägten stochastischen Charakter aufweisen, wird zudem der Frage nachgegangen, ob sich die Variabilität radioökologischer Messdaten und deren statistische Kenngrößen durch die explizite stochastische Modellierung abbilden lässt.

Die prozessorientierte Modellierung wird auch international als ein unverzichtbarer Schritt in Richtung robusterer radioökologischer Modellprognosen gesehen und wurde in der oben erwähnten Forschungsstrategie – gemeinsam mit anderen Themen – als prioritär eingestuft.



Modellrechnungen mit HYDRUS: Räumliche und zeitliche Entwicklung der spezifischen Aktivität von sorbiertem I-129 in einer Deponie (Tiefe 0 bis 20 m) und in der ungesättigten Bodenzone (Tiefe > 20 m)

IX Emissions- und Immissionsüberwachung

Beim Betrieb kerntechnischer Anlagen werden auch bei Nutzung modernster Rückhaltesysteme, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, radioaktive Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser in die Umwelt freigesetzt. Diese Emissionen unterliegen der Genehmigung und Aufsicht und müssen zum Schutz der Bevölkerung durch Messungen überwacht und auf die dafür festgelegten Grenzwerte hin überprüft werden.

IX.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Zur Sicherstellung der bundeseinheitlichen Qualitätsstandards bei der Emissions- und Immissionsüberwachung nach StrlSchV § 48 Absatz 4 sind vielfältige Fragestellungen bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen zu bearbeiten. Durch die in vielen Kernkraftwerken anstehenden Rückbauarbeiten erhalten diese Fragen zusätzliche Relevanz und Dringlichkeit. So ist die Strahlenbelastung für die Bevölkerung durch die Ableitungen kerntechnischer Anlagen beim Rückbau realitätsnah zu ermitteln. Hierzu müssen die abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen mit der Fortluft und dem Abwasser repräsentativ bestimmt werden. Ferner soll die Güte der Probenentnahme im Normalbetrieb, Störfall bzw. Rückbau überprüft und weiterentwickelt sowie Nuklidvektoren bei den unterschiedlichen Betriebszuständen ermittelt werden.

Die ermittelten Aktivitätsableitungen aller deutschen kerntechnischen Anlagen werden jährlich durch die Leitstellen für Fortluft und Abwasser im BfS zusammengestellt und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an die Europäische Kommission berichtet. Darüber hinaus haben sich die Mitgliedstaaten des OSPAR-Übereinkommens (Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic) seit 2005 vertraglich dazu verpflichtet, neben den Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen auch die Einträge infolge von nuklearmedizinischen Anwendungen zu quantifizieren, die über die Flusssysteme in den Nordostatlantik gelangen können.

IX.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

- Überwachung von Emissionen mit der Fortluft

Beim Normalbetrieb von kerntechnischen Anlagen ist die Ermittlung der Aktivitätsableitungen hinlänglich bekannt. Insbesondere wurde die Güte der Probenentnahme sehr umfassend in den 1970er bis 1990er Jahren untersucht. Dagegen liegen im Hinblick auf die laufenden und anstehenden Rückbaumaßnahmen von kerntechnischen Anlagen, bei denen deutliche Abweichungen der Nuklidvektoren oder der Verteilung der Aerosolpartikeldurchmesser zu erwarten sind, bisher nur unzureichende Kenntnisse vor. Dies ist deshalb relevant, weil in

Abhängigkeit von der Partikelgröße ein Teil der Aerosolpartikel und der daran angelagerten radioaktiven Stoffe durch Abscheidung in den Probeentnahmesonden und den Transportleitungen nicht gemessen werden kann. Um diese Abscheideeffekte zu kompensieren und eine Unterschätzung der Aktivitätsableitung zu verhindern, müssen für jede kerntechnische Anlage gemäß KTA-Regel 1503.1 Korrekturfaktoren für den bestimmungsgemäßen Betrieb ermittelt werden. Eine Charakterisierung von aerosolpartikelgetragenen Radionukliden wurde vor circa 20 Jahren nur für im Betrieb befindliche kerntechnischen Anlagen durchgeführt. Aus diesem Grund wird derzeit eine Pilotstudie zur Charakterisierung der aerosolgetragenen freigesetzten Radionuklide in einem im Rückbau befindlichen deutschen Kernkraftwerk durchgeführt.

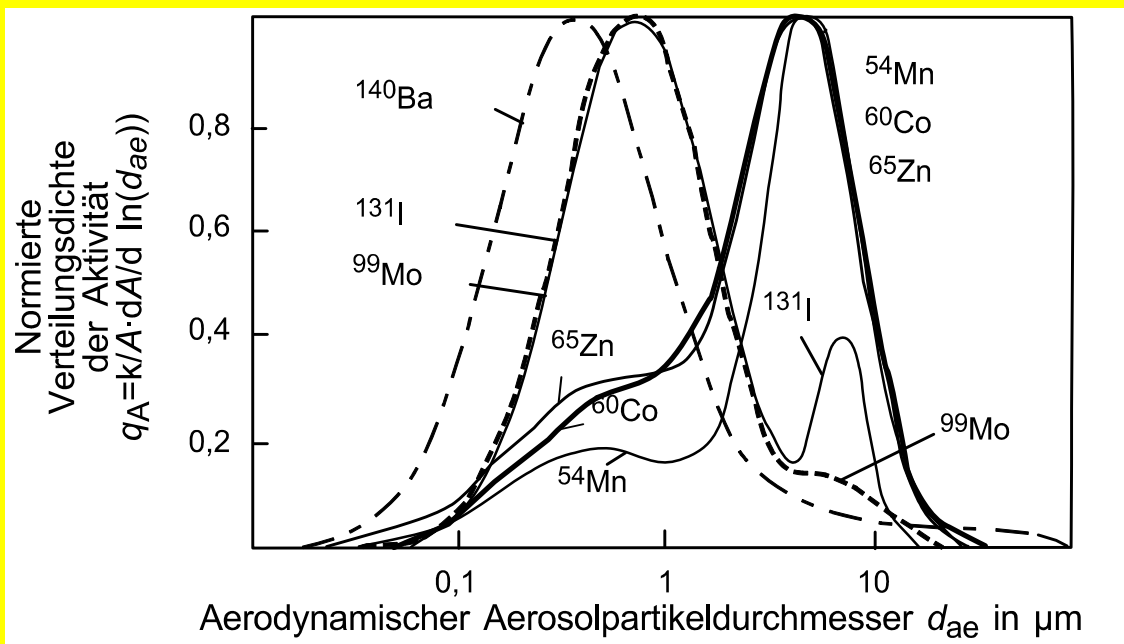
Zur Berechnung der durch die abgeleiteten radioaktiven Stoffe im Umfeld kerntechnischer Anlagen resultierenden Strahlenbelastung für die Bevölkerung wurde das Lagrange-Modell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid Transport Modell) entwickelt. Es steht dem BfS seit dem Jahr 2007 zur Verfügung. Da ARTM das zurzeit in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV zur Benutzung vorgeschriebene Gaußmodell ersetzen soll bzw. alternativ dazu verwendet werden soll, ist es erforderlich, Modellvergleiche mit anderen Ausbreitungsmodellen durchzuführen und auszuwerten. Neben einer Validierung der Modellergebnisse durch experimentelle Untersuchungen sollen Sensitivitätsstudien zu einzelnen Modellparametern durchgeführt werden. Die Prinzipien der Parametrisierung der Turbulenz in Ausbreitungsmodellen sollen neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dazu liegen bislang nur wenige aktuelle Studien vor. Neue Verfahren, die ohne eine Klassifizierung der Turbulenzzustände in Diffusionskategorien auskommen, werden unter anderem vom VDI und im Rahmen einer im BfS betreuten Dissertation erarbeitet.

- Überwachung von Emissionen mit dem Abwasser

In Deutschland besteht derzeit keine Berichtspflicht der Verursacher zu den von ihnen abgeleiteten Aktivitätsmengen aus nuklearmedizinischen Einrichtungen oder diffusen Einträgen durch entlassene Patienten. Diese Aktivitätseinträge in die deutschen Flussgebiete können durch Messungen und mit modellhaften Beschreibungen der Transportprozesse der eingeleiteten radioaktiven Stoffe unter Berücksichtigung des Transports mit der Wasserströmung, Quermischungen, Austausch mit dem Grundwasser, Retention, Adsorption an Schwebstoffen, Sedimentation und Resuspension bestimmt werden. Des Weiteren ist der Aufbau einer Datenbank bis 2020 zur Dokumentation der Anzahl und Art der jährlich bei den nuklearmedizinischen Einrichtungen in Deutschland durchgeführten medizinischen Untersuchungen und der dabei eingesetzten radioaktiven Stoffe (z. B. I-131 bei Schilddrüsenerkrankungen) und injizierten Aktivitäten, welche über das Abwassersystem in Fließgewässer gelangen können, notwendig. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden sowohl an das OSPAR Komitee übermittelt als auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Beispiel: Ermittlung der Güte von Probenentnahmeeinrichtungen von im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen

Zur Ermittlung der Güte der Probenentnahmeeinrichtungen von im Rückbau befindlichen kerntechnischen Anlagen sind Untersuchungen durchzuführen, z. B. zu den im Rückbau angewandten Arbeitsmethoden, zu der im Fortluftkamin vorliegenden Größenverteilung von Aerosolpartikeln bei unterschiedlichen Arbeitsvorgängen bzw. zum Nuklidspektrum. Damit wird der Stand der Wissenschaft auf diesen Gebieten erfasst und erweitert. Wesentliche Arbeitsprogramme dienen der messtechnischen Ermittlung der Aerosolpartikelverteilung im Fortluftkamin bzw. in den Teilabluftsträngen und der rechnerischen Ermittlung von Abscheideverlusten in den Probeentnahmeleitungen. Erste Ergebnisse bisher durchgeführter Arbeiten deuten darauf hin, dass sich sowohl die Größenverteilung der Aerosolpartikel als auch das Nuklidspektrum vom Normalbetrieb kerntechnischer Anlagen unterscheidet.



Beispiel für Verteilungen der Aktivität einiger Radionuklide über dem aerodynamischen Aerosolpartikeldurchmesser d_{ae} in der Fortluft eines Kernkraftwerkes mit Siedewasserreaktor (nach K.H. Becker et al., Measurements of Activity Size Distribution of Radioactive Aerosols from a Nuclear Power Plant, 6th International Congress IRPA, Berlin (1984))

Entscheidend für das Gelingen von Forschungsvorhaben im Bereich des Rückbaus kerntechnischer Anlagen ist die vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Forschungsnehmer, zuständiger Aufsichtsbehörde und Betreiber sowie die uneingeschränkte Transparenz der Forschungsergebnisse sowohl für die Fachwelt als auch für die Bevölkerung.

X Strahlenschutz bei der Endlagerung

Die Nutzung der Kernenergie und die Anwendung radioaktiver Stoffe in der Industrie, der Forschung und Medizin hat zu radioaktiven Abfällen geführt, die aufgrund ihres lang anhaltenden Gefährdungspotentials für Mensch und Umwelt dauerhaft sicher von der Biosphäre fern gehalten werden müssen. In Deutschland ist bislang für diese Abfälle die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgesehen. Für die Genehmigung zum Bau und Betrieb eines Endlagers muss nachgewiesen werden, dass der Schutz von Mensch und Umwelt langfristig gewährleistet ist.

X.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Im Atomgesetz (AtG) ist geregelt, dass der Bund Anlagen zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einrichtet. Das BfS muss die Sicherheitsnachweise für die Betriebs- und die Nachbetriebsphase der Endlager erbringen. Mittels radiologischer Sicherheitsanalysen wird aufgezeigt, welche Strahlenexpositionen für Beschäftigte und für Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktstrahlung und Ableitungen von Radionukliden aus dem Endlager während der Betriebsphase bzw. durch Freisetzung von Radionukliden aus dem Endlager in der Nachverschlussphase auftreten können. Für Szenarien, die alle relevanten Entwicklungen abdecken, wird die Höhe der abgeleiteten bzw. freigesetzten Aktivität berechnet und mit radioökologischen Expositionsmodellen die Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung ermittelt (vgl. Beitrag "Radioökologie"). Es wird aufgezeigt, dass die potenziellen Strahlenexpositionen soweit technisch möglich minimiert und die maßgebenden Grenzwerte bzw. Schutzziele eingehalten werden.

Die für die Modellierung des Radionuklidtransports in der Biosphäre relevanten Prozesse sind nur unzureichend verstanden und die Parameter klassischer radioökologischer Modelle sind zum Teil mit großen Unsicherheiten behaftet (vgl. Beitrag "Radioökologie"). Deswegen werden für die Bestimmung der potenziellen Strahlenexposition abdeckende Modellierungsansätze und Parameterwerte zugrunde gelegt. Da rechnerische Überschreitungen der maßgebenden Grenzwerte oft aus einer zu konservativen Betrachtungsweise resultieren, besteht weiterer Forschungsbedarf zur prozessorientierten Modellierung (vgl. Beitrag "Radioökologie"), um eine realistischere Berechnung der Strahlenexposition zu ermöglichen und die Sicherheitsnachweise im Genehmigungsverfahren auf eine belastbare Grundlage zu stellen.

X.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

- Dynamisches Verhalten von Radionukliden in der Biosphäre

Neben den im Beitrag zur Radioökologie benannten Fragen besteht im Rahmen der Langzeitbetrachtungen besonderer Forschungsbedarf in folgenden Bereichen: Es sind

geeignete Herangehensweisen zu entwickeln, um den Unsicherheiten insbesondere der Klimaentwicklung, die durch die mit den Prognosen verknüpften langen Zeiträume unausweichlich sind, gerecht zu werden.

Der Übergang von langlebigen Radionukliden aus der Geosphäre in die Biosphäre aufgrund des Wasseraufstiegs an Endlagerstandorten wird von bodenchemischen und -physikalischen Faktoren bestimmt. Eine Schlüsselrolle kommt dabei dem Verteilungskoeffizienten zwischen flüssiger und fester Phase zu, welcher stark von den jeweiligen Bodenparametern und deren langfristiger zeitlicher Entwicklung abhängig ist. Verteilungskoeffizienten, die für die heutigen Biosphären an Endlagerstandorten ermittelt wurden, müssen daher an die neuen Bedingungen bei Klimaänderungen angepasst werden. Literaturwerte sind dafür nur bedingt geeignet, weil sich deren Schwankungsbereich über mehrere Größenordnungen erstreckt.

Zur Lösung dieses Problems kann auf die prozessorientierte Modellierung zurückgegriffen werden, wie sie auch im Themenbereich „Radioökologie“ (s. o.) beschrieben wird.

Zur Ermittlung der Verteilungskoeffizienten wurde ein Mehrkomponentenmodell des Bodens entwickelt. Das Modell soll erweitert und zu einem eindimensionalen Ausbreitungsmodell in Böden weiterentwickelt werden (siehe Beispiel: Referenzbiosphärenmodell). Die Ergebnisse sollen in eine Leitlinie zur Ermittlung von Strahlenexpositionen im Rahmen eines radiologischen Langzeitsicherheitsnachweises einfließen.

- Entwicklung radioanalytischer Methoden für hochsalinare Lösungen

Der radiochemischen Untersuchung salzhaltiger Lösungen im Endlagerbereich kommt eine besondere Bedeutung zu: In der Schachanlage Asse II treten auf verschiedenen Sohlen Salzlösungen auf, die radioaktive Kontaminationen aufweisen. Eine ausreichende Kenntnis des Radionuklidinventars und der chemischen Zusammensetzung der Salzlösungen ist für die Gewährleistung des betrieblichen Strahlenschutzes erforderlich und kann wichtige Hinweise auf die eingelagerten radioaktiven Abfälle liefern. Solche Analysen werden auch zur Charakterisierung der Salzlösung benötigt, bevor diese weiter verwendet bzw. verwertet werden darf oder als betrieblicher radioaktiver Abfall deklariert und entsorgt wird.

In den letzten Jahren hat das BfS eine Vielzahl radiochemischer Methoden zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden entwickelt und bei der Charakterisierung von Grubenwässern aus der Schachanlage Asse II erfolgreich angewandt. In weitergehenden Untersuchungen sollen Verfahren zur Bestimmung des anorganischen C-14 und des Gesamt-C-14-Gehalts in diesen Lösungen weiterentwickelt werden. Aus der Differenz kann der Gehalt an organisch gebundenem C-14 ermittelt werden.

Beispiel: Referenzbiosphärenmodell

Zur Prognose potentieller Strahlenexpositionen durch radioaktive Stoffe, die aus einem Endlager in die Biosphäre gelangen könnten, wird ein Referenzbiosphärenmodell benötigt. Es beschreibt insbesondere die klimatische Entwicklung über den relevanten, sehr langen Zeitraum. Durch die sorgfältige Analyse und Begründung möglicher Entwicklungen im Rahmen der Erstellung des Referenzbiosphärenmodells wird die Methode den Unsicherheiten – insbesondere der Klimaentwicklungen –, die durch die mit den Prognosen verknüpften langen Zeiträume unausweichlich sind, gerecht.

Im Rahmen des Referenzbiosphärenmodells wird auch der Übergang der Radionuklide in die verschiedenen Bestandteile des Bodens beschrieben. Bisher wurde mit Hilfe des geochemischen Codes PHREEQC ein Mehrkomponentenmodell entwickelt, das in der Lage ist, die Speziations- und Sorptionseigenschaften eines in die Bodenmatrix eingetragenen Radionuklids auf der Basis thermodynamischer Konstanten abzubilden. Die mit diesem Modell für ausgewählte Bodentypen und Nuklide ermittelten Ergebnisse stimmen mit experimentell ermittelten Daten sehr gut überein. Das Modell soll auf andere Bodentypen und endlagerrelevante Nuklide erweitert und in Verbindung mit einem hydrologischen Modell zu einem eindimensionalen Ausbreitungsmodell für Radionuklide in Böden ausgebaut werden.

| | A | B | C |
|---|--|--|--|
| 1 | Grundwasser | Wasserzutritte (Quellen, Direktzufluss in Seen und Flüsse) | Kapillarer Wasseraufstieg, Bewässerung, geochemische Reaktionen |
| 2 | Grundwasserneubildung | Oberflächenwasser | Wassererosion (Oberflächenabfluss), Änderung von Flussläufen, geochemische Reaktionen |
| 3 | Grundwasserneubildung durch Bodensickerwasser, Wasser-/Stofftransport im Boden | Bodeneintrag durch Erosion | Boden |



Vereinfachte Interaction Matrix (Ausschnitt) zur Entwicklung eines Biosphärenmodells

XI Nuklearspezifische Gefahrenabwehr

Nuklearspezifische Gefahrenabwehr beschäftigt sich mit radioaktiven Stoffen außerhalb der regulatorischen Kontrolle, zum Beispiel bei Verlust oder Fund radioaktiver Stoffe oder im Falle von Straftaten oder Androhung von Straftaten im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen. Die intensivierete Bedrohung durch den internationalen Terrorismus hat die Gefährdungslage in den letzten Jahren verschärft. Deswegen wurden die Regierungen im Rahmen des Nukleargipfels in Seoul 2012 nochmals aufgefordert, besondere Anstrengungen in Bezug auf Prävention, Detektion und Abwehr von Nuklearterrorismus zu unternehmen.

XI.1 Hintergrund / Ressortinteresse

Das BfS ist gemäß § 2 Abs. 5 des Errichtungsgesetzes verpflichtet, in gravierenden Fällen der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) die zuständigen Behörden zu unterstützen. Diese Aufgabe wird im BfS fachbereichsübergreifend wahrgenommen. Die AG-NGA bereitet das BfS auf diese Fälle durch Ausbildung, Übungen und Forschung vor. NGA ist ein durch interne und externe Schnittstellen geprägtes multidisziplinäres Arbeitsgebiet, auf dem Mitarbeiter aus zahlreichen Organisationseinheiten des BfS ihre Expertise einbringen.

Zuständige Behörden sind sowohl die Strahlenschutzbehörden und Polizeien der Länder als auch verschiedene Behörden des Bundes. Zur Bündelung der Ressourcen des Bundes wurde für polizeiliche Lagen die „Zentrale Unterstützungsgruppe des Bundes (ZUB) für gravierende Fälle der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr“ gegründet. Im Rahmen der ZUB arbeitet das BfS mit Bundeskriminalamt (BKA) und Bundespolizei (BPOL) zusammen.

XI.2 Gegenwärtige Situation und geplante Arbeiten

Die Nuklearspezifische Gefahrenabwehr wird im Wesentlichen in drei Bereiche untergliedert: Prävention, Detektion und Reaktion bzw. Abwehr. Zweck der Forschung ist es, die Fähigkeiten entsprechend dem internationalen Standard zu steigern und sich den verändernden Bedrohungslagen anzupassen.

- Projekt "UAV-Assisted Ad Hoc Networks for Crisis Management and Hostile Environment Sensing" (Akronym: ANCHORS)

Bei Ereignissen der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr müssen schnellstmöglich Informationen über Strahlenfelder und andere mögliche Gefährdungen von Einsatzkräften erhoben und bereitgestellt werden. Im Rahmen des deutsch-französischen ANCHORS-Projektes werden ein Schwarm von Drohnen (Hexacopter) und eine zugehörige Basisstation zur kleinräumigen radiologischen und optischen Aufklärung entwickelt. Schwerpunkte der Beiträge des BfS liegen in der Szenarioentwicklung, der Festlegung von Arbeitsparametern und der

Qualitätssicherung für den Radioaktivitätssensor, um den Nutzen im Einsatzfall zu maximieren.

- Radiologische Sicherheit bei Veranstaltungen

Das BfS unterstützt die Sicherheitsbehörden bei politischen Großveranstaltungen (G8-Gipfel, NATO-Gipfel, Staatsbesuche) und beim Schutz bestimmter Personen vor Angriffen mit radioaktivem Material. Vorhandene Detektionsmöglichkeiten und -verfahren müssen hierfür angepasst werden, da unter den gegebenen Einsatzbedingungen nur wenig Zeit zur Verfügung steht. Es werden Konzepte und Methoden (sog. „Schnellmethoden“) entwickelt, die sowohl zeitlichen Beschränkungen als auch den geänderten Arbeitsbedingungen, z. B. bei der Probennahme und Arbeit außerhalb von Laboren, Rechnung tragen. Die Ergebnisse werden mit internationalen Partnern ausgetauscht und wissenschaftliche Neuentwicklungen kontinuierlich auf Einsatzmöglichkeit geprüft.

- Radiologische Lageermittlung unter Missbrauchsgesichtspunkten

Das BfS beteiligt sich an der Weiter- und Neuentwicklung von Messmethoden zur Erkennung von Missbrauchsfällen von Radionukliden. Die hierdurch gewonnenen Kenntnisse über die Grenzen technischer Verfahren fließen auch in die Lagebewertung und die Entwicklung von operativen Ansätzen ein. So wird untersucht, inwieweit die in der Bombenentschärfung üblichen Durchleuchtungstechniken bei einer Beiladung mit verschiedenen radioaktiven Quellen noch auswertbare Ergebnisse liefern.

Zu den Detektionsmöglichkeiten bei maskierten Radionukliden sowie der schnellen und zuverlässigen Detektion von Kernbrennstoff, ggf. in Verbindung mit einer kritischen Anordnung, werden – aufbauend auf den bereits vorliegenden Ergebnissen – weitere Untersuchungen durchgeführt.

Auch die Messung von Gammaskpektren typischer Radionuklide, die zu medizinischen Zwecken eingesetzt oder im Hinblick auf einen solchen Einsatz untersucht werden, soll analysiert und optimiert werden (siehe Beispiel).

- Entwicklung von Strahlenschutzkonzepten für den Einsatzfall

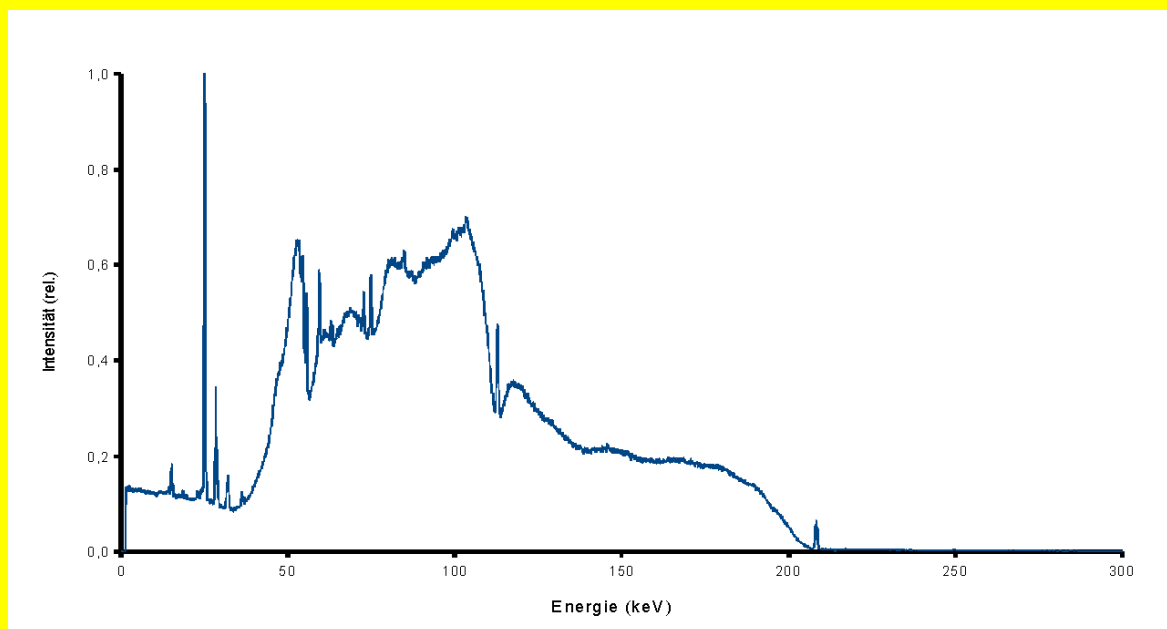
Das BfS ist bei ZUB-Einsätzen für den Strahlenschutz der Einsatzkräfte verantwortlich. Es ist verpflichtet, den bestmöglichen Schutz gegen radioaktive Stoffe – Direktstrahlung und Inkorporation – zu treffen. Daher werden für eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten und Einsatzsituationen passende Strahlenschutzkonzepte entwickelt und implementiert. Kurzfristig umsetzbare Konzepte zur Minimierung der radiologischen Auswirkungen einer unkonventionellen Spreng- und Brandvorrichtung mit radioaktiver Beiladung (USBV-R) im Strahlenfeld einer hoch radioaktiven Quelle (HRQ) sollen ermittelt und validiert werden. Die Konzepte orientieren sich an terroristischen Bedrohungsszenarien, haben aber auch Relevanz für den

Notfallschutz. Auch die Maßnahmen zur Dosisminimierung und zur Minimierung von Kontaminationsverschleppungen im Einsatz sollen weiterentwickelt werden.

Beispiel: Messung von Gammaskpektren typischer Radionuklide, die weltweit zu medizinischen Zwecken eingesetzt oder untersucht werden

Die zum Schutz gegen Missbrauch von Radionukliden durchgeführten Detektionsmaßnahmen werden unvermeidbar auch Umweltradioaktivität und medizinisch genutzte Radionuklide auffinden. Um bei der Detektion radioaktiver Stoffe zweifelsfrei feststellen zu können, ob es sich um legale oder illegale Nutzung handelt, oder um Maskierungen zu erkennen, benötigen die Einsatzkräfte des BfS umfassendes Wissen über Art, Nutzung und Missbrauchspotential medizinischer Radionuklide sowie über deren Detektierbarkeit.

Dazu sollen NGA-relevante Informationen und Gammaskpektren von Radionukliden erfasst werden, die derzeit in Deutschland und international für medizinische Zwecke genutzt werden oder deren medizinische Verwendungsmöglichkeit Gegenstand laufender Forschung ist. Dabei werden auch Details wie Herstellungsweg, chemische Form und Eigenschaften, typische Anwendungsmengen etc. erfasst, um möglichst genaue Aussagen über Detektionsprobleme oder Missbrauchspotential machen zu können.



Komplexe Spektren von medizinischen Radionukliden können die Detektion in Missbrauchsfällen erschweren. Daher untersucht das BfS sowohl die Spektren gebräuchlicher als auch in der medizinischen Forschung genutzter Radionuklide, um die Erkennung zu verbessern.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|--|
| ALARA | Konzept zur Dosisbegrenzung: <u>A</u> s <u>L</u> ow <u>A</u> s <u>R</u> easonably <u>A</u> chievable (so gering wie vernünftigerweise erreichbar) |
| ANCHORS | UAV-Assisted Ad Hoc Networks for Crisis Management and Hostile Environment Sensing |
| ANDANTE | Multidisciplinary evaluation of the cancer risk from neutrons relative to photons using stem cells and the analysis of second malignant neoplasms following paediatric radiation therapy |
| ARTM | Atmosphärisches Radionuklid Transport Modell |
| ASN | Autorité de sûreté nucléaire |
| AtG | Atomgesetz (<i>Kurzform</i>) |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz |
| BKA | Bundeskriminalamt |
| BMBF | Bundesministerium für Forschung und Bildung |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BPOL | Bundespolizei |
| C | Chemisches Zeichen: Kohlenstoff |
| CABRI | Französischer Versuchsreaktor der französischen Atomenergiebehörde |
| CO-CHER | Cooperation on Chernobyl Health Research |
| COMARE | Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment |
| COMET | Coordination and Implementation of a Pan-European Instrument for Radioecology |
| CT | Computer-Tomographie |
| DMF | Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm |
| DoReMi | Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration |
| DRW | Diagnostischer Referenzwert |
| EHC | Environmental Health Criteria |
| ELDO-DoReMi | Epidemiological studies of radio-induced cataracts in interventional radiologists and cardiologists: methodology implementation (im Rahmen von DoReMi) |
| EPI-CT | Epidemiological study to quantify risks for paediatric computerized tomography and to optimise doses |
| ERA | European Radiobiological Archives |
| ESOREX | European Study on Occupational Radiation Exposure |
| ESP | Elektronischer Strahlenpass |

| | |
|----------------------|---|
| EU | Europäische Union |
| G8 | Gruppe der Acht (größten Industrienationen) |
| GFZ | Deutsches GeoForschungsZentrum (Potsdam) |
| HGÜ | Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung |
| HRQ | Hoch radioaktive Quelle |
| I | Chemisches Zeichen: Jod |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IARC | International Agency for Research on Cancer |
| ICNIRP | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection |
| ICRP | International Commission on Radiological Protection |
| IMIS | Integriertes Mess- und Informationssystem (zur Überwachung der Umweltradioaktivität) |
| IPL | Intense Pulsed Light |
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire |
| ISOE | Information System on Occupational Exposure |
| K _d -Wert | Maß dafür, wie leicht ein Stoff an einer Oberfläche sorbiert |
| KVSF | Kompetenzverbund Strahlenforschung |
| LTE | Long Term Evolution; Mobilfunkstandard der vierten Generation (3,9G-Standard) |
| MELODI | Multidisciplinary European Low Dose Initiative |
| MRT | Magnet-Resonanz-Tomographie |
| MSP | Mammographie-Screening-Programm |
| NATO | North Atlantic Treaty Organization |
| NERIS | Towards a self sustaining European Technology Platform (NERIS-TP) on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery |
| NGA | Nuklearspezifische Gefahrenabwehr |
| NiSG | Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen |
| NORM | Naturally Occurring Radioactive Material |
| OECD/NEA | Nuclear Energy Agency (of OECD) |
| OSPAR | nach den beiden Vorläufern Oslo-Konvention und Paris-Konvention benannter völkerrechtlicher Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks |
| PHREEQC | Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations |

| | |
|----------|---|
| RENEB | Realizing the European Network of Biodosimetry |
| RODOS | Realtime Decision Support System (for nuclear emergency management) |
| RöV | Röntgenverordnung |
| SPE | Solar Particle Event |
| SPECT | Single Photon Emission Computed Tomography |
| STAR | Strategy for Allied Radioecology (Europäisches Netzwerk) |
| STORE | Sustaining access to Tissues and data from Radiobiological Experiments |
| StrlSchV | Strahlenschutzverordnung |
| UFOPLAN | Umweltforschungsplan des BMU |
| UNSCEAR | United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation |
| USBV-R | Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung mit radioaktiver Beiladung |
| UV | ultraviolett (in <i>UV-Strahlung</i>) |
| UVI | UV-Index |
| VOC | Volatile Organic Compound |
| WHO | World Health Organization |
| ZISS | Targets and signalling pathways of radiation hypersensitivity and resistance |
| ZUB | Zentrale Unterstützungsgruppe des Bundes für gravierende Fälle der nuklearspezifischen Gefahrenabwehr |