



# JAHRESBERICHT 2004



Bundesamt für Strahlenschutz

## IMPRESSUM

**Herausgeber:** Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
D - 38201 Salzgitter  
Telefon: +49 (0) 18 88 - 3 33 - 0  
Telefax: +49 (0) 18 88 - 3 33 - 18 85

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

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

**Redaktion:** Lutz Ebermann

**Gestaltung/Druck:** Schlütersche Druck GmbH & Co. KG  
Hans-Böckler-Straße 52  
30851 Langenhagen

**Fotos:** BfS - Melanie Quandt  
und genannte Quellen

# INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis .....   | 3         |
| Vorwort .....  | 5         |
| <b>HERAUSFORDERUNGEN UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN DES STRAHLENSCHUTZES .....</b>                         | <b>6</b>  |
| Leitlinien Strahlenschutz .....  | 8         |
| <b>WEITERE ARBEITSSCHWERPUNKTE DES BfS .....</b>   | <b>14</b> |
| Ein fachliches Konzept zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon .....                       | 14        |
| Erfassung und Bewertung medizinischer Strahlenexpositionen zwischen 1996 und 2001 .....              | 21        |
| Endlagerung radioaktiver Abfälle .....   | 24        |
| Endlager Morsleben .....   | 24        |
| Schachtanlage Konrad .....   | 26        |
| Erkundungsbergwerk Gorleben .....  | 27        |
| Staatliche Verwahrung von Kernbrennstoffen .....   | 28        |
| Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen .....  | 29        |
| Zentrale Zwischenlager .....   | 29        |
| Dezentrale Zwischenlager an den Standorten der Kraftwerke .....                                      | 30        |
| Transport von radioaktiven Stoffen und Kernbrennstoffen .....  | 35        |
| <b>AUSGEWÄHLTE EINZELTHEMEN .....</b>  | <b>37</b> |
| Das neue Integrierte Mess- und Informationssystem (IMIS) zur Überwachung der Umweltradioaktivität .. | 37        |
| Neue Regelungen zur Verteilung von Kaliumjodidtabletten bei einem kerntechnischen Unfall .....       | 39        |
| Anhaltende Radiocäsium-Kontamination von Wildschweinen .....   | 40        |
| Ergebnisse der Untersuchungen zur natürlichen Strahlenexposition durch die Nahrungsaufnahme .....    | 42        |
| Die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition .....                                  | 43        |
| Schutz des ungeborenen Lebens vor den Gefahren ionisierender Strahlung .....                         | 47        |
| Möglichkeiten der individuellen retrospektiven Dosimetrie mittels Chipkarten .....                   | 49        |
| Bauartzulassungen nach Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung .....                          | 50        |
| Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm .....  | 52        |
| Emissionsüberwachung von Kernkraftwerken .....   | 56        |
| Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken – Stand und Entwicklung .....                             | 59        |
| Alterungsmanagement und Sicherheitskultur in deutschen Kernkraftwerken .....                         | 59        |
| Radioaktive Abfälle aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland .....                 | 61        |
| Meldepflichtige Ereignisse in kerntechnischen Einrichtungen der Bundesrepublik im Jahr 2004 .....    | 63        |
| Forschung für mehr Sicherheit und Strahlenschutz .....   | 64        |
| <b>BfS: FAKTEN UND ZAHLEN .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>PRESSE- UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT .....</b>   | <b>70</b> |
| <b>PUBLIKATIONEN .....</b>   | <b>73</b> |



**Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Leserinnen und Leser,**

der Jahresbericht 2004 des Bundesamtes für Strahlenschutz beschäftigt sich ausführlich mit zukunftsweisenden Überlegungen zum Strahlenschutz.

Das gegenwärtige System des Strahlenschutzes verfügt über eine solide Wissensbasis. Für die Zwecke des praktischen Strahlenschutzes liegen differenzierte Konzepte und Regelungen vor, die den Schutz der Bevölkerung sowie des Einzelnen am Arbeitsplatz sicherstellen. Eine Weiterentwicklung dieses Systems ist im Wesentlichen aus zwei Gründen erforderlich: Einerseits droht wegen der Komplexität der Regelungen die innere Logik des Systems sowie die Handhabbarkeit für die Praxis verloren zu gehen. Andererseits wird zunehmend deutlich, dass der bisherige Ansatz für einen geringen Teil der Bevölkerung möglicherweise keinen hinreichenden Schutz garantiert.

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat seine Position zu den Grundsatzfragen des Strahlenschutzes in den Leitlinien Strahlenschutz zusammengefasst. Der Bericht untersucht die Grundlagen zum Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren und Risiken ionisierender und nicht ionisierender Strahlung und erweitert diese angesichts neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und gesellschaftlicher Entwicklungen. Eine öffentliche Diskussion dazu ist für 2005 vorgesehen.

Aber auch auf anderen Gebieten hat das BfS 2004 dazu beigetragen, Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur Reduzierung der Strahlenexposition der Bevölkerung aufzuzeigen. So wurde z. B. als Ergebnis der Auswertung der bisher in Europa zu Fragen der Exposition durch Radon durchgeführten Studien vom BfS ein Konzept für Strahlenschutzmaßnahmen zur Verminderung der Strahlenexposition durch Radon in Aufenthaltsräumen entwickelt und vorgestellt.

Ob nun ein Konzept zur sicheren und dauerhaften Entsorgung radioaktiver Abfälle, ob Empfehlungen zur Minimierung des Radonrisikos oder zum Gebrauch von Handys, das BfS ist auch 2004 seinem Leitspruch „Verantwortung für Mensch und Umwelt“ treu geblieben.



Allen, die uns bei der Erfüllung dieser Aufgabe tatkräftig unterstützt oder durch Fragen unsere Aufmerksamkeit auf Probleme gelenkt haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt aber allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des BfS, die mit ihrem Engagement die Grundlage für die erzielten guten Ergebnisse geschaffen haben. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die Perspektiven des Strahlenschutzes zu einem wesentlichen Teil auch davon abhängen, wie es gelingt, den Wissenstransfer in die nächste Generation zu organisieren und die bereits klar erkennbaren Probleme in einzelnen Bereichen des Strahlenschutzes zu lösen. Das beinhaltet auch, dass der zurzeit zu verzeichnende dramatische Verlust von fachlicher Kompetenz gestoppt werden muss.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'W. König'. The signature is stylized and written in a cursive-like font.

Ihr  
Wolfram König  
Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz

# HERAUSFORDERUNGEN UND ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN DES STRAHLENSCHUTZES

Wolfram König

Die ersten Erkenntnisse, dass die Anwendung ionisierender Strahlung nicht nur von großem Nutzen für die Diagnose und die Therapie bestimmter Krankheiten, sondern auch mit gesundheitlichen Gefahren und Risiken für Patient und Arzt verbunden sein kann, sind über 100 Jahre alt. Sie stammen aus der Anfangszeit der Anwendung von Röntgenstrahlung zum Ende des 19. Jahrhunderts. Systematische Untersuchungen der Radiobiologie zur Aufklärung der Mechanismen, die Grund für die Gefahren und Risiken sind, werden seit Mitte der 30er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts durchgeführt. Epidemiologische Untersuchungen an Überlebenden der Atombombenabwürfe in Hiroshima und Nagasaki führten zu weiteren, vertieften Erkenntnissen über die Risiken ionisierender Strahlung.

Es dauerte aber bis in die 50er Jahre, bis die Prinzipien des Strahlenschutzes – das sind die Notwendigkeit zur Rechtfertigung jeder Strahlenanwendung, zur Begrenzung der damit verbundenen Dosis und zur Minimierung jeglicher Strahlenexposition unterhalb von Dosisbegrenzungen – allgemeine Anerkennung auf internationaler Ebene fanden und mit der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung in nationales Recht überführt wurden. Das bis heute ständig weiterentwickelte und inzwischen sehr komplexe System des Strahlenschutzes wird sowohl dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand als auch den gesellschaftlichen Anforderungen an die Beteiligung bei Regelungsprozessen gerecht.

Die letzte umfassende Empfehlung der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) zu den Grundlagen des Strahlenschutzes (ICRP Publikation 60) stammt aus dem Jahr 1991. Derzeit wird an einer Aktualisierung dieser Empfehlung gearbeitet, die die inzwischen vorliegenden neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse berücksichtigen und darauf abzielen soll, die Vielzahl der Einzelregelungen im Sinne einer konsistenten Gesamtbewertung nach übergeordneten Gesichtspunkten zusammenzuführen und zu vereinfachen. Auf diesem historischen Hintergrund stellen die vom BfS erarbeiteten *Leitlinien Strahlenschutz* eine Bestandsaufnahme der aktuellen Erkenntnisse dar. Sie legen den Rahmen behördlichen Handelns fest und zeigen Schwerpunkte des Strahlenschutzes im nationalen Kontext auf. Außerdem zeigen die Leitlinien den fachlichen Handlungsrahmen für die Beteiligung des BfS an den internationalen Diskussio-

nen zur Fortentwicklung des Strahlenschutzes auf. Die Schwerpunkte beinhalten nicht nur den Strahlenschutz bei ionisierender Strahlung sondern auch bei nicht ionisierender Strahlung.

Der Strahlenschutz steht zu Beginn des 21. Jahrhunderts vor großen Herausforderungen. Zum einen ist festzustellen, dass die Wissensbasis – verglichen mit der Situation in anderen Bereichen, in denen ebenfalls die Notwendigkeit zum Schutz von Mensch und Umwelt besteht – aufgrund jahrzehntelanger intensiver Erforschung der Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung solide ist. Für die Zwecke des praktischen Strahlenschutzes liegen differenzierte Konzepte und Regelungen vor, die den Schutz der allgemeinen Bevölkerung in unterschiedlichen Situationen sowie des Einzelnen am Arbeitsplatz sicherstellen. Auch für die in Zukunft verstärkt anstehenden Fragen des Strahlenschutzes, z. B. im Bereich der Stilllegung von Anlagen der Kernbrennstoffver- und -entsorgung und der Endlagerung, liegt eine gute fachliche Grundlage vor. Die Ausdifferenzierung der bestehenden Regelungen des Strahlenschutzes hat allerdings inzwischen einen Stand erreicht, bei dem die übergeordneten Grundlagen und Prinzipien in der Komplexität der Einzelregelungen unterzugehen drohen und Stimmen laut werden, die eine Vereinfachung des bestehenden Systems für die praktischen Belange des Strahlenschutzes einfordern. Dem stellt sich z. B. die ICRP, die für ihre neuen Grundsatzempfehlungen den Anspruch erhebt, die große Zahl der Dosisgrenz- und Richtwerte auf eine überschaubare Zahl von Werten zurückzuführen. Der damit eingeschlagene Weg sollte in Zukunft im Rahmen der europäischen und der nationalen Gesetzgebung konsequent weiterverfolgt werden.

Auf der anderen Seite mehren sich die Hinweise aus der Wissenschaft, dass die bisher als unumstößlich geltenden Grundprinzipien des Schutzes vor den Wirkungen ionisierender Strahlung, die global mit der Grundhypothese einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert charakterisiert werden können, die Realitäten möglicherweise nicht vollständig beschreiben. Außerdem wird mehr und mehr deutlich, dass der bisherige Ansatz im Strahlenschutz, der auf Mittelwerten des Strahlenrisikos aufbaut, für einen geringen Teil der Bevölkerung möglicherweise keinen hinreichenden Schutz garantiert. Beim derzeitigen Erkenntnisstand zur individuellen Strahlenempfindlichkeit sind bezüglich der sicheren Charakterisierung dieser besonders empfindlichen

Personengruppe noch viele Einzelfragen offen. Unklar ist auch, wie die Gesellschaft nach Lösung der noch offenen Sachfragen mit diesem Sachverhalt praktisch umgehen wird – hier gilt es, in den nächsten Jahren schwierige ethische Fragen zu beantworten.

Im Bereich der nicht ionisierenden Strahlung (NIR) stellt sich die Situation völlig anders dar als im ionisierenden Bereich. Der Bereich NIR umfasst einen großen Teil des elektromagnetischen Spektrums, vom ultravioletten Licht über die hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks bis zu den niederfrequenten elektromagnetischen Feldern der Stromversorgung. Fragen des Strahlenschutzes in diesem Bereich sind – ausgelöst durch den rasanten Ausbau der Mobilfunktechnologie – in den letzten Jahren immer mehr ins Zentrum des öffentlichen Interesses gerückt. Verglichen mit dem Bereich der ionisierenden Strahlung sind die Strahlenschutzgrundsätze und die Regelungsdichte hier weit weniger entwickelt. Es mangelt auch für viele Frequenzbereiche an Basiswissen über Wirkungsmechanismen und an quantitativen Risikoschätzungen. Zentrale Konzepte des Strahlenschutzes, wie z. B. der Dosisbegriff, existieren nur ansatzweise im Bereich der UV-Strahlung. Die im Bereich der ionisierenden Strahlung lange etablierten Grundsätze des Strahlenschutzes, die Rechtfertigung, die Dosisbegrenzung, die Minimierung und die Vorsorge werden im Bereich NIR national und international kontrovers diskutiert. Um hier zu einem vergleichbar kohärenten System des praktischen Strahlenschutzes zu kommen, bedarf es weiterer Anstrengungen, sowohl im Bereich der Forschung als auch im Bereich der Rechtsetzung.

### **Kompetenzerhalt als Herausforderung für die Zukunft**

Eine existenzielle Herausforderung für den Strahlenschutz in der nächsten Dekade ist der andauernde dramatische Verlust an fachlicher Kompetenz. Dies zeigt sich am deutlichsten an der Altersstruktur der

im Strahlenschutz Tätigen, am starken Rückgang der Anzahl einschlägiger Lehrstühle an den Hochschulen, dem Rückgang an Angeboten für die fachliche Aus- und Fortbildung sowie an der stark rückläufigen Zahl von Studenten in den einschlägigen Fächern. Die zukünftigen Perspektiven des Strahlenschutzes hängen zu einem wesentlichen Teil davon ab, dass es gelingt, den Wissenstransfer in die nächste Generation zu organisieren und die bereits klar erkennbaren Probleme in einzelnen Bereichen des Strahlenschutzes zu lösen. Die Probleme sind seit langem bekannt, Vorschläge zur Behebung gibt es in großer Zahl. Es ist allerdings bisher nur in Ansätzen zu erkennen, dass diese einer Lösung näher gebracht werden konnten. Einen Beitrag zur Linderung der Probleme des schleichenden Kompetenzverlustes im Bereich Biologische Dosimetrie haben im Jahr 2004 das BfS und die Strahlenschutzbehörden in Frankreich (IRSN) und Großbritannien (NRPB) geleistet, indem sie sich im Rahmen eines institutionellen Kooperationsabkommens zur Zusammenarbeit und Unterstützung verpflichtet haben. Außerdem gelang in Zusammenarbeit mit dem Bundesumweltministerium (BMU) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Einrichtung einer Stiftungsprofessur, die vom Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF) weitergeführt wird. Dies ist die Voraussetzung für den Erhalt der Kompetenz im Bereich Strahlenbiologie an der GSF und ein erster wichtiger Schritt, um dem Verlust von Lehrstühlen bzw. strahlenbiologischen Instituten an Universitäten entgegenzutreten. Erfolg versprechende Lösungsansätze existieren auch bei der gezielten Nachwuchsförderung im Rahmen nationaler und europäischer Forschungsförderprogramme und durch die Schaffung von Netzwerken für Forschung sowie für die Aus- und Weiterbildung. So wird derzeit – gefördert durch das 6. EU-Rahmenprogramm EURATOM – ein Netzwerk der Ausbildungsstätten in den Mitgliedsstaaten aufgebaut, das die Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz auf europäischer Ebene zu organisieren gestattet.

## LEITLINIEN STRAHLENSCHUTZ

Ansprechpartner:

Gerald Kirchner (0 18 88/3 33-41 00)  
Wolfgang Weiss (0 18 88/3 33-21 00)

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat sich im Jahr 2004 umfassend mit den zukünftigen Fragen an den Strahlenschutz auseinandergesetzt und seine Position zu den Grundsatzfragen des Strahlenschutzes in dem Bericht *Leitlinien Strahlenschutz* zusammengefasst. Der Bericht untersucht die Grundlagen zum Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren und Risiken ionisierender und nicht ionisierender Strahlung und definiert diese im Kontext neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Entwicklungen neu. Er setzt sich dabei explizit mit den Überlegungen auseinander, die im laufenden Jahr unter aktiver Beteiligung des BfS u. a. von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP, [www.icrp.org](http://www.icrp.org)) angestellt wurden. Die fachlichen Hintergründe werden in den Leitlinien Strahlenschutz angesprochen. Die Positionen des BfS werden in Form von Thesen dargestellt und begründet. Im Folgenden werden die zentralen Aussagen der Leitlinien zusammengefasst. Nicht eingegangen wird dabei auf die in den Leitlinien enthaltenen Positionen zu Einzelfragen wie der Dosis-Wirkungs-Beziehung, dem Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF), den Gewebe- und Strahlungswichtungsfaktoren für Photonen, Neutronen und Protonen, der Kollektivdosis und den unterschiedlichen Verfahren zur Expositionsbestimmung der Bevölkerung. Dagegen wird eine besonders bedeutende Einzelfragestellung, die „Radonregulation“, in diesem Bericht noch ausführlich behandelt.

Zur Vorstellung und Diskussion der Leitlinien ist eine Diskussionsrunde mit allen einschlägigen Institutionen geplant. Dies schließt eine Veröffentlichung u. a. auf der BfS-Homepage ein.

### Die Grundsätze des Strahlenschutzes

Das System des Strahlenschutzes baut auf den Grundsätzen **Rechtfertigung**, **Dosisbegrenzung** und **Minimierung** auf. Daran wird sich auch in Zukunft nichts ändern. Allerdings haben die intensiven Fachdiskussionen in den letzten Jahren zu Fortentwicklungen, Präzisierungen und Modifikationen der bisherigen Festlegungen zu diesen Grundsätzen geführt. Die folgende Erläuterung dieser Grundsätze unterscheidet fallweise verschiedene Anwendungen (planbare und genehmigungsbedürftige Tätigkeiten und Arbeiten und die sog. „Interventionen“ (Unfallsituationen, faktische Situationen)) sowie die spezielle Situation in der Medizin.

### Der Grundsatz der Rechtfertigung

Die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Wissenschaft und Technik sowie in der Medizin bedarf der Rechtfertigung. Dies sicherzustellen ist eine primäre Aufgabe des Staates. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Abwägung zwischen dem Nutzen einer Anwendung und dem damit verbundenen Strahlenrisiko. Die Begründung und Quantifizierung des Nutzens ist in der Regel nicht originäre Aufgabe des Strahlenschutzes, sondern eine gesellschaftliche Aufgabe, die eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich macht. Dies ist allerdings noch immer nicht allgemein anerkannt, geschweige denn akzeptiert. Rechtfertigung setzt einen aktiven Prozess der Abwägung zwischen Handlungsoptionen voraus, der Verweis auf niedrige Expositionen allein ist nicht hinreichend für die Rechtfertigung einer Anwendung. Die Ermittlung und die Bewertung eines „Nettonutzens“ ist nicht trivial und muss zum Teil qualitativ erfolgen. Es sind z. B. alternative Verfahren ohne die Anwendung ionisierender Strahlung in den Überlegungen mit zu berücksichtigen. Die Rechtfertigung erfolgt in vielen der hier einschlägigen Situationen im Rahmen gesamtgesellschaftlicher Prozesse, die den Strahlenschutz mit einbeziehen.

Der Prozess der Rechtfertigung muss durch Festbeschreibung von Standards nachvollziehbar und transparent sein. Dabei müssen die Handelnden einschließlich ihrer Funktionen eindeutig identifiziert, die erwogenen Handlungsoptionen benannt und die jeweils damit verbundenen Risiken und der Nutzen aufgezeigt werden. Es ist dringend erforderlich, die Verfahren der Nutzen-Risiko-Abwägung, vergleichbar der Risikobewertung, stärker auf eine fachlich-wissenschaftliche Grundlage zu stellen. In vielen Fällen können hierbei bestehende betriebs-, volks- und versicherungswirtschaftliche sowie gesellschaftswissenschaftliche Methoden zum Einsatz kommen. Die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit dieser Methoden für den Abgleich von Handlungsoptionen ist weiterzuentwickeln und umzusetzen. In Fällen in denen die Rechtfertigung auf Einzelfallentscheidungen hinausläuft, wie bei der rechtfertigenden Indikation des Arztes, sollte der erforderliche fachliche Abwägungsprozess in Form von anerkannten fachlichen Standards transparent gemacht werden.

### Der Grundsatz der Dosisbegrenzung

Für die Dosisbegrenzung kommen im Strahlenschutz alternativ zwei Vorgehensweisen zum Einsatz. Zum einen kann die Dosis in allen Fällen, in denen die Strahlenquellen kontrolliert bzw. Anwendungen ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe geplant werden können, durch Grenzwerte strikt begrenzt

werden. Ist diese Kontrolle im engen Sinne nicht möglich, so erfolgt die Dosisbegrenzung über Maßnahme- oder Richtwerte bzw. Ziel- oder Referenzwerte.

Das Einhalten der für die unterschiedlichen Situationen relevanten Begrenzungswerte und -prinzipien allein reicht im Strahlenschutz nicht aus. Es besteht vielmehr immer das zusätzliche Erfordernis zur Optimierung. Bei der beruflichen Strahlenexposition sind die Expositionen grundsätzlich auf der Basis individueller Dosismesswerte zu erfassen und zu bewerten. Strahlenexpositionen beim Umgang mit künstlich erzeugten und natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen sind gleich zu bewerten. Die Dosismesswerte sind zentral zu erfassen und die Grenzwerte zentral zu überwachen. Ein entsprechender Ausbau des Strahlenschutzregisters des BfS, z. B. im Hinblick auf die Überwachung des fliegenden Personals und zur gezielten Übernahme von Altdaten aus den früheren Zuständigkeitsbereichen der Länder, war Gegenstand der Arbeiten im Jahr 2004.

Strahlenexpositionen der Bevölkerung infolge genehmigter Tätigkeiten müssen abgeschätzt bzw. berechnet werden. Dabei ist eine messtechnische Überwachung auf individueller Ebene weder möglich noch notwendig. Die Überwachung der Dosisbegrenzung der Bevölkerung muss bzgl. der eingesetzten Abschätz- und Berechnungsverfahren auf Annahmen beruhen, die auch außergewöhnliche Lebensgewohnheiten abdecken, gleichzeitig aber nicht zu kon-

servativ sind. Eine einzelne Strahlenquelle oder Strahlenanwendung darf dabei nur einen möglichst kleinen Anteil des Dosisgrenzwerts der Bevölkerung ausschöpfen. Zur Begrenzung der Dosis aus diagnostischen Anwendungen in der Medizin kommen Diagnostische Referenzwerte (DRW) zur Anwendung. Die Unterschreitung dieser Werte ist durch physikalisch-technische und durch Verfahren der Qualitätssicherung zu gewährleisten. Dies setzt insbesondere eine weitere Stärkung der Position der Ärztlichen Stellen (ÄS) voraus. Die Dosisbegrenzung bei Strahlenexpositionen durch Quellen, die nicht kontrollierbar sind wie z. B. das Radon in Gebäuden (s. Beitrag Seite 14 ff), basiert auf Maßnahme- und Zielwerten. Potenzielle oder tatsächliche Expositionen oberhalb dieser Werte werden bei der Planung und Ausführung von Maßnahmen zur Dosisreduktion berücksichtigt. Die konkrete Ausführung von Maßnahmen erfolgt unter Berücksichtigung der Grundsätze der Optimierung. Ziel solcher Maßnahmen ist eine Unterschreitung relevanter Werte. Ein Beispiel hierfür ist die derzeit vom BfS aktiv geforderte Regelung zur Dosisbegrenzung durch Radon in Aufenthaltsräumen.

Bei Unfallsituationen wird die Dosis durch sog. Eingriffswerte begrenzt, die einerseits der Planung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes dienen und andererseits die Obergrenzen darstellen, die die Einleitung und Durchführung von Schutzmaßnahmen zwingend erforderlich machen.

### **Der Grundsatz der Minimierung**

Der Grundsatz der Minimierung – im internationalen Sprachgebrauch auch Optimierung (optimisation) genannt – hat eine erhebliche Bedeutung für den praktischen Strahlenschutz. Bei der praktischen Anwendung des Grundsatzes im Rahmen planerischer Überlegungen werden Strategien gesucht und angewandt, die unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles zur Reduktion der Exposition der Bevölkerung und beruflich Strahlenexponierter führen. Hierbei ist die Dosismessung möglichst realistisch durchzuführen. Optimierung setzt einen aktiven Prozess der Abwägung zwischen Handlungsoptionen voraus. Das Erreichen niedriger Expositionswerte unterhalb von Grenz- und Richtwerten oder das Unterschreiten eines bestimmten Verhältnisses von Aufwand (Kosten) zu Ertrag (eingesparte Dosis) allein ist noch kein Nachweis dafür, dass das Optimum erreicht ist. Es ist Aufgabe des „Betreibers“ bzw. Antragstellers und Genehmigungsinhabers, Optimierungsüberlegungen anzustellen, transparent zu gestalten und zu dokumentieren. Es ist Aufgabe der Behörde, diese Überlegungen zu prüfen und bei der Genehmigung festzustellen, dass dem Optimierungserfordernis Rechnung getragen wurde. Zur Umsetzung dieser Anforderung sind Handlungsanleitungen



Seit 2003 sind die Betreiber von Flugzeugen verpflichtet, die Strahlendosis ihrer Beschäftigten zu ermitteln und an das Strahlenschutzregister im BfS zu übermitteln.

zu erstellen und verbindlich einzuführen. Dieses Prinzip gilt in übertragenem Sinne auch für den Bereich der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin.

Wie bei der Rechtfertigung sind bei der Optimierung neben den fachlichen und technischen Fragen des Strahlenschutzes auch soziale und gesellschaftliche Prozesse wichtig; der Prozess der Optimierung muss durch Festbeschreibung von Mindeststandards nachvollziehbar und transparent sein. Die Festbeschreibung solcher Standards in Leitfäden ist dringend notwendig. Die Leitfäden sollten insbesondere folgende Aspekte berücksichtigen: die Definition von Zielhierarchien, Aufzeigen von Alternativen, Präferenzen/Prioritäten und die Beschreibung des eigentlichen Verfahrens.

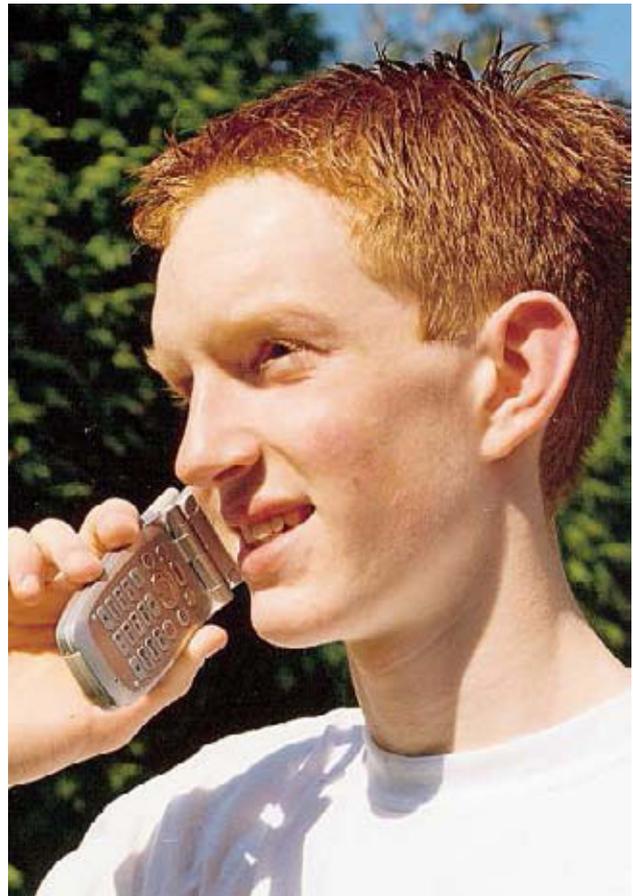
Im Rahmen verbindlicher Regelungen müssen die Notwendigkeit zur Ausgestaltung des Optimierungsprozesses und Bedingungen für die Durchführung des Prozesses, einschließlich der Einbeziehung der Betroffenen („stakeholder involvement“), festgelegt sein. Zur sachgerechten Umsetzung solcher Stakeholder-Prozesse müssen sowohl das fachliche Anforderungsprofil der im Strahlenschutz Verantwortlichen als auch die Organisationsformen der Strahlenschutzorganisationen und -behörden weiterentwickelt werden.

### **Das Vorsorgeprinzip im Strahlenschutz**

Der verantwortungsvolle Umgang mit Risiken setzt ganz allgemein voraus, dass neben die Abwehr von Gefahren durch das Ergreifen von Schutzmaßnahmen das Prinzip der Vorsorge als eigenständige Maßnahme tritt. Hierfür gibt es zwei wesentliche Gründe. Zum einen herrschen im Bereich niedriger Expositionen, wie sie im Leben eines jeden Menschen allgegenwärtig sind, große Unsicherheiten über die tatsächlichen Risikofaktoren. Im Bereich der ionisierenden Strahlung sind die Unsicherheiten dadurch bedingt, dass die Risikofaktoren durch Extrapolation von belastbaren Daten bei wesentlich höheren Werten gewonnen werden müssen. Trotz großer Anstrengungen in der laufenden Forschung kann nicht erwartet werden, dass die bestehenden Unsicherheiten jemals ganz ausgeräumt werden können.

Im Bereich der nicht ionisierenden Strahlung gilt zwar ein durch eine Wirkungsschwelle charakterisiertes Schadenseintrittskonzept. Aber auch hier gibt es Hinweise auf biologische Effekte unterhalb von erkannten Gefahrenschwellen, deren gesundheitliche Relevanz derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden kann.

Zwar sind die Energien nicht ionisierender hochfrequenter elektromagnetischer Felder zu niedrig, um



Mit seinen Empfehlungen zur Handynutzung wendet sich das BfS insbesondere an Jugendliche

zur Krebsinduktion beizutragen. Es werden aber in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur durchaus Mechanismen zur Krebspromotion diskutiert. Aus diesem Grund ist auch in diesem Bereich Vorsorge angezeigt. Dies gilt insbesondere für Jugendliche und Heranwachsende, bei denen eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit bisher nicht ausgeschlossen werden kann. Im Bereich UV ist die Vorsorge, insbesondere im Kindesalter und bei heranwachsenden Jugendlichen in besonderem Maße erforderlich, da in diesem Alterzeitraum ein erheblicher Anteil des Gesamtrisikos, an Hautkrebs zu erkranken, erworben wird. Die Vorsorge stellt beim Umgang mit Risiken neben der Gefahrenabwehr ein zweites wichtiges Prinzip dar, das dem Erhalt der Gesundheit dient und deshalb in den einschlägigen rechtlichen Regelungen als Strahlenschutzprinzip verankert werden sollte.

In den folgenden Abschnitten wird auf die Situation und den Handlungsbedarf in drei Bereichen des Strahlenschutzes näher eingegangen, denen in der derzeitigen öffentlichen Diskussion besondere Bedeutung zukommt: die medizinische Strahlenexposition, die Exposition durch nicht ionisierende Strahlung sowie der Schutz der Umwelt.

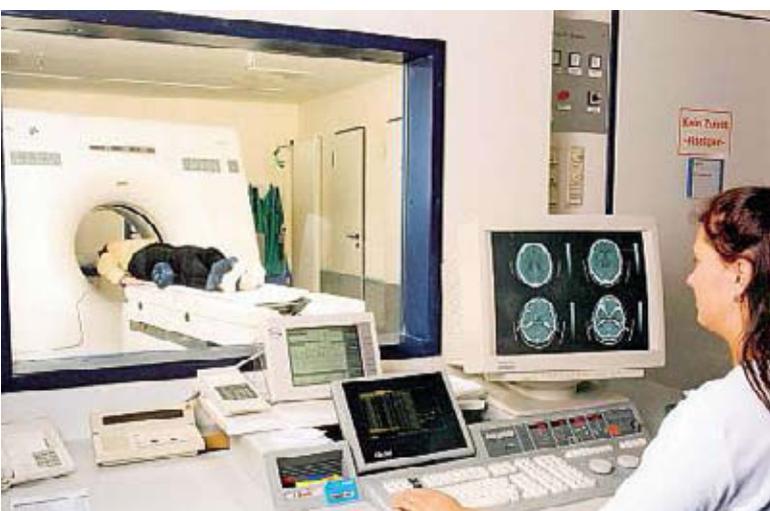
## Medizinische Strahlenexpositionen

Die medizinisch bedingte Strahlenexposition macht zu fast 100 Prozent den Beitrag der zivilisatorisch bedingten Strahlenexposition pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland aus. Schon deshalb ist aus Gründen eines effektiven Strahlenschutzes eine intensive Beschäftigung mit Expositionen in diesem Bereich erforderlich. Einen detaillierten Überblick über die Entwicklung der medizinischen Strahlenexposition in den letzten Jahren gibt der Beitrag „Erfassung und Bewertung medizinischer Strahlenexpositionen zwischen 1996 und 2001“ (s. Seite 21 ff). Um den Strahlenschutz der Patienten zu verbessern, wurden im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutz-(StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RÖV) die Aufgaben und Rechte der „Ärztlichen und Zahnärztlichen Stellen“ (ÄS) erweitert und „Diagnostische Referenzwerte“ (DRW) eingeführt. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Qualität der Untersuchungen zu verbessern und die Dosis pro Untersuchung mittelfristig zu reduzieren. Neben den bereits umgesetzten Maßnahmen zur Qualitätssicherung ist eine Verringerung der Anzahl der Untersuchungen die wirksamste Möglichkeit, die Strahlenexposition von Patienten zu reduzieren. Diese Maßnahmen allein werden allerdings nicht ausreichen, um eine grundlegende Veränderung der aktuellen Situation zu erreichen. Bemühungen zur Reduktion der Strahlenexposition der Bevölkerung durch strahlendiagnostische Maßnahmen müssen viel mehr als bisher bei der rechtfertigenden Indikation ansetzen, die zur Zeit aus verschiedenen Gründen nicht so restriktiv gehandhabt wird, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten wünschenswert ist.

So könnte nach Einschätzung der Deutschen Röntgengesellschaft etwa auf die Hälfte aller Röntgenun-

tersuchungen verzichtet werden. Um einen weiteren unkontrollierten Anstieg der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die radiologische und nuklearmedizinische Diagnostik zu vermeiden, müssen neue Technologien frühzeitig strahlenhygienisch bewertet werden. Die Einführung innovativer radiologischer und nuklearmedizinischer Techniken in die medizinische Routine wird auch in Zukunft neue diagnostische und therapeutische Optionen eröffnen. Diese Entwicklung macht es erforderlich, die Regelungen zum Erwerb und zur Aktualisierung der Fachkunde im Strahlenschutz in dem jeweiligen Bereich kontinuierlich anzupassen (aktuelles Beispiel: Teleradiologie, d. h. die elektronische Übertragung von radiologischen Aufnahmen zum Zweck der Befundung an einen anderen Ort). Darüber hinaus ist die Strahlenexposition der Patienten und des Personals beim Einsatz neuer Techniken zu bewerten. So ist insbesondere zu vermeiden, dass es durch einen unreflektierten Einsatz neuer Techniken und die Verwendung von Verfahren, die die Belange des Strahlenschutzes nicht optimal berücksichtigen, zu einem nicht gerechtfertigten Anstieg der Strahlenexposition der Bevölkerung kommt. Aus diesem Grund ist es entscheidend, bereits während der frühzeitigen Evaluation neuer diagnostischer Technologien begleitende strahlenhygienische Studien durchzuführen, um die Untersuchungspraxis und die daraus resultierende Strahlenexposition der Patienten zu erfassen. Basierend auf den erhobenen Daten können dann dosisoptimierte Untersuchungsverfahren erarbeitet und angewandt werden.

Gegenwärtige Gesundheitsstrategien zielen immer stärker auf Früherkennungsmaßnahmen ab. Hierbei kommt den bildgebenden Verfahren der radiologischen Diagnostik eine besondere Bedeutung zu. Die flächendeckende Einführung von Früherkennungsmaßnahmen mittels radiologischer Verfahren erfordert zunächst eine strahlenhygienische Bewertung auf der Basis von Nutzen-Risiko-Analysen. Um dabei den Belangen des Strahlenschutzes gerecht zu werden, müssen strukturelle Mindestvoraussetzungen für die Früherkennungsprogramme geschaffen werden. Während sich das Interesse bislang auf konventionelle Röntgenaufnahmen konzentrierte, wie z. B. die Röntgen-Mammographie, zeichnet sich in einigen Ländern mit einem hohen medizinischen Versorgungsniveau der Trend ab, auch dosisintensivere Verfahren, wie z. B. die Röntgen-Computertomographie (CT), einzusetzen. Hintergrund ist, dass moderne CT-Systeme eine räumlich hochaufgelöste Darstellung großer Untersuchungsregionen des Körpers innerhalb weniger Sekunden erlauben. So kann z. B. der gesamte Bauchraum und der Brustbereich in Atem-Anhaltetechnik ohne Bewegungsartefakte (unerwünschte Störungen) erfasst werden. Diese neue Technik kann für Vorsorgeuntersuchungen ein-



Der Anstieg der mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung in der Medizin wird vorwiegend durch die stetige Zunahme von CT-Untersuchungen verursacht

gesetzt werden, z. B. im Dickdarmbereich (virtuelle Koloskopie zur Früherkennung von Dickdarntumoren) sowie im Herzbereich (Calcium-Scoring, Früherkennung der Verkalkung von Herzkranzgefäßen).

Grundsätzlich ist der Einsatz der CT als Früherkennungsmaßnahme nur auf der Basis wissenschaftlich belastbarer Nutzen-Risiko-Analysen akzeptabel. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch die wissenschaftliche Datenlage zur Nutzen-Risiko-Abwägung unzulänglich. So liegen zum Nutzen, z. B. zur Mortalitätsreduktion durch CT- Früherkennungsuntersuchungen, bislang keine abschließenden Studien vor. Auch die Abschätzung des Strahlenrisikos stellt eine komplexe Aufgabe dar, da verschiedene Organe exponiert werden und bei bestimmten Personengruppen (z. B. bei Rauchern) andere Strahlenrisiken bestehen als bei einer „Normalbevölkerung“. Die mit dem Einsatz der CT verbundenen effektiven Dosen, insbesondere die Organdosen können durch regelmäßige CT-Früherkennungsmaßnahmen beträchtliche Werte erreichen. Somit ist das daraus resultierende Strahlenrisiko sorgfältig in Betracht zu ziehen.

## **Nicht Ionisierende Strahlung**

Strahlenschutzempfehlungen bei nicht ionisierender Strahlung (NIR) beruhen im Wesentlichen auf der Begrenzung der Exposition auf Werte, die deutlich unterhalb von bekannten Wirkungsschwellen liegen. Für akute Wirkungen sind auch die entsprechenden Wirkungsmechanismen bekannt. So sind bei ultravioletter Strahlung Wirkungen bekannt, die zum Auftreten von Hautkrebs führen können.

Der Begriff der Rechtfertigung ist im NIR-Bereich bislang überhaupt noch nicht diskutiert worden. Die letzten Jahrzehnte waren geprägt durch eine rasante Technisierung aller Bereiche des Alltags. Diese Entwicklung wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Eine Vielzahl der neuen technischen Anwendungen erzeugen dabei nicht ionisierende Strahlen, zum Teil sogar in erheblichem Umfang. Beispiele sind die modernen drahtlosen Kommunikationstechniken, aber auch die Entwicklung neuer, leistungsstarker Lichtquellen. Die Frage der Rechtfertigung sollte deshalb vor allem bei der Entwicklung neuer Technologien gestellt werden. Eine Strahlenschutzbewertung neuer Technologien ist bisher in aller Regel erst nach Markteinführung der entsprechenden Technologie möglich, da die hierfür erforderlichen Daten dem Strahlenschutz vorher nicht verfügbar gemacht wurden. Änderungen technischer Details, die zu einem verbesserten Strahlenschutz führen könnten, sind unter diesen Umständen dann meist nicht mehr realisierbar.

Die hinsichtlich neuer Technologien offenen Fragen des Strahlenschutzes lassen sich in zwei Kategorien

einteilen. In Frequenzbereichen, bei denen Wirkmechanismen mit Schwellencharakter bekannt sind, besteht die berechtigte Sorge, dass durch die Summe der stetig steigenden Zahl an Quellen die Schwellenwerte zunehmend ausgeschöpft werden. Es ist nicht auszuschließen, dass es durch Interferenzen aus Sicht des Strahlenschutzes lokal zu bedenklichen Expositionserhöhungen kommt. Darüber hinaus kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich mit ständig neu erschlossenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums, wie z. B. Höchstfrequenzen-Terahertz-Feldern (THz), für den Strahlenschutz neue Herausforderungen ergeben. Bisher gab es auf dem Markt nur wenige und kostspielige THz-Anwendungen (1 THz = 1000 GHz). Es könnten sich aber künftig eine Vielzahl von praktischen Anwendungen dieser Quellen ergeben, von der medizinischen Diagnostik bis hin zu Kommunikationssystemen. Mögliche Wirkungen werden bisher aus den Erkenntnissen für den angrenzenden Mikrowellen- und Infrarotbereich extrapoliert, lassen sich jedoch nicht in jedem Fall widerspruchlos erklären. Bisher mangelt es sowohl an Forschungsansätzen zur Wirkungsforschung, als auch an Mess- und Rechenverfahren für die Dosimetrie. Hier besteht Handlungsbedarf.

Die rasante Entwicklung im gesamten Frequenzbereich NIR stellt nicht nur für den praktischen Strahlenschutz eine große Herausforderung dar, sondern auch für den Gesetzgeber. Die derzeit bestehenden Lücken in den rechtlichen Regelungen zum Strahlenschutz im Bereich der nicht ionisierenden Strahlen können zufriedenstellend nur auf der Basis einer umfassenden gesetzlichen Ermächtigungsgrundlage geschlossen werden.

## **Schutz der Umwelt**

Vor dem Hintergrund der internationalen Entwicklungen zum langfristigen Schutz der Biosphäre, ausgehend von der Deklaration von Rio 1992 mit ihren Konzepten der Nachhaltigkeit und Erhaltung der Biodiversität, ist in den letzten Jahren verstärkt die Notwendigkeit postuliert worden, dass Strahlenschutzkonzepte neben dem Schutz des Menschen gleichwertig den Schutz der Umwelt nachweisen müssen. Dies hat in Deutschland mittlerweile Eingang in die Anforderungen gefunden, die an Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) gestellt werden. Die Diskussionen zur Einbindung des Schutzes der Umwelt gegen die Gefahren ionisierender Strahlung in die Strahlenschutz-Regularien wurden in der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) und der Internationalen Strahlenschutz-Kommission (ICRP) in den letzten Jahren verstärkt geführt. Im Bereich der nicht ionisierenden Strahlung besteht durch die Sonne eine natürliche Quelle für ultraviolette Strahlung, die zu einer Exposition der Umwelt in erheblichem Aus-

maß führt. Die möglichen Schädigungen der belebten Umwelt, vor allem auch im Zusammenhang mit den anthropogen verursachten Veränderungen in der Atmosphäre, sind lange bekannt. Die Frage der Auswirkungen elektromagnetischer Emissionen auf die belebte Umwelt sind für alle Frequenzen des Spektrums bislang nicht nur national, sondern auch international vernachlässigt worden. Der Versuch einer systematischen Erfassung des bisherigen Kenntnisstandes wurde bisher aber nur in einem vom BfS in Zusammenarbeit mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP) durchgeführten internationalen Seminar im Oktober 1999 unternommen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen zu einer belastbaren Bewertung der möglichen Schädigung von Flora und Fauna sind allerdings bislang nicht systematisch erarbeitet.

Die internationalen Aktivitäten zur Formulierung geeigneter Schutzziele und Erarbeitung wissenschaftlicher Konzepte zu deren Einhaltung zu unterstützen, ist auch eine Aufgabe des BfS. Dabei wird auf eine Harmonisierung der Schutzziele und Nachweiskonzepte mit denen für andere Noxen zu achten sein. Schutzziele und Verfahren sollten auf der Basis einer



„Verantwortung für Mensch und Umwelt“ - das ist der Leitspruch des BfS

breiten gesellschaftlichen Diskussion festgelegt werden. Durch gezielte Forschung muss geklärt werden, unter welchen Bedingungen eine Schädigung der Umwelt durch nicht ionisierende Strahlung möglich ist. Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen sollten auch die möglichen Folgen der Immission elektromagnetischer Felder geprüft werden. In zunehmendem Maße verursachen auch großtechnische Anlagen Emissionen im Bereich der belebten Umwelt, die dort zu negativen Auswirkungen führen könnten. Ein aktuell im BfS in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt (UBA) bearbeitetes Beispiel sind leistungsstarke Offshore-Windkraftanlagen und die dazugehörigen Seekabel.

# WEITERE ARBEITSSCHWERPUNKTE DES BfS

## EIN FACHLICHES KONZEPT ZUR BEGRENZUNG DER STRAHLENEXPOSITION DURCH RADON

Ansprechpartner:

Eckhard Ettenhuber (0 18 88/3 33-42 00)

Michaela Kreuzer (0 18 88/3 33-22 51)

### **RADON - DIE HAUPTURSACHE DER NATÜRLICHEN STRAHLENEXPOSITION IN DEUTSCHLAND**

Radon ist ein natürliches, radioaktives Edelgas, das durch radioaktiven Zerfall des Radiums entsteht. Radium wiederum ist ein radioaktives Zerfallsprodukt, das in den natürlichen Zerfallsreihen der besonders langlebigen Radionuklide des Urans und Thoriums auftritt. Da diese Radionuklide allgegenwärtig in der Umwelt und vor allem in der Erdkruste sind, wird dort ständig Radon gebildet und in die Luft freigesetzt. Von den drei Isotopen des Radons ist aus der Sicht des Strahlenschutzes vor allem das Nuklid Radon-222 (umgangssprachlich Radon) von Interesse, das sich auf Grund seiner Halbwertszeit (HWZ) von 3,8 Tagen in der Luft vor allem in Gebäuden zu höheren Konzentrationen anreichern kann.

In Deutschland liegt die aus der natürlichen Strahlenexposition resultierende jährliche effektive Dosis unter durchschnittlichen Bedingungen in einem Bereich zwischen 2 und 3 Millisievert (mSv). Etwa 50 % dieser Strahlenexposition haben ihre Ursache in dem in der Atemluft vorkommenden Radon. Die Angabe eines durchschnittlichen Wertes gibt jedoch keine Auskunft darüber, dass die Strahlenexposition durch Radon für einen Teil der Bevölkerung wesentlich höher ist.

#### **Ergebnisse epidemiologischer Studien über den Zusammenhang zwischen Strahlenexpositionen durch Radon und Lungenkrebs**

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts wurde in zahlreichen Studien bei Bergarbeitern, die unter Tage hohen Radonkonzentrationen ausgesetzt waren, nachgewiesen, dass diese Exposition Ursache für die Entstehung des Bronchialkarzinoms ist. Konsequenterweise stellte sich die Frage, ob auch geringere Radonkonzentrationen, wie sie in Wohnungen vorkommen, ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung sein können. Seit etwa 1980 wurden deshalb in Europa, Nordamerika und China mehr als 20 epidemiologische Studien zu Lungenkrebs und Radon in Wohnungen – so genannte Innenraumstudien (indoor) – durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen übereinstimmend, dass eine erhöhte Strahlenexposition durch Radon

eine Erhöhung des Lungenkrebsrisikos zur Folge hat. Die in den einzelnen Studien geschätzten Risikoeffizienten schwanken jedoch von Studie zu Studie und weisen zum Teil große Vertrauensbereiche auf.

Einzelstudien zu Radon in Wohnungen und Lungenkrebs sind im Allgemeinen in ihrer Aussagefähigkeit begrenzt. Häufig ist die in einer Studie untersuchte Zahl von Personen nicht ausreichend groß, um eine tatsächlich vorhandene Risikoerhöhung statistisch absichern zu können. Nur sehr große Studien können somit verlässliche Risikoabschätzungen liefern. Mit finanzieller Unterstützung durch die Europäische Kommission wurden deshalb die Originaldaten der bisher in Europa durchgeführten Studien zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet. Die Ergebnisse dieser weltweit größten Studie, an der das Bundesamt für Strahlenschutz beteiligt war, bilden die Grundlage für die Bewertung des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Wohnungen und sollen deshalb im Folgenden kurz dargestellt werden.

Die gemeinsame Auswertung umfasst dreizehn Studien aus neun europäischen Ländern mit insgesamt 7.148 Lungenkrebspatienten und 14.208 Kontrollpersonen ohne diese Erkrankung. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die an der europäischen Auswertung beteiligten Einzelstudien. Darunter waren zwei vom Bundesamt für Strahlenschutz geförderte große deutsche Studien. Bei den Studienteilnehmern wurde in den Wohnungen, die in einem Zeitraum von 5 bis 35 Jahren vor Interview oder Diagnose bewohnt wurden, die Radonkonzentration über mindestens ein halbes Jahr gemessen. Für alle Probanden wurde ein nach Wohndauer gewichteter Mittelwert der Radonkonzentrationen in Bq/m<sup>3</sup> für die im Zeitraum der letzten 5 bis 35 Jahre bewohnten Wohnungen berechnet. Zusätzlich wurden alle Probanden detailliert nach ihrem lebenslangen Rauchverhalten und anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs befragt. In allen Risikoanalysen wurden wichtige Störfaktoren wie Alter, Geschlecht, Studie, Wohnregion je Studie und insbesondere Rauchen berücksichtigt.

Das Verhältnis der Anzahl Lungenkrebspatienten zu Kontrollpersonen unterscheidet sich von Studie zu Studie. In manchen Studien wurden Kontrollen im Verhältnis 1:1 zu den Fällen gezogen in manchen 4:1. In den statistischen Analysen wurden diese Unterschiede berücksichtigt.

Die Ergebnisse der europäischen Studie belegen den bisher in Einzelstudien beobachteten Anstieg des

| Studienregion           | Anzahl               |                  |
|-------------------------|----------------------|------------------|
|                         | Lungenkrebspatienten | Kontrollpersonen |
| Österreich              | 183                  | 188              |
| Tschechische Republik   | 171                  | 713              |
| Finnland (landesweit)   | 881                  | 1.435            |
| Finnland (Süden)        | 160                  | 328              |
| Frankreich              | 571                  | 1.209            |
| Deutschland (Ost)       | 945                  | 1.516            |
| Deutschland (West)      | 1.323                | 2.146            |
| Italien                 | 384                  | 405              |
| Spanien                 | 156                  | 235              |
| Schweden (landesweit)   | 960                  | 2.045            |
| Schweden (Nichtraucher) | 258                  | 487              |
| Schweden (Stockholm)    | 196                  | 375              |
| Großbritannien          | 960                  | 3.126            |
| <b>Insgesamt</b>        | <b>7.148</b>         | <b>14.208</b>    |

Übersicht über die in der gemeinsamen europäischen Auswertung verwandten epidemiologischen Studien zu Lungenkrebs und Radon in Wohnungen

Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration. Die folgende Tabelle zeigt die Verteilung der Fälle und Kontrollen auf verschiedene Expositionskategorien von Radon und das zugehörige relative Risiko für Lungenkrebs. Das relative Risiko (RR) gibt dabei an, um welchen Faktor sich das Lungenkrebsrisiko für Probanden in einer bestimmten Expositionskategorie im Vergleich zu Probanden mit einer fiktiven Radonkonzentration von 0 Bq/m<sup>3</sup> erhöht oder erniedrigt. So hat beispielsweise eine Person, die in einer Wohnung mit einer Radonkonzentration von mehr als 800 Bq/m<sup>3</sup> lebt, ein zweifach höheres Risiko (RR = 2,02) an Lungenkrebs zu erkranken als eine Person, die in einer Wohnung mit einer fiktiven Radonkonzentration von 0 Bq/m<sup>3</sup> wohnt. Die 95 %-Vertrauens-

ensbereiche geben den Bereich an, in dem der wahre Risikoschätzer mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt.

Die Form des Expositions-Wirkungs-Zusammenhangs zwischen Radon und Lungenkrebs wurde mit Hilfe verschiedener Risikomodelle untersucht. Die Daten werden am besten über ein lineares Modell ohne Schwellenwert beschrieben. Dabei erhöht sich das Lungenkrebsrisiko um 8,4 % (95 % Vertrauensbereich: 3 % bis 16 %) pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m<sup>3</sup>. Berücksichtigt man zusätzlich Unsicherheiten in der retrospektiven Expositionsabschätzung, wie sie durch Ersetzen von fehlenden Werten oder starken Schwankungen der Radonkonzentrationen in einer Wohnung über mehrere Jahre, bedingt durch bauliche Änderungen, Änderung der Nutzungsgewohnheiten, jahreszeitliche Schwankungen der Radonwerte entstehen können, so erhöht sich das zusätzliche relative Risiko pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m<sup>3</sup> von 8,4 % auf 16 % (95 % Vertrauensbereich: 3 % bis 31 %). Dies bedeutet beispielsweise, dass eine Person, die in einer Wohnung mit einer Radonkonzentration von 100 Bq/m<sup>3</sup> lebt, ein 16 % höheres Lungenkrebsrisiko hat als eine Person, die einer Wohnung mit einer fiktiven Radonkonzentration von 0 Bq/m<sup>3</sup> wohnt oder dass eine Person mit 200 Bq/m<sup>3</sup> bzw. 300 Bq/m<sup>3</sup> dementsprechend ein 32 % bzw. 48 % höheres Risiko hat als eine Person in einer Wohnung mit 0 Bq/m<sup>3</sup>.

Auch bei Einschränkung der Risikoberechnungen auf Probanden mit Radonkonzentrationen unterhalb von 200 Bq/m<sup>3</sup> wurde eine statistisch signifikante lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung nachgewiesen. Probanden mit Radonkonzentrationen zwischen 100 und 200 Bq/m<sup>3</sup> zeigten ein 1,2fach statistisch signifikant höheres Lungenkrebsrisiko als Probanden mit Werten unter 100 Bq/m<sup>3</sup> (RR=1,2, 95 %-Vertrauensbereich: 1,05 bis 1,30). Damit konnte gezeigt werden, dass bereits über 100 Bq/m<sup>3</sup> eine signifikante Risikoerhöhung beobachtet werden kann.

| Radon in Bq/m <sup>3</sup> <sup>1</sup> | Lungenkrebsfälle<br>Anzahl (%) | Kontrollpersonen<br>Anzahl (%) | Relatives Risiko <sup>2</sup> | 95 % Vertrauensbereich |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| < 25                                    | 566 (7.9)                      | 1.474 (10.3)                   | 1,00                          | 0,87 - 1,15            |
| 25 - 49                                 | 1.999 (28.0)                   | 3.905 (27.5)                   | 1,06                          | 0,98 - 1,15            |
| 50 - 99                                 | 2.618 (36.6)                   | 5.033 (35.4)                   | 1,03                          | 0,96 - 1,10            |
| 100 - 199                               | 1.296 (18.1)                   | 2.247 (15.8)                   | 1,20                          | 1,08 - 1,32            |
| 200 - 399                               | 434 (6.1)                      | 936 (6.6)                      | 1,18                          | 0,99 - 1,42            |
| 400 - 799                               | 169 (2.4)                      | 498 (3.5)                      | 1,43                          | 1,06 - 1,92            |
| ≥ 800                                   | 66 (0.9)                       | 115 (0.8)                      | 2,02                          | 1,24 - 3,31            |
| <b>Insgesamt</b>                        | <b>7.148 (100.0)</b>           | <b>14.208 (100.0)</b>          |                               |                        |

<sup>1</sup> Mittlere zeitgewichtete Radonkonzentration der Wohnungen, die im Zeitraum 5 bis 35 Jahre vor Interview oder Diagnose bewohnt wurden

<sup>2</sup> Relatives Risiko (RR) adjustiert für Alter, Geschlecht, Region und Rauchen. Skalierung so gewählt, dass RR = 1,00 bei 0 Bq/m<sup>3</sup>

Relatives Risiko für Lungenkrebs nach verschiedenen Expositionskategorien der Radonkonzentration (Quelle: Darby et al., BMJ 2004)

## Radon ist ein Gesundheitsproblem

Das zusätzliche relative Lungenkrebsrisiko durch Radon erscheint mit 16 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m<sup>3</sup> auf den ersten Blick gering. Da aber die gesamte Bevölkerung einer Strahlenexposition durch Radon ausgesetzt ist und jede noch so kleine Radonkonzentration eine – wenn auch geringe – Risikoerhöhung mit sich bringt, stellt Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem dar. Die europäische Studie schätzt, dass 9 % aller Lungenkrebstodesfälle in der Europäischen Union auf Radon in Wohnungen zurückzuführen sind. Absolut gesehen werden damit jährlich 20.000 Lungenkrebstodesfälle in der EU durch Radon verursacht. Aktuelle Risikoschätzungen für Deutschland werden momentan im Rahmen eines Forschungsvorhabens des BfS vorgenommen. Basierend auf früheren Abschätzungen ist jedoch in Deutschland von ungefähr 3.000 durch Radon verursachten Lungenkrebstodesfällen pro Jahr auszugehen.

Untersuchungen aus Großbritannien und Amerika zeigen, dass fast 90 % der radoninduzierten Lungenkrebstodesfälle bei Personen aus Wohnungen mit weniger als 200 Bq/m<sup>3</sup> aufgetreten sind. Eine Strategie zur Begrenzung der Radonkonzentrationen muss deshalb das Ziel haben, die Radonkonzentrationen in Räumen generell und soweit wie möglich zu senken, vor allem aber in Räumen, in denen sich Personen nicht nur vorübergehend aufhalten, z. B. Wohnräumen. Nur so ist es möglich, die Anzahl der Lungenkrebskrankungen nennenswert zu reduzieren. Mit dem in der Vergangenheit verfolgten Konzept, das vornehmlich auf eine Beseitigung sehr hoher Konzentrationen ausgerichtet war, ist dieses Ziel nicht zu erreichen. Darüber hinaus sollten hohe Strahlenexpositionen durch Radon selbstverständlich so schnell wie möglich beseitigt werden, um die damit verbundenen erhöhten individuellen Risiken zu verringern.

## Radonkonzentrationen in Gebäuden - Ursachen und Wertebereiche

Wie bereits eingangs beschrieben, entsteht Radon ständig durch radioaktiven Zerfall im Mineralstoffgefüge der Erdkruste. Ein Teil davon wird in die Porenräume der Gesteine und Böden freigesetzt. Wegen der geringen Luftvolumina entstehen dort hohe Radonkonzentrationen. In großen Gebieten Deutschlands liegen die Radonkonzentrationen in der Bodenluft in einem Bereich bis zu 30.000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m<sup>3</sup>). Es gibt aber auch Gebiete mit wesentlich höheren Konzentrationen in der Bodenluft, z. T. liegen die Werte der Radonkonzentrationen in der Bodenluft sogar über 100.000 Bq/m<sup>3</sup>. Durch Diffusions- und Konvektionsprozesse breitet sich Radon in Richtung der Erdoberfläche aus und gelangt schließlich in die Luft ins Freie und über die erdbeberührenden Bauwerksteile auch direkt in die Gebäude.

Der Transport des Radons im Boden wird durch die Eigenschaften der Gebäude unterstützt. Bereits ein geringer Unterdruck in einem Gebäude kann dazu führen, dass Bodenluft aus einem Umkreis von bis zu 20 m 'angesaugt' wird. Zwar sind die Ausbreitungsgeschwindigkeiten im Boden und auch die transportierten Luftmengen unter diesen Bedingungen gering, bei hohen Radonkonzentrationen in der Bodenluft reichen aber bereits geringe Bodenluftmengen aus, um in Gebäuden hohe Radonkonzentrationen zu verursachen.

Auch ein Teil des in den Baumaterialien gebildeten Radons wird in die Raumluft freigesetzt, ist jedoch meist nicht ausschlaggebend für erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden. Dafür ist in den allermeisten Fällen das aus dem Untergrund stammende Radon bestimmend. Da Radon in Wasser gut löslich ist, kann hier und da auch eine Wasserversorgung durch Hausbrunnen als Ursache für erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnungen in Betracht kommen.

Die folgende Tabelle fasst die den genannten Ursachen zuzuordnenden typischen Bereiche und Maximalwerte der Radonkonzentration in Wohnungen und Aufenthaltsräumen für die Verhältnisse in Deutschland zusammen.

| Radonquellen   | Radonkonzentration in Bq/m <sup>3</sup> |          |
|--|---|----------|
|  | Typischer Bereich                       | Maximum  |
| Baugrund   | 10 - 2 000                              |          |
| Geogen   |   | < 10 000 |
| Anthropogen beeinflusst<br>(z. B. untertägige bergbauliche Hinterlassenschaften) |   | > 30 000 |
| Baumaterial  | < 10 - 70                               | < 2 000  |
| Außenluft (geogen)   | < 10 - 30                               | < 100    |
| Wasser (Freisetzung bei Wasseranwendung in Wohnungen)                            | < 10                                    | < 100    |

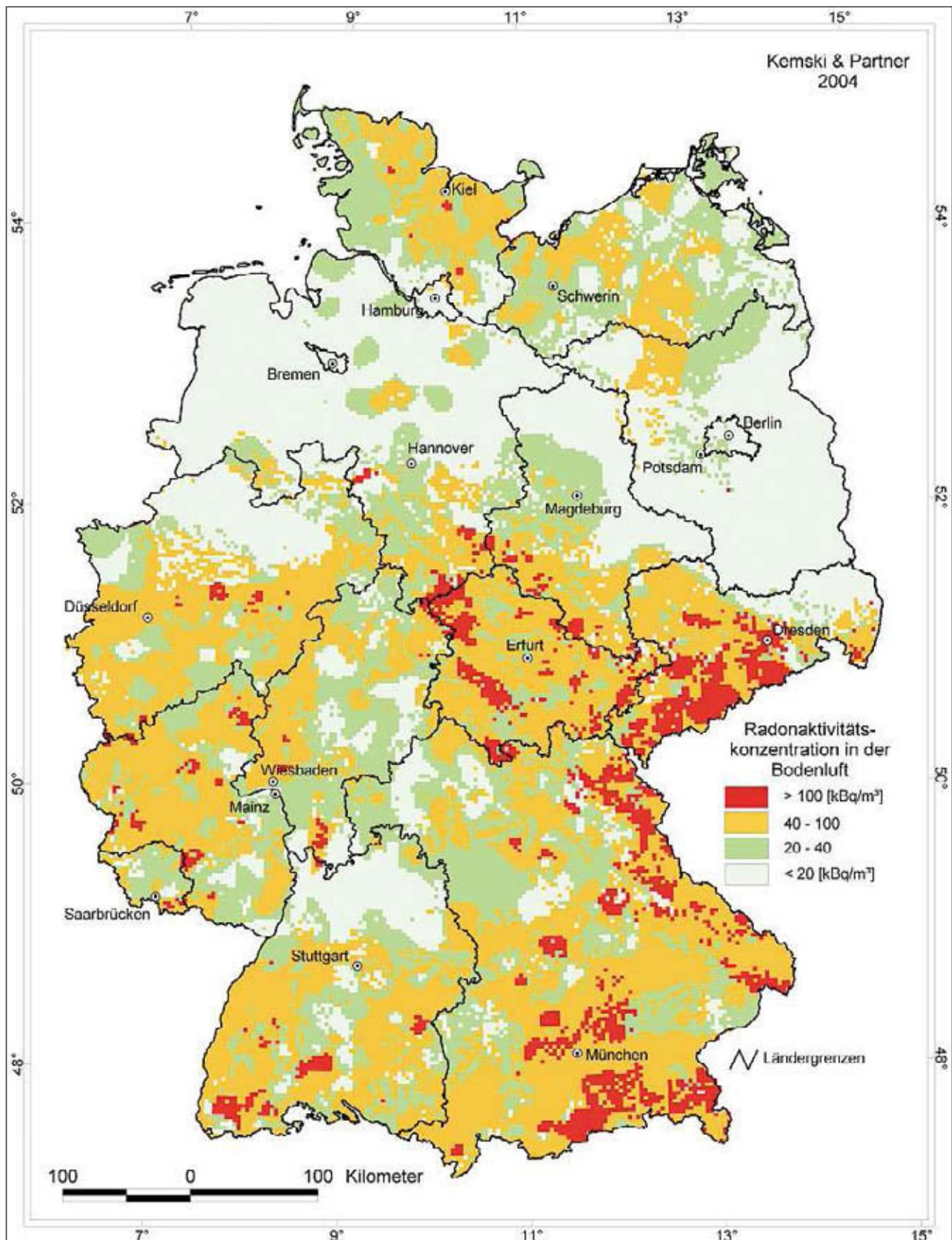
Ursachen der Radonkonzentration in Wohnungen und Aufenthaltsräumen

## Konzentrationsbereiche, in denen Maßnahmen durchgeführt werden sollten

Der Zielstellung, die Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen generell und möglichst weitgehend zu senken, sind natürliche Grenzen gesetzt. Aufgrund der in der Luft im Freien vorkommenden Radonkonzentrationen, die wegen des Luftaustausches zwischen Innen- und Außenluft auch immer in den Gebäuden vorkommen, und den Radonkonzentrationen, die durch die Radonfreisetzungen aus den

Baumaterialien verursacht werden und die in der bestehenden Bausubstanz kaum beeinflussbar sind, ist eine Forderung nach Verringerung der Radonkonzentrationen auch in Bereichen deutlich unter 100 Bq/m<sup>3</sup> in der Praxis häufig nicht realisierbar.

Oberhalb von 100 Bq/m<sup>3</sup> ist das Radon aus dem Untergrund jedoch die dominierende Ursache. In solchen Fällen sind sowohl Maßnahmen, die einen Transport von Radon aus dem Untergrund in das Gebäude reduzieren oder gänzlich verhindern als auch



Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe

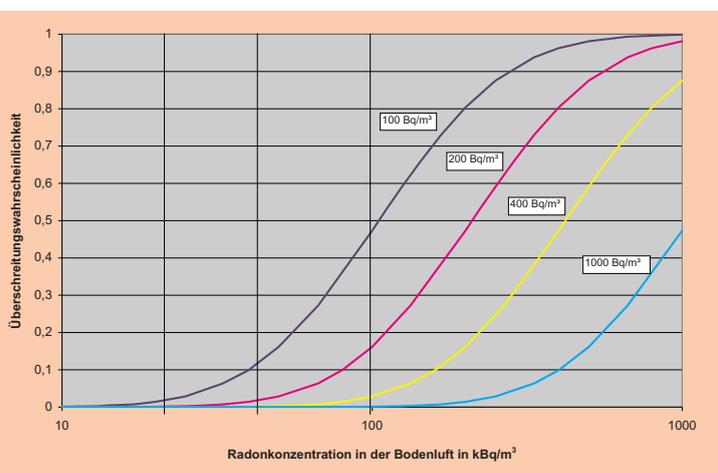
Maßnahmen praktisch möglich, die einen Transport von Luft mit höheren Radonkonzentrationen aus erdberührenden Gebäudeteilen in andere Gebäudebereiche unterbinden. Die Konzentration von  $100 \text{ Bq/m}^3$  sollte deshalb als Maßnahmewert gelten. In Gebieten, in denen in Aufenthaltsräumen mit Radonkonzentrationen größer  $100 \text{ Bq/m}^3$  gerechnet werden muss, sollten generell Maßnahmen gefordert werden, um bei Neubauten höhere Konzentrationen als  $100 \text{ Bq/m}^3$  zu vermeiden (Vermeidungsmaßnahmen). In bestehenden Gebäuden sollten Maßnahmen ergriffen werden, mit denen eine Unterschreitung der Konzentration von  $100 \text{ Bq/m}^3$  erreicht werden kann (Sanierungsmaßnahmen).

### Identifikation von Radonvorsorgegebieten

Im Rahmen von Forschungsarbeiten wurde die ‚Bundeseinheitliche Datei Radon in Gebäuden – BuRG‘ geschaffen, in der alle Daten und Informationen zum Vorkommen und zur regionalen Verteilung von Radon im Untergrund und in Gebäuden zusammengeführt wurden, die im Rahmen von umfangreichen Forschungsarbeiten gewonnen worden sind. Sie enthält auch Karten, die Übersichten über die regionale Variation der Radonkonzentration in der Bodenluft oder der Radonkonzentrationen in Gebäuden geben. Der Aufbau dieser Datei, die im Bundesamt für Strahlenschutz geführt wird, ist weitgehend abgeschlossen.

Auf der Grundlage von mehr als 2.300 Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft an geologisch repräsentativen Messorten und durch eine abstandsgewichtete Interpolation zwischen den Messorten innerhalb vergleichbarer geologischer Einheiten wurde eine Karte entwickelt, die für Rasterflächen von  $3 \times 3 \text{ km}$  eine Prognose der Radonbodenluftkonzentration ermöglicht. Diese Karte ist in der Abbildung auf Seite 17 dargestellt.

In die Datenbank wurden auch Verfahren integriert, mit denen die Gebiete identifiziert werden können,



Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Radonkonzentrationen in Gebäuden in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft

in denen Maßnahmen zur Begrenzung der Radonkonzentration in Gebäuden erforderlich sind (Radonvorsorgegebiete).

In Forschungsvorhaben wurden die Transferfaktoren für den Übergang von Radon aus dem Boden in Gebäude bestimmt. Diese Faktoren variieren beträchtlich. Ihre Verteilung kann mit einer logarithmischen Normalverteilung beschrieben werden. Damit können die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung von Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen prognostiziert werden (siehe Abbildung unten links sowie Tabelle auf Seite 19).

Um eine generelle Reduzierung der Radonkonzentrationen zu erreichen, sollten in Gebieten, in denen eine Überschreitung der Radonkonzentration von  $100 \text{ Bq/m}^3$  in Aufenthaltsräumen in mehr als 1 % der Gebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) zu erwarten ist, generell Vermeidungs- oder Sanierungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Das betrifft nach den vom BfS durchgeführten Untersuchungen über den Transfer von Radon aus dem Untergrund in ein Gebäude jene Flächen, für die in der Bodenluft Radonkonzentrationen von mehr als  $20.000 \text{ Bq/m}^3$  prognostiziert werden. Diese Gebiete sollten als Radonvorsorgegebiete betrachtet werden.

Je höher die in Neubauten zu erwartenden oder in bestehenden Gebäuden vorliegenden Radonkonzentrationen sind, desto größer muss die Effizienz der Vermeidungs- und Sanierungsmaßnahmen sein. Da die Maßnahmen höherer Effizienz in der Regel auch höhere Kosten verursachen, ist eine Unterteilung der Radonvorsorgegebiete hinsichtlich der Effizienz der erforderlichen Maßnahmen sinnvoll. Wählt man zur differenzierten Festlegung der Radonvorsorgegebiete Bereiche für die Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % – 10 %, 10 % – 50 % und > 50 %, so lassen sich folgende Grenzen für die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft ableiten, nach denen die Radonvorsorgegebiete klassifiziert werden können:

|                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| Radonvorsorgegebiet I   | 20.000 – 40.000 $\text{Bq/m}^3$  |
| Radonvorsorgegebiet II  | 40.000 – 100.000 $\text{Bq/m}^3$ |
| Radonvorsorgegebiet III | über 100.000 $\text{Bq/m}^3$     |

In der folgenden Tabelle sind die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für die Schwellen  $100 \text{ Bq/m}^3$ ,  $200 \text{ Bq/m}^3$ ,  $400 \text{ Bq/m}^3$  und  $1000 \text{ Bq/m}^3$  in standardisierten Aufenthaltsräumen (Referenzräumen) zusammengestellt worden.

Daraus ergibt sich z. B., dass in einem Radonvorsorgegebiet I in Aufenthaltsräumen Radonkonzentrationen von mehr als  $400 \text{ Bq/m}^3$  äußerst selten sind. In einem Radonvorsorgegebiet III muss jedoch damit

| Radonvorsorgegebiet | Überschreitungswahrscheinlichkeit |                       |                       |                        |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                     | 100 Bq/m <sup>3</sup>             | 200 Bq/m <sup>3</sup> | 400 Bq/m <sup>3</sup> | 1000 Bq/m <sup>3</sup> |
| I                   | 1 % - 10 %                        | < 1 %                 | << 1 %                | –                      |
| II                  | > 10 % - 50 %                     | > 1 % - 15 %          | > 1 % - 3 %           | ≥ 1 %                  |
| III                 | > 50 %                            | > 15 %                | > 3 %                 | > 1 %                  |

#### Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Schwellenwerte der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen

gerechnet werden, dass in mehr als 50 % der Gebäude Radonkonzentrationen von mehr als 100 Bq/m<sup>3</sup> und in mehr als 3 % der Gebäude Radonkonzentrationen von mehr als 400 Bq/m<sup>3</sup> vorkommen. Für Planungszwecke sind die Prognosen von Wahrscheinlichkeiten für Überschreitungen höherer Radonkonzentrationen sehr wichtig.

Aus der für eine Rasterfläche prognostizierten Radonkonzentration in der Bodenluft kann nicht generell auf die Radonkonzentration an einem Baustandort geschlossen werden, da die Radonkonzentrationen in der Bodenluft noch kleinräumig variieren können. Zur Bewertung eines einzelnen Standortes innerhalb eines Radonvorsorgegebietes und zur Entscheidung darüber, ob und welche Vermeidungsmaßnahmen erforderlich sind, sollten in diesen Gebieten daher immer Messungen durchgeführt werden.

Da die Radonkonzentration in der Raumluft von der kleinräumigen Variabilität des Baugrundes, der Bauweise, der Bauausführung und nicht zuletzt von der Nutzung der Räume und den Lüftungsgewohnheiten der Nutzer abhängt, sind in diesen Gebieten bei bestehenden Gebäuden zunächst Messungen erforderlich, um im Einzelfall eine Entscheidung über die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen zu treffen.

So sollten in Radonvorsorgegebieten III generell Messungen der Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen durchgeführt werden, um jene Fälle zu identifizieren, in denen Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind. In Radonvorsorgegebieten II können die Messungen dagegen auf die Fälle beschränkt werden, in denen bestimmten Gegebenheiten (z. B.

Errichtung des Hauses vor 1960, keine bewehrte Fundamentplatte, Gebäudeschäden im erdberührten Bereich) vorliegen.

#### Vermeidungs- und Sanierungsmaßnahmen

Die Effizienz der erforderlichen Vermeidungs- oder Sanierungsmaßnahmen muss sich nach der Höhe der festgestellten Radonkonzentrationen richten. Das Radon-Handbuch Deutschland (Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesamt für Strahlenschutz, zu beziehen über Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Postfach 101110, 27511 Bremerhaven) gibt eine Übersicht über die gängigen Maßnahmen, deren Effizienz in zahlreichen Anwendungsfällen erprobt worden ist.

#### Begrenzung der Radonfreisetzung aus Baumaterialien

In Gebieten mit niedrigen Radonkonzentrationen in der Bodenluft werden die Radonkonzentrationen in Räumen auch durch die Radonfreisetzung aus den Baumaterialien bestimmt. Mit den üblichen Maßnahmen, die vom Eigentümer durchgeführt werden können, ist in bestehenden Gebäuden eine Senkung der Radonkonzentration nur noch in sehr begrenztem Maße möglich. Bei Neubauten besteht aber prinzipiell noch die Möglichkeit, über die Auswahl der Baumaterialien die Radonkonzentration zu begrenzen. Um sicherzustellen, dass künftig nur Baumaterialien in den Verkehr kommen, die nicht Ursache erhöhter Radonkonzentrationen sind, muss bei deren Normung und Zulassung auch die Freisetzung dieser Radionuklide beachtet werden. Eine Begrenzung der spezifischen Aktivität der natürlichen Radionuklide und der Freisetzungsraten für Radon ist erforderlich.

## QUALITÄTSSICHERUNG BEI DER MESSUNG VON STRAHLENEXPOSITIONEN DURCH RADON IN HÄUSERN UND AN ARBEITSPLÄTZEN

Ansprechpartner: Thomas Beck (0 18 88/3 33-42 11)

Radon kann durch die Inhalation des radioaktiven Radionuklids Radon-222 eine Gesundheitsschädigung verursachen. Eine Messgröße, die diese gesundheits-schädigende Wirkung charakterisiert, ist die Radonexposition. Bei beruflich strahlenexponierten Personen wird aus der Radonexposition die effektive Dosis berechnet und damit die Einhaltung der festgelegten Grenzwerte überwacht. Bei Messungen in Häusern wird aus der Radonexposition unter Verwendung der Messzeit die mittlere Radon-Aktivitätskonzentration berechnet, anhand derer der Hausbewohner Entscheidungen über Maßnahmen zur Vorsorge vor erhöhten Expositionen durch Radon treffen kann.

Für die Messung der Radonexposition empfiehlt das Bundesamt für Strahlenschutz so genannte „passive“ Messgeräte zu verwenden. Diese Messgeräte sind preiswert, benötigen keine Stromversorgung und können unter nahezu allen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Die Messgeräte werden von anerkannten Messstellen ausgegeben und bei der Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen am Körper oberhalb der Kleidung getragen oder bei Messungen in Innenräumen an einer repräsentativen Stelle, vorzugsweise in der Mitte des Raumes, aufgestellt. Nach Beendigung der Messungen werden die Messgeräte an die Messstellen zurückgesandt und dort ausgewertet.



Mit so genannten passiven Messgeräten kann die Radonexposition in Häusern und an Arbeitsplätzen auf einfache Weise ermittelt werden.

Da die Bestimmung der Radonexposition und die daraus abgeleiteten Maßnahmen weitreichende Konsequenzen für den Schutz der Gesundheit haben können, wurde für die dazu verwendeten Messgeräte ein System der Qualitätssicherung eingeführt, das sich an dem bei Messungen auf anderen Gebieten des Strahlenschutzes und der Dosimetrie üblichen Vorgehen, insbesondere der Personendosimetrie, orientiert. Für die Überwachung von Personen, die während ihrer Arbeiten erhöhten Radonexpositionen ausgesetzt sind, wird das System der Qualitätssicherung in der *Richtlinie für die Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 Strahlenschutzverordnung* dargelegt. Für Messungen in Häusern wird dieses System der Qualitätssicherung in analoger Weise übernommen. Entsprechende Regelungen werden vom Bundesamt für Strahlenschutz gegenwärtig vorbereitet.

Das System der Qualitätssicherung basiert auf zwei Säulen:

- Die physikalisch-technische Prüfung der Messgeräte mit dem Ziel festzustellen, ob die Messgeräte für den Messzweck geeignet sind.
- Den durch die Messstelle zu erbringenden Nachweis, dass sie die organisatorischen, technischen und fachlichen Voraussetzungen besitzt, um die vorgesehenen Messungen durchzuführen und die Auswertungen vorzunehmen.

Die Messstelle kann den erforderlichen Nachweis für die Messungen durch Akkreditierung bei einer evaluierten Stelle erbringen.

Um die physikalisch-technischen Qualitätsforderungen der Radonmessungen dauerhaft sicherzustellen, führt das Bundesamt für Strahlenschutz seit 2003 jährliche Vergleichsprüfungen durch. Während dieser Prüfungen werden die von den Messstellen eingesandten Geräte Referenzatmosphären mit bekannten und auf das nationale Normal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) rückführbaren Radon-Aktivitätskonzentrationen ausgesetzt. 2004 nahmen insgesamt 11 in- und ausländische Messstellen an den Vergleichsprüfungen teil, deren erfolgreiche Teilnahme vom Bundesamt für Strahlenschutz zertifiziert wird.

Das System der Qualitätssicherung soll denjenigen, der „passive“ Radonmessgeräte zur Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen oder zur Ermittlung der Radon-Aktivitätskonzentration in Häusern einsetzt, ein größtmögliches Vertrauen in die Zuverlässigkeit der von ihm beauftragten Messstelle und in die Richtigkeit des erhaltenen Messwertes geben.

## ERFASSUNG UND BEWERTUNG MEDIZINISCHER STRAHLENEXPOSITIONEN ZWISCHEN 1996 UND 2001

Ansprechpartnerin: Elke Nekolla (0 18 88/3 33-23 27)

In der Bundesrepublik Deutschland werden bei der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in der Medizin hinsichtlich der Indikationsstellung als auch der Qualität der Durchführung hohe Anforderungen gestellt. Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patientinnen und Patienten erfasst das BfS regelmäßig die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen. Die rechtlichen Grundlagen hierfür liefern die Röntgenverordnung (RöV) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), die entsprechende Festlegungen auf europäischer Ebene (Richtlinie 97/43/EURATOM) umgesetzt haben.

Aufgrund der mit der Datenerhebung und -auswertung vorgegebenen Zeitabläufe liegen die entsprechenden Informationen nur bis zum Jahr 2001 vor.

Bei den jetzt für den Zeitraum 1996 bis 2001 durchgeführten Auswertungen wurde das frühere Konzept für die Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition optimiert und mit den Konzepten und Verfahren in anderen europäischen Staaten abgeglichen. Dabei wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- Entwicklung eines Verfahrens, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen der jährlichen medizinischen Strahlenexposition und damit eine Trendanalyse möglich wird.
- Anpassung des Verfahrens an internationale Standards, so dass ein internationaler Vergleich auf verlässlicherer Basis möglich wird. Dies betrifft u. a. die Definition des Begriffs „Untersuchung“. Er beinhaltet jetzt alle Röntgen-Leistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels eines radiologischen Verfahrens notwendig sind.
- Berücksichtigung von aktuellen Erhebungen zur Computertomographie(CT)-Untersuchungspraxis, von Ergebnissen neuerer vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderter Forschungsvorhaben sowie der aktuellen Literatur.

Wie bisher basiert auch die aktuelle Auswertung der medizinischen Strahlenexposition im Wesentlichen auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Bei der Bewertung der erhobenen Daten der medizinischen Strahlenexposition muss allerdings stets berücksichtigt werden, dass sich die Dosis sehr

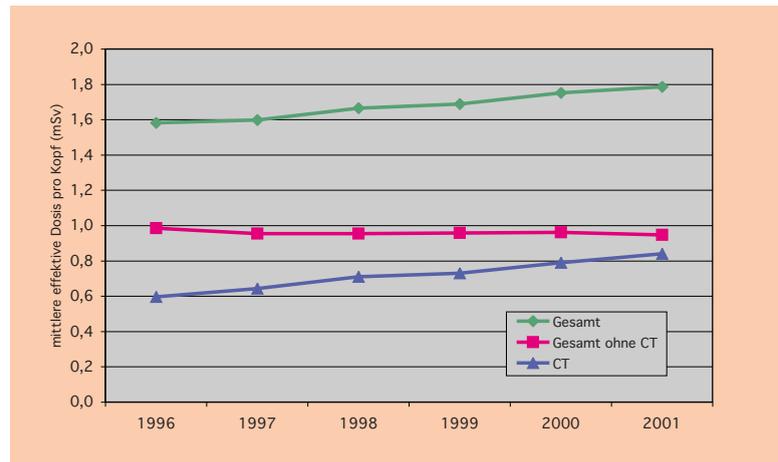
ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Zudem handelt es sich bei Patienten häufig um ältere Personen, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So werden etwa 60 % der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich für Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter sind. Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber aufgrund ihrer Erkrankung häufig mehrfach radiologisch untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung müssen somit insbesondere auch die Altersverteilung der Personen, bei denen röntgen- oder nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt werden, sowie die Indikationsstellung einbezogen werden.

Es kann als gesichert angenommen werden, dass in Deutschland auch ohne Beeinträchtigung der Patientenversorgung ein deutliches Einsparpotenzial bei der medizinischen Strahlenexposition besteht. Die Verminderung der medizinisch bedingten Strahlenexposition stellt deshalb das erklärte Ziel von Maßnahmen im Rahmen der Umsetzung der Röntgenverordnung, der Strahlenschutzverordnung und der dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung dar. Um den Strahlenschutz der Patientinnen und Patienten zu optimieren, wurden die Aufgaben und Rechte der Ärztlichen und Zahnärztlichen Stellen (ÄS) erweitert und diagnostische Referenzwerte (DRW) eingeführt. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Qualität der Untersuchungen zu verbessern und die Dosis pro Untersuchung mittelfristig zu reduzieren. Diese Maßnahmen allein werden allerdings nicht ausreichen, um bezüglich der medizinischen Strahlenexposition eine grundlegende Veränderung der aktuellen Situation zu erreichen. Dreh- und Angelpunkt ist die „rechtfertigende Indikation“, d. h. die Notwendigkeit einer Nutzen-Risiko-Abwägung für den individuellen Patienten durch einen fachkundigen Arzt vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung. Leider wird die rechtfertigende Indikation bislang aus verschiedenen Gründen nicht immer so restriktiv gestellt, wie dies unter strahlenhygienischen Gesichtspunkten wünschenswert wäre. Die RöV und StrlSchV sehen daher vor, dass eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ÄS zu erfolgen hat.

### Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Röntgendiagnostik im Einzelnen

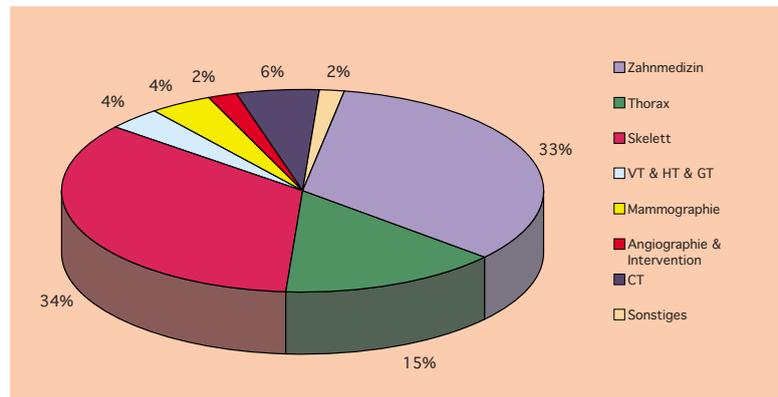
Im Beobachtungszeitraum 1996 bis 2001 verlaufen die Werte für die Häufigkeit (Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr) relativ konstant bei etwa 1,8 (siehe Abb. unten). Auch die relative Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsverfahren variiert nur wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht. In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen von ca. 7 % pro Jahr über den gesamten beobachteten Zeitraum. Der Anteil dieses dosisintensiven Verfahrens an der Gesamt-Anzahl der Röntgenuntersuchungen erreichte 2001 einen Wert von ca. 6 %. Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts abgenommen.

Im Gegensatz zur Gesamthäufigkeit ist für die rein rechnerische effektive Dosis pro Einwohner ein kontinuierlicher Anstieg von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2001 – also um ca. 2 % pro Jahr – zu verzeichnen (siehe Abbildung oben rechts). Der im Rahmen der aktuellen Auswertung festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunahme der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Der An-

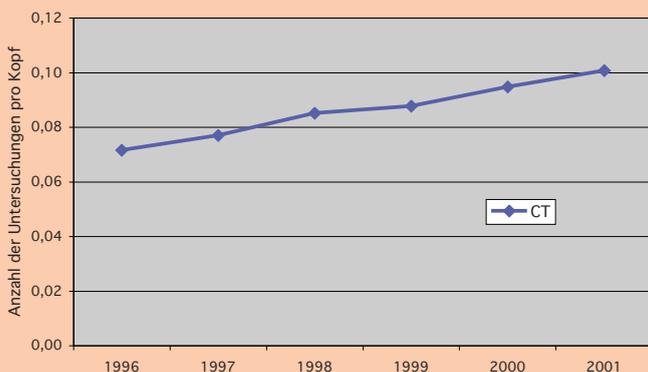
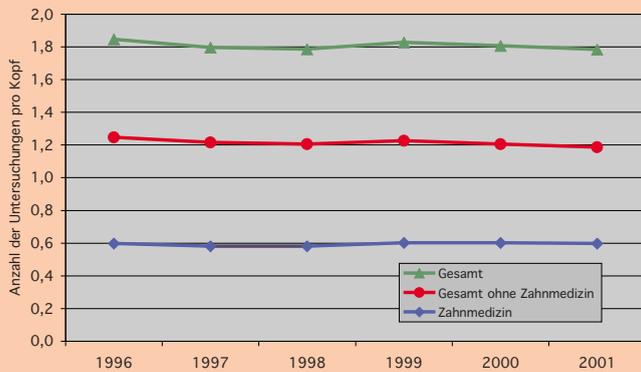


Mittlere effektive Dosis pro Einwohner und Jahr (mSv)

teil der effektiven Dosis durch CT-Untersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis lag 1996 noch bei ca. einem Drittel und erreichte 2001 einen Anteil von knapp der Hälfte. Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten Verlauf zwischen 1996 und 2001 (siehe folgende Abbildung).



Prozentualer Anteil der Röntgen-Untersuchungen an der Häufigkeit und ihr Beitrag zu der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2001 (VT & HT & GT: Verdauungs-, Harn- und Gallentrakt)



Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr

### Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die nuklearmedizinische Diagnostik

Im Bereich der nuklearmedizinischen Diagnostik fanden im Mittel pro Jahr etwa 47 Radionuklidanwendungen pro 1.000 Einwohner statt. Dies entspricht einer mittleren effektiven Dosis von 0,13 mSv pro Kopf der Bevölkerung. Verglichen mit der Röntgendiagnostik ist die Strahlenexposition pro Einwohner durch die nuklearmedizinische Diagnostik gering. Der Mittelwert der Dosis pro Untersuchung in der nuklearmedizinischen Diagnostik liegt bei etwa 2,7 mSv (Schwankungsbereich 0,5 bis 20 mSv). Der Mittelwert ist somit etwa 3 mal höher als der einer röntgendiagnostischen Untersuchung bzw. liegt bei etwa einem Drittel des Dosismittelwerts einer CT-Untersuchung.

### **Bewertung der Daten**

Ganz allgemein spiegelt die weltweit beobachtete Zunahme der Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen die gestiegene Wertigkeit der bildgebenden Verfahren in Diagnostik, Therapieplanung und Therapiemonitoring wider.

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da aufgrund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind. In Ländern mit vergleichbaren Gesundheitssystemen, wie der Schweiz, Luxemburg oder Belgien, sind Anzahl und Dosis medizinischer Strahlenexpositionen von ähnlicher Größenordnung wie in Deutschland.

Nach aktuellen Daten aus der Literatur lag in den USA und in Japan im Jahre 2000 allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für alle in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen.

Eine Abschätzung des mit der medizinischen Strahlenexposition verbundenen, möglichen Risikos macht nur dann Sinn, wenn sich diese auf den Kreis der betroffenen Personen, also die Patienten, bezieht. Dabei darf auch der offensichtliche Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt bleiben. Eine Machbarkeitsstudie zur Untersuchung dieser Fragestellung, für die derzeit keine belastbaren Aussagen möglich sind, wurde vom BfS mit dem Institut für Klinische Radiologie des Klinikums Großhadern, München, initiiert.

# ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

## ENDLAGER MORSLEBEN

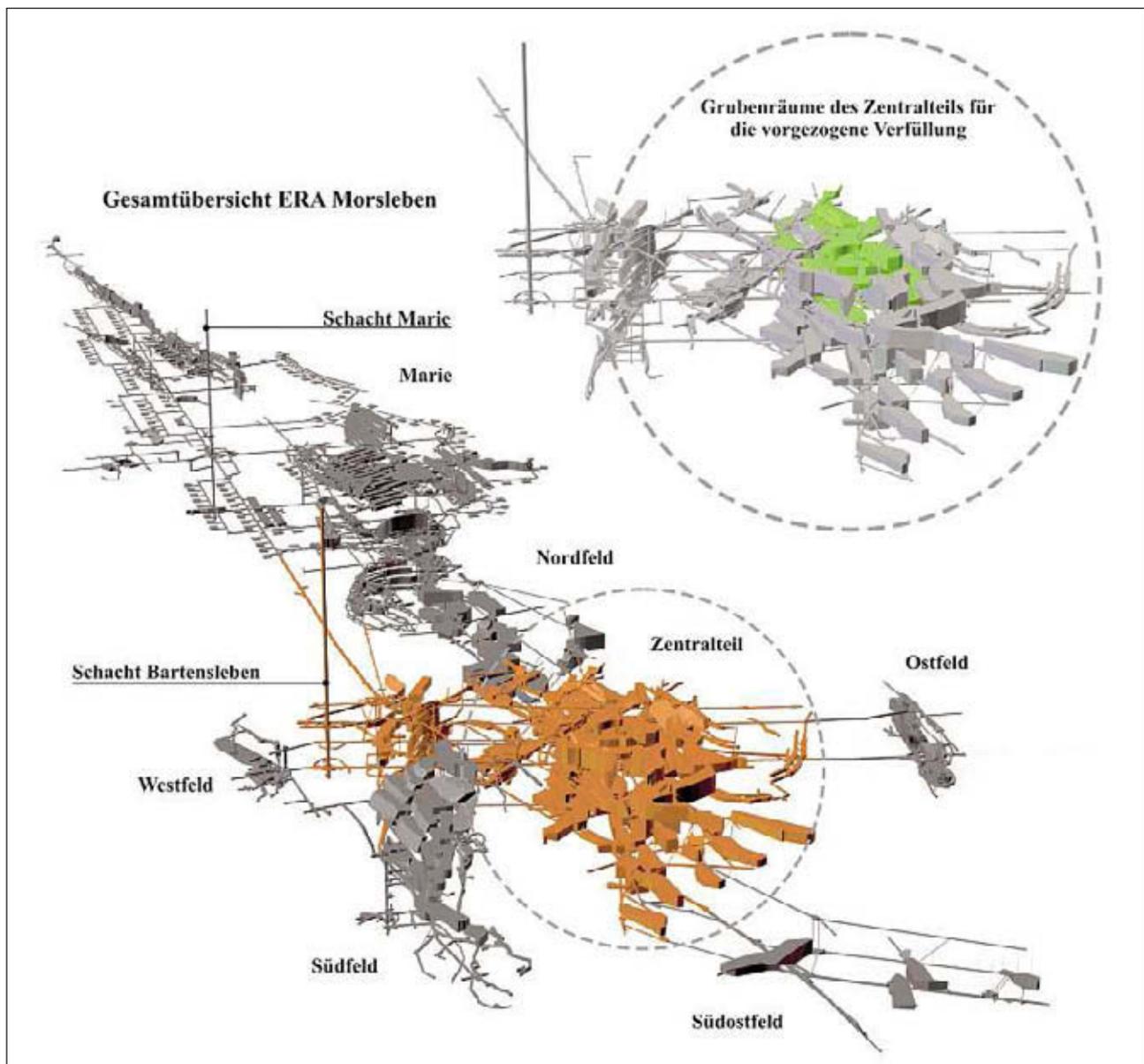
Ansprechpartner: Wilhelm Hund (0 18 88/3 33-18 30)

Das ehemalige Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) liegt unmittelbar an der westlichen Landesgrenze von Sachsen-Anhalt zwischen Magdeburg und Braunschweig und wurde Anfang der 70er Jahre im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben eingerichtet. Die zum Endlager gehörenden Schächte Bartensleben und Marie wurden um 1900 abgeteuft. Anschließend wurde in beiden Schachtanlagen Steinsalz und Kalisalz abgebaut. Das Grubengebäude der Schachtanlage Bartensleben ist mit dem Grubengebäude der ehemals selbständigen Schachtanlage Marie verbunden. Im 2. Weltkrieg dienten die Grubengebäude auch Rüstungszwecken.

Von 1959 bis 1984 wurden Teile der Schachtanlage Marie zur untertägigen Hähnchenmast genutzt, von 1987 bis 1996 waren Härtereialsalze zwischengelagert.

1970 wurde die Schachtanlage Bartensleben von der ehemaligen DDR aus zehn Salzbergwerken als Endlager für radioaktive Abfälle ausgewählt. Die Errichtung und der Betrieb des ERAM verlief in folgenden Etappen:

- 1971 Erste probeweise Einlagerung radioaktiver Abfälle.
- 1972 Standortgenehmigung.
- 1974 Genehmigung zur Errichtung und zweite probeweise Einlagerung.
- 1979 Inbetriebnahmegenehmigung.
- 1981 Befristete Genehmigung zum Dauerbetrieb.



Lage der Grubenräume für die Verfüllmaßnahmen

- 1986 Unbefristete Genehmigung zum Dauerbetrieb am 22. April 1986 (DBG).
- 1990 Übergang der mit dem Einigungsvertrag auf den 30.6.2000 befristeten DBG auf das BfS.
- 1991 Unterbrechung der Erfassung und Einlagerung radioaktiver Abfälle aufgrund eines Urteils des Bezirksgerichtes Magdeburg, in dem festgestellt worden ist, dass die Dauerbetriebsgenehmigung nicht auf das BfS übergegangen ist.
- 1992 Im Revisionsverfahren stellt das Bundesverwaltungsgericht fest, dass das BfS Inhaber der Dauerbetriebsgenehmigung ist. Das BfS beantragt bei der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde, dem MLU, die Einleitung eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens für den Weiterbetrieb des ERAM über den 30.6.2000 hinaus.
- 1994 Wiederaufnahme des Einlagerungsbetriebes.
- 1997 BfS beschränkt den 1992 gestellten Antrag auf die Stilllegung des ERAM. Inbetriebnahme des Abbaus 2 im Ostfeld als Einlagerungshohlraum.
- 1998 Einstellung der Erfassung und Einlagerung radioaktiver Abfälle nach einem Beschluss des Oberverwaltungsgerichtes Magdeburg, in dem die weitere Einlagerung im Ostfeld bis zur Entscheidung in der Hauptsache untersagt worden ist.
- 2001 Verzicht des BfS auf Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle.
- 2003 BfS reicht bei der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde einen Antrag zur Änderung der Dauerbetriebsgenehmigung für die Umrüstung und den Offenhaltungsbetrieb des ERAM bis zur Stilllegung ein. Beginn der Verfüllung ausgewählter Grubenbaue zur bergbaulichen Gefahrenabwehr im Zentralteil (bGZ)

Durch den aufgrund des Einigungsvertrages in das Atomgesetz (AtG) eingefügten § 57 a und das Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 22.04.2002 gilt die DBG mit Ausnahme der Regelungen für die Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle als Planfeststellungsbeschluss (PFB) i. S. d. § 9 b AtG fort. Im Jahr 2003 wurde ein Plan für die Umrüstung und den Offenhaltungsbetrieb des ERAM eingereicht, der die Ausgangssituation für das Vorhaben Stilllegung beschreibt.

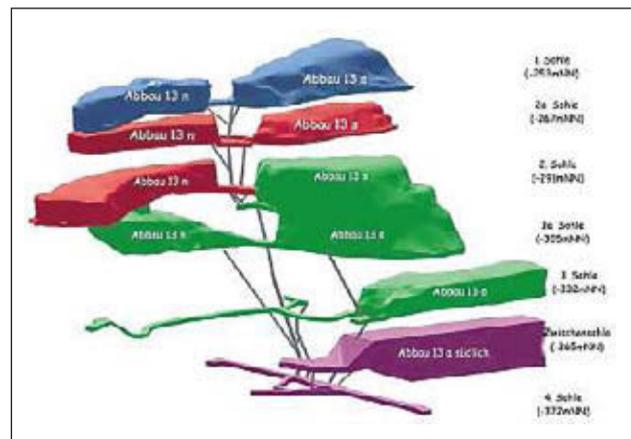
Im ERAM sind insgesamt etwa 37.000 m<sup>3</sup> niedrig- und mittlerradioaktive Abfälle mit überwiegend kurzlebigen Radionukliden und einer Gesamtaktivität in der Größenordnung von 10<sup>14</sup> Bq eingelagert.

Mit der Verzichtserklärung vom 12. April 2001 hat das BfS auf die Annahme und Endlagerung weiterer radioaktiver Abfälle unwiderruflich verzichtet. Der

Grubenbetrieb wird derzeit als Offenhaltungsbetrieb geführt, dessen Aufgabe die Instandhaltung des Grubengebäudes und der Anlagen und Einrichtungen in Vorbereitung des Stilllegungsbetriebs ist. Seit dem 8. Oktober 2003 werden ausgewählte Grubenbaue im dem bergmännisch stark durchbauten Zentralteil der Schachanlage Bartensleben, in denen keine radioaktiven Abfälle lagern, im Rahmen einer bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme mit einem Salzbeton verfüllt, um die Standsicherheit und Integrität des Grubengebäudes langfristig zu gewährleisten.

Nach derzeitiger Planung werden die Verfüllmaßnahmen im Rahmen der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil der Gruben Bartensleben insgesamt 21 Abbaue mit einem Gesamtverfüllvolumen von ca. 630.000 m<sup>3</sup> betreffen. Bis zum 31.12.2004 wurden folgende Abbaue mit Salzbeton verfüllt:

|           |   |
|-----------|---|
| Abbau 1an | 26.165 m <sup>3</sup> (08.10.03 bis 25.03.04) |
| Abbau 13n | 17.441 m <sup>3</sup> (31.03.04 bis 06.08.04) |
| Abbau 13s | 42.926 m <sup>3</sup> (seit 09.08.04;         |
|           | Verfüllgrad ca. 87 % per 31.12.04)            |



Räumliche Lage der verfüllten Abbaue 13n und 13s auf der 3a-Sohle



Blick in den Abbau 13 s auf der 3a-Sohle während der Verfüllung



Innenansicht der stationären Förderanlage

Für die Fortführung der Arbeiten im ERAM sind Anträge

- für die Umrüstung und den Offenhaltungsbetrieb des ERAM und
- für die Stilllegung des ERAM

bei der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde, dem Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU), gestellt worden. Alle genehmigungsrechtlichen Verfahren sind aufeinander aufgebaut.

Das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des ERAM wurde weitergeführt. Zielstellung ist ein frühestmögliches Einreichen der für das Öffentlichkeitsbeteiligungsverfahren erforderlichen Verfahrensunterlagen und ein frühestmöglicher Beginn der Öffentlichkeitsbeteiligung möglichst noch im Jahr 2005 sowie ein frühestmöglicher Erörterungstermin.

## SCHACHTANLAGE KONRAD

Ansprechpartner:

Albrecht Kleinfeld (0 18 88/3 33-17 27)

### Klagen gegen den Planfeststellungsbeschluss Konrad - Sachstand

Im Mai 2002 hat das Niedersächsische Umweltministerium (NMU) den Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb eines Endlagers für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erteilt. Ursprünglich hatten acht Bürger, Landkreise, Kommunen und Kirchen Klage gegen den Planfeststellungsbeschluss eingereicht. Vier Kläger haben ihre Klage zurückgenommen, noch vier Klageverfahren sind beim zuständigen Obergericht in Lüneburg in 1. Instanz anhängig. Die Kläger machen geltend, der Planfeststellungsbeschluss sei rechtswidrig, weil das Verfahren nicht ordnungsgemäß durchgeführt worden sei und die Genehmigungsvoraussetzungen nicht vorgelegen hätten. Insbesondere habe das NMU keine ausreichenden Prüfungen der Planrechtfertigung, der Planalternativen, der Strahlenbelastung im Normalbetrieb und bei Störfällen, der Langzeitsicherheit, der Transportrisiken und der Umweltverträglichkeit durchgeführt.

Das BfS ist als Begünstigte des Planfeststellungsbeschlusses den Verfahren beigeladen. Die Klageanträge sind mittlerweile umfassend begründet, entsprechende Klageerwiderungen werden derzeit vom NMU und dem BfS vorbereitet. Einen Termin zur mündlichen Verhandlung hat das Gericht noch nicht anberaunt.

Mit Beschluss vom 28.09.2004 wurde auch die Preussag Immobilien GmbH (PSI) als Eigentümerin der Grundstücke von Konrad und Inhaberin des Bergwerkseigentums den Verfahren beigeladen. Einen Beiladungsantrag des Energieversorgungsunternehmens E.ON auf Beiladung hat das Gericht abgelehnt.

Die Klagen haben aufschiebende Wirkung. Das bedeutet, dass mit der Umrüstung der Schachanlage Konrad als Endlagerbergwerk nicht begonnen werden darf. Das BfS hat entsprechend der Vereinbarung der Bundesregierung mit den Energieversorgungsunternehmen seinen Antrag auf Sofortvollzug im Jahr 2000 zurückgenommen.

## ERKUNDUNGSBERGWERK GORLEBEN

Ansprechpartner: Frank Printz (0 18 88/3 33-18 40)

Als Folge der Vereinbarung vom 14.06.2000 zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen über die geordnete Beendigung der Kernenergienutzung wurde die untertägige Erkundung des Salzstockes Gorleben am 1. Oktober 2000 für mindestens drei bis höchstens zehn Jahre unterbrochen (Moratorium). Dieser Zeitraum wird zur Klärung konzeptioneller und sicherheitstechnischer Fragestellungen genutzt, zu deren Beantwortung die Fortsetzung der untertägigen Erkundung nichts beitragen kann.

Die bis zum 1. Oktober 2000 errichteten Anlagen des Erkundungsbergwerkes Gorleben umfassen im Wesentlichen die beiden Schächte Gorleben 1 und 2 und untertägige Strecken mit einer Gesamtlänge von etwa 7 km. Als wesentliche übertägige Anlagen auf dem 28 Hektar großen Betriebsgelände sind die beiden Schachtförderanlagen mit den zugehörigen Tagesanlagen wie Schachthalle, Verladeanlage, Seilfahrtbrücke, Büro- und Kauengebäude sowie die 1 km außerhalb des Bergwerksgeländes befindliche Salzhalde zu nennen.

Es werden im Erkundungsbergwerk Gorleben nur noch Maßnahmen und Arbeiten durchgeführt, die das Erkundungsbergwerk in einem betriebs sichereren Zustand erhalten. Neben den allgemeinen Instandhaltungs- und Offenhaltungsarbeiten wurde in 2004 der Rückbau, die Verfüllung und Rekultivierung der Bohrplätze von ca. 400 Grundwassermessstellen aus dem hydrogeologischen Untersuchungsprogramm abgeschlossen. Die für das Teufen der Schächte benötigten Gefrier- und Temperaturmessbohrlöcher wurden am Schacht 1 im Jahr 2004 weiter für eine abschließende Verfüllung vorbereitet. Die Geltungsdauer des Hauptbetriebsplans für den Offenhaltungsbetrieb wurde vom Landesbergamt Clausthal um weitere 2 Jahre bis zum 30.09.2006 verlängert.

Zur Sicherung des Standortes Gorleben wurde ebenfalls in der o.g. Vereinbarung zwischen den Energieversorgungsunternehmen und der Bundesregierung festgelegt, dass eine zunächst auf 10 Jahre befristete Veränderungssperre gem. § 9 g AtG zu erlassen ist. Durch diese Veränderungssperre soll ein Planungsgebiet festgelegt werden, in dem wertsteigernde oder die Standorterkundung erheblich erschwerende Veränderungen nicht vorgenommen werden dürfen. Der Entwurf einer entsprechenden Verordnung wurde im Herbst 2004 den betroffenen Bürgern und Kommunen zugeleitet und mit ihnen in einer öffentlichen Informationsveranstaltung erörtert.

## STAATLICHE VERWAHRUNG VON KERNBRENNSTOFFEN

Ansprechpartner: Günter Tittel (0 18 88/3 33-18 50)

### Räumung des staatlichen Verwahrers Hanau

Die Verwendung von Kernbrennstoffen in Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und Industrie setzt eine atomrechtliche Genehmigung voraus. Liegt eine solche nicht vor, z. B. bei Insolvenz des Umgangsberechtigten oder Fund von Kernbrennstoffen, übernimmt der Bund die Kernbrennstoffe in Staatliche Verwahrung. Das BfS ist nach den Bestimmungen des Atomgesetzes für den Vollzug dieser Aufgabe zuständig.

Seit 1981 betreibt das BfS im so genannten „Spaltstoffbunker“ auf dem Gelände der Siemens AG (ehemals ALKEM) in Hanau-Wolfgang ein Kernbrennstofflager, in dem – teilweise seit 1985 – neben einer geringen Menge uranhaltiger Kernbrennstoffplatten aus stillgelegten Siemens-Unterrichtsreaktoren plutoniumhaltige Kernbrennstoffe der RWE Power AG, des Forschungszentrums Karlsruhe sowie Kleinstmengen des Bundes staatlich verwahrt werden.

Es handelt sich hierbei um den im Eigentum der RWE Power AG befindlichen Erstkern des nicht in Betrieb gegangenen Schnellen Brütters Kalkar und um weitere unbenutzte Kernbrennstoffe für den mittlerweile stillgelegten Schnellbrüter-Forschungsreaktor KNK II in Karlsruhe, für die § 5 des Atomgesetzes eine Staatliche Verwahrung vorschreibt, weil für den weiteren Umgang mit diesen Materialien keine Berechtigung vorliegt.

Die Siemens AG hat die Brennelementfertigung in Hanau eingestellt und betreibt seit Jahren den Rückbau aller Anlagen und Gebäude des Nuklearstandortes Hanau. Die Siemens AG hat dafür die Mietverträge mit dem BfS gekündigt, so dass künftig Kernbrennstoffe nicht mehr im Lager Hanau staatlich verwahrt werden können. Bereits in 2002 wurden alle Kernbrennstoffe in Transport- und Lagerbehälter verpackt. Damit wurden von Seiten des BfS die technischen Voraussetzungen für den vorgesehenen Abtransport der Kernbrennstoffe aus Hanau erfüllt.

RWE Power AG hat für ihre Kernbrennstoffe einen Vertrag mit der COGEMA ausgehandelt und dem Bund angeboten, dessen Material in diesen Entsorgungsweg mit einzubeziehen. Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) und der Bund haben dieses Angebot angenommen, weil sie in ihm eine sachgerechte und kostengünstige Alternative zur Beseitigung dieser Altlasten sehen. Durch die Verarbeitung des Materials zu neuen Brennelementen und dem sich anschließenden Einsatz in einem Reaktor wird für die Zukunft auch die Gefahr der Weiterverbreitung minimiert.

Die Vorgehensweise sieht vor, in der Anlage der COGEMA in La Hague den hohen Plutonium-Anteil dieser Kernbrennstoffe durch Vermischen („Blenden“) mit Uran auf 4 – 5 % zu verringern. Aus diesem Material werden neue Mischoxid-Brennelemente hergestellt, die dann in einem Kernkraftwerk eingesetzt werden sollen, das über die erforderliche Genehmigung verfügt. Nach ihrem Einsatz im Reaktor werden diese Brennelemente später in dem noch zu errichtenden Endlager des Bundes direkt endgelagert.

In Hanau lagern die Kernbrennstoffe in unfallsicheren so genannten Einzel-SNR-Brennelement-Behältern (ESBB). Diese verfügen über eine Zulassung als Transportbehälter und erfüllen alle Sicherheitsstandards, wie sie auch für CASTOR-Behälter gelten. Die ebenfalls bereits transportfähig verpackten Kernbrennstoffplatten aus den Siemens-Unterrichtsreaktoren werden im Rahmen eines Entsorgungsprojektes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) abtransportiert, so dass das Spaltstofflager in Hanau bis Ende 2005 an die Siemens AG zurückgegeben werden kann.

Das staatliche Verwahrerlager und der Abtransport werden durch Überwachungssysteme von EURATOM und der IAEA kontrolliert. Hantierungen der Kernbrennstoffe ohne Wissen der internationalen Gemeinschaft sind deshalb ausgeschlossen.



Umladen eines ESBB-Behälters (Einzel-SNR-Brennelement-Behälter) vom Scherenhubwagen auf einen Transportwagen für den innerbetrieblichen Weitertransport zur Verpackungsstation

Da auch in Zukunft nicht ausgeschlossen werden kann, dass Kernbrennstoffe staatlich verwahrt werden müssen, ist der Bund verpflichtet, Vorsorge zu treffen, dass im Bedarfsfall Kernbrennstoffe gemäß § 5 Abs. 5 AtG anforderungsgerecht staatlich verwahrt werden können. Das BfS erarbeitet deshalb zurzeit ein Konzept für eine Staatliche Verwahrung an einem anderen geeigneten Standort, um auch in Zukunft den Gesetzauftrag erfüllen zu können.

## ZWISCHENLAGERUNG VON KERNBRENNSTOFFEN

Ansprechpartner:

Diethardt Hofer (0 18 88/3 33-17 00)

Die beim Betrieb von Forschungs- und Leistungsreaktoren anfallenden bestrahlten Brennelemente müssen bis zur Inbetriebnahme eines Endlagers sicher gelagert werden. In der Bundesrepublik Deutschland hat man sich zu diesem Zweck für die trockene Zwischenlagerung in Transport- und Lagerbehältern entschieden.

In der Bundesrepublik Deutschland erfolgte Ende 2004 an 10 Standorten die Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen. Neben den zentralen Zwischenlagern in Gorleben (Niedersachsen) und Ahaus (Nordrhein-Westfalen) werden folgende dezentrale Zwischenlager genutzt:

- AVR-Behälterlager Jülich (Nordrhein-Westfalen),
- Zwischenlager Obrigheim (Baden-Württemberg; genehmigt nach § 7 AtG),
- Zwischenlager Nord (ZLN) in Rubenow bei Greifswald (Mecklenburg-Vorpommern),
- Standort-Zwischenlager Lingen (Niedersachsen).

Weiterhin sind Interimslager an den Standorten Krümmel (Schleswig-Holstein), Neckarwestheim (Baden-Württemberg), Philippsburg (Baden-Württemberg) und in Biblis (Hessen) in Betrieb.

Weitere Standort-Zwischenlager in Biblis, Brokdorf, Brunsbüttel, Grafenrheinfeld, Grohnde, Gundremmingen, Isar, Krümmel, Neckarwestheim, Philippsburg und Unterweser wurden nach § 6 Atomgesetz (AtG) vom BfS genehmigt. Nach der Inbetriebnahme werden die Brennelemente trocken in Transport- und Lagerbehältern aufbewahrt.

## ZENTRALE ZWISCHENLAGER

### Transportbehälterlager (TBL) Ahaus

Die Genehmigung für das Transportbehälterlager Ahaus umfasst die Aufbewahrung bestrahlter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken in Behältern verschiedener CASTOR-Bauarten auf 370 Stellplätzen sowie die Lagerung ausgedienter Kugelbrennelemente aus dem stillgelegten Thorium-Hochtemperatur-Reaktor (THTR) in Hamm-Uentrop in 305 kleineren CASTOR-Behältern auf 50 Stellplätzen. Im TBL Ahaus ist die Schwermetallmasse auf 3.960 t begrenzt. Ende 2004 waren 305 Behälter CASTOR THTR/AVR sowie drei Behälter CASTOR V/19 und drei Behälter CASTOR V/52 eingelagert.

Eine Genehmigung für die Aufbewahrung von Brennelementen aus dem Forschungsreaktor des ehemaligen Forschungszentrums in Rossendorf in CASTOR MTR 2 Behältern wurde am 30.03.2004 erteilt.

In diesem Änderungsverfahren wurden auch die Auswirkungen eines absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturzes auf das TBL Ahaus mit der gegenwärtigen Belegung sowie der zu erwartenden Belegung geprüft.

Der vom Land Nordrhein-Westfalen gegen die entsprechende Beförderungsgenehmigung von Rossendorf nach Ahaus eingelegte Widerspruch sowie das Verfahren zur Aussetzung der sofortigen Vollziehung wurden vom Gericht zurückgewiesen. Der Transport soll 2005 erfolgen.

### Transportbehälterlager (TBL) Gorleben

Im Jahr 1983 wurde die Aufbewahrung von bestrahlten Brennelementen in einem Umfang von max. 1.500 t Uran im TBL Gorleben genehmigt.

Im Jahr 1995 wurde die Genehmigung für das TBL Gorleben auf eine Schwermetallmasse von maximal 3.800 t erweitert. Gleichzeitig erhielt das TBL Gorleben die Erlaubnis, neben abgebrannten Brennelementen auch hochradioaktive Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken aufzubewahren. Die Genehmigung umfasst 420 Stellplätze. Ende 2004 befanden sich insgesamt 56 Behälter im Lager, 5 Behälter mit abgebrannten Brennelementen sowie 51 Behälter mit HAW-Glaskokillen.

Im Hinblick auf eine mögliche Maßnahme nach § 17 AtG (z. B. nachträgliche Auflage) wurde der Behälterabsturz auf den Hallenboden des TBL Gorleben für den Behälter CASTOR HAW 20/28 CG unter Anwendung neuer Rechenmethoden betrachtet. Die Ergebnisse der aufwändigen Finite-Elemente-Rechnungen für den Absturz aus 4 m Höhe sind wie folgt:

- Es konnte festgestellt werden, dass lediglich im Bodenbereich des Behälters geringfügige plastische Verformungen auftreten, während sich der übrige Behälterkörper mit Sicherheit elastisch verhält.
- Das Maximum der Schwerpunktverzögerung des Behälters wurde mit 60 g (60fache Erdbeschleunigung) berechnet. Dieser Wert ist geringer als der im Rahmen der Bauartprüfung im Verkehrsrecht als ertragbar nachgewiesene Wert und entspricht im Übrigen etwa dem 1993 unter den damaligen Annahmen ermittelten Wert.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigen, dass im Falle des Behälterabsturzes zu keinem Zeitpunkt die Integrität des Behälterkörpers gefährdet gewesen wäre.

### **Gerichtsverfahren**

Im Jahr 2004 war das BfS als zuständige Genehmigungsbehörde für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in zentralen Zwischenlagern nach § 6 AtG Beklagte in 3 Gerichtsverfahren. Während die Klagen eines Verbandes und einer Privatperson zum TBL Gorleben noch vor dem OVG Lüneburg anhängig sind und schwerpunktmäßig die Frage des erforderlichen Schutzes des TBL Gorleben gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter – insbesondere die Frage des Schutzes gegen Terrorangriffe – betreffen, wurde die bereits seit 1998 anhängige Klage privater Kläger gegen das Transportbehälterlager Ahaus durch das OVG Münster am 02.09.2004 als unbegründet abgewiesen. Die Aufbewahrungsgenehmigung für das TBL Ahaus vom 07.11.1997 sowie die 1. Änderungsgenehmigung vom 17.05.2000 und die 2. Änderungsgenehmigung vom 24.04.2001, die Gegenstand des Klageverfahrens waren, wurden damit bestandskräftig. Das Gericht betonte in seiner Entscheidung, dass das BfS zum einen insbesondere die für die Genehmigungserteilung relevanten Sicherheitsaspekte geprüft habe und zum anderen nach Genehmigungserteilung gewonnenen neuen Erkenntnissen nachgegangen sei. Auf diese Weise erkannte Probleme seien gelöst worden. Gegen die 3. Änderungsgenehmigung vom 30.03.2004, die nicht Streitgegenstand des Klageverfahrens war, ist derzeit ein Widerspruchsverfahren beim BfS anhängig.

## **DEZENTRALE ZWISCHENLAGER AN DEN STANDORTEN DER KRAFTWERKE**

### **Stand der Genehmigungsverfahren**

Bis zum Ende des Jahres 2003 wurden vom BfS alle 12 der von den Betreibern der Kernkraftwerke gestellten Anträge auf Aufbewahrung von abgebrannten Brennelementen in Standort-Zwischenlagern sowie vier der beantragten fünf Interimslager genehmigt. Die für die Standort-Zwischenlager und das Interimslager Krümmel erteilten Genehmigungen umfassen allerdings antragsgemäß nur einen ersten Genehmigungsschritt. Die bisher nicht beschiedenen Teile der Anträge werden in Ergänzungsgenehmigungsverfahren geprüft, so dass den erteilten Genehmigungen Ergänzungsbescheide folgen. Zum Antrag für das Interimslager Brunsbüttel wird die Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen noch geprüft.

Im Jahre 2004 lagen dem BfS insgesamt 13 Anträge auf Ergänzung der erteilten Genehmigungen zur Aufbewahrung von abgebrannten Brennelementen sowie 21 Änderungsanträge für 12 Standort-Zwischenlager und vier Interimslager (Philippsburg, Neckarwestheim, Biblis, Krümmel) vor. Damit befanden sich im BfS insgesamt 35 Anträge – einschließlich des Antrages für die Aufbewahrungsgenehmigung im Interimslager Brunsbüttel – in Bearbeitung. Bei der Behandlung bislang nicht beschiedener Teile der Anträge sowie bei Anträgen auf Änderungsgenehmigung wird vom BfS auch geprüft, ob durch den jeweiligen Antragsgegenstand zusätzliche Untersuchungen zur Umweltverträglichkeitsprüfung sowie zum gezielten Flugzeugabsturz erforderlich sind.

### **Gerichtsverfahren**

Im Jahre 2003 hatte das BfS 15 Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG (10 Aufbewahrungsgenehmigungen für Standort-Zwischenlager, eine Aufbewahrungsgenehmigung für ein Interimslager, drei Änderungs- und Ergänzungsgenehmigungen sowie eine Änderungsgenehmigung für das ZLN) erteilt. Die Mehrzahl dieser Genehmigungen wurde vor Gericht angefochten. Das BfS war deshalb im Jahr 2004 Beklagte in mehr als 30 Gerichtsverfahren. Gegenwärtig sind noch 17 dieser Gerichtsverfahren anhängig (Stand: April 2005).

### **Im Jahr 2004 erteilte**

#### **Ergänzungs- und Änderungsgenehmigungen**

Nahezu alle Genehmigungsinhaber von Zwischenlagern und Interimslagern haben einen Änderungsantrag zum Einsatz eines geänderten Feuchtemessverfahrens und der damit verbundenen Änderung des Restfeuchte Kriteriums bei Behältern mit silberummantelten Metaldichtungen am Primärdeckel gestellt. Die Anträge befanden sich Ende 2004 noch in der Prüfung.

Für das Standort-Zwischenlager Lingen wurde von der Betreiberin die zusätzliche Aufbewahrung von Mischoxid-Brennelementen beantragt. Konkret soll damit der Einsatz von Mischoxid-Brennelementen für den Transport- und Lagerbehälter CASTOR V/19 als zusätzliches Behälterinventar ermöglicht werden. Die Aufbewahrung von Mischoxid-Brennelementen ist für die anderen Standort-Zwischenlager bereits genehmigt worden.

#### **Stand der Realisierung der Zwischenlager**

Das Interimslager Krümmel ist seit August 2004 in Betrieb. Nach Erteilung der Baugenehmigungen durch die jeweils zuständige Baubehörde wurde in 2004 mit der Errichtung der Standort-Zwischenlager Unterweser (Januar), Biblis (März), Brokdorf (April), Krümmel (April), Philippsburg (Mai), Isar (Juni) und Gundremmingen (August) begonnen. Die Bauarbeiten für die Standort-Zwischenlager Isar und Gund-



Standort-Zwischenlager Biblis in der Bauphase

remmingen konnten nach Anordnung des Sofortvollzuges für die atomrechtlichen Genehmigungen aufgenommen werden. Damit befinden sich alle genehmigten Standort-Zwischenlager in der Bauphase. Das Standort-Zwischenlager Lingen ist bereits seit Dezember 2002 in Betrieb. Die Genehmigungsinhaber planen die Fertigstellung der 11 in Bau befindlichen Standort-Zwischenlager für den Zeitraum 2005 bis ca. Ende 2006.

#### Stand bei den in Betrieb befindlichen Interimslagern und Standort-Zwischenlagern

In den bereits seit 2001 in Betrieb befindlichen Interimslagern Neckarwestheim und Philippsburg waren Ende 2004 15 bzw. 10 Behälter eingelagert. Das Interimslager Biblis, das seit März 2002 in Betrieb ist, hat bereits 23 Behälter aufgenommen. Für das Interimslager Krümmel erfolgte die Inbetriebnahme im August 2004, dort steht ein Behälter.

In das Standort-Zwischenlager Lingen, das im Dezember 2002 in Betrieb gegangen ist, wurden bisher 15 Behälter eingelagert.

Insofern konnte ein wichtiger Beitrag zur Verringerung der Transporte von Kernbrennstoffen in die zentralen Zwischenlager oder zu den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien noch vor dem gesetzlich festgelegten endgültigen Transportstopp ab dem 01.07.2005 geleistet werden.

#### Übersicht über bestandskräftige Bescheide

Bestandskräftig sind die Genehmigungen für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in den Standort-Zwischenlagern Biblis, Brokdorf, Lingen und Neckarwestheim sowie die Genehmigungen für die Interimslager.

## Internationaler Vergleich der Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen

Die vom BfS in den anderen europäischen Ländern eingeholten Auskünfte haben Folgendes ergeben:

Frankreich:

Es besteht kein Zwischenlager (trockene Zwischenlagerung) für bestrahlte Brennelemente. Diese werden in Behältern der Baureihe „TN“ zur Wiederaufarbeitungsanlage La Hague gebracht.

Belgien:

In Belgien ist ebenfalls kein Zwischenlager in Betrieb: Die Entsorgung der bestrahlten Brennelemente erfolgt analog zu Frankreich.

Niederlande:

Es besteht ebenfalls kein Zwischenlager (trockene Zwischenlagerung) für bestrahlte Brennelemente. Es werden bestrahlte Brennelemente aus Forschungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung nach La Hague transportiert.

Schweiz:

Das Zentrale Zwischenlager (ZZL) der Zwischenlager Würenlingen AG ist in Betrieb. Ende 2004 wurden

- 3 Behälter der Bauart CASTOR HAW 20/28 CG mit HAW-Kokillen,
- 3 Behälter der Bauart TN26G sowie
- 4 Behälter der Bauart TN97L mit bestrahlten Brennelementen

aufbewahrt.



Das ZWILAG, das zentrale Zwischenlager der Schweizer Kernkraftwerke in Würenlingen/Schweiz (Quelle: COMET Photoshopping GmbH)

Tschechische Republik:

Am Standort des Kernkraftwerkes Dukovany (DWR: 4 x WWER-440) ist ein Zwischenlager in Betrieb. Eine Erweiterung desselben auf eine Kapazität von 1.340 t Schwermetall ist vorgesehen. Ende 2004 werden 52 Behälter der Bauart CASTOR 440/84 – beladen mit bestrahlten Brennelementen dieses Standortes – gelagert.

Am Standort des Kernkraftwerkes Temelin (DWR: 2 x WWER-1000) ist der Bau eines Zwischenlagers (SFSF – Spent Fuel Storage Facility) geplant. Es soll für ca. 1.360 t Schwermetall ausgelegt werden und etwa 2013 in Betrieb gehen, siehe auch Beitrag „Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahren für das geplante Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente am Standort des Kernkraftwerkes Temelin“ (Seite 33 ff). Für die Zeit bis dahin stehen für die Zwischenlagerung Nasslager zur Verfügung.

Ungarn:

Am Standort des Kernkraftwerkes Paks ist ein Zwischenlager errichtet worden. Es erfolgt eine trockene Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente (sog. Kanisterlagerung). Eine Erweiterung der Lagerungsmodule ist beabsichtigt.

Bulgarien:

Am Standort des Kernkraftwerkes Kozloduy wird ein Zwischenlager zur Aufnahme von 2.800 Brennelementen des Typs WWER-440 in CONSTOR 440/84 – Behältern errichtet. Die Lagerkapazität soll zu einem späteren Zeitpunkt auf 8.000 WWER-440- und 2.500 WWER-1000 – Brennelemente erweitert werden.

Litauen:

Brennelemente des Kernkraftwerkes Ignalina mit dem Reaktor-Typ RBMK (4 x 1000 MW) werden in 20 Behältern der Bauart CASTOR RBMK im Freien gelagert. Weitere Behälter der Bauart CONSTOR RBMK stehen zur Verfügung bzw. werden geliefert. Ein Zwischenlager am Standort ist in der Planung.

### **Prüfung eines absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturzes auf Zwischenlager**

Für die bis Ende 2003 neu genehmigten Standort-Zwischenlager und Interimslager wurden die Auswirkungen eines absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturzes in den jeweiligen Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG betrachtet (s. a. BfS-Jahresbericht 2003). Für die zentralen Zwischenlager in Ahaus und Gorleben sowie das Zwischenlager Nord (ZLN) in Rubenow und das AVR-Behälterlager in Jülich wurden bzw. werden Prüfungen mit gleichem Detaillierungsgrad wie bei den Standort-Zwischenlagern, gestützt auf § 17 AtG oder im Rahmen von anstehenden Änderungs-genehmigungsverfahren nach § 6 AtG, durchgeführt.

Für die Zwischenlager in Ahaus und Gorleben wurde die unter realistischen Randbedingungen zu erwartende Anzahl der jeweiligen genehmigten Behältertypen zu Grunde gelegt. Da das Bundesamt für Strahlenschutz auch zuständig für die Erteilung von Transportgenehmigungen ist, ist sichergestellt, dass ergänzende Prüfungen eingeleitet werden, falls von diesen Randbedingungen abgewichen werden soll. Beim ZLN und dem AVR-Behälterlager in Jülich wird berücksichtigt, dass sie sich mit Zwischenlagern für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, die von der jeweils zuständigen Landesbehörde nach Strahlenschutzverordnung (früher § 3, jetzt § 7 StrlSchV) genehmigt sind, in einem gemeinsamen Gebäude befinden. Eine isolierte Betrachtung nur für den Bereich der Genehmigung nach § 6 AtG ist hier in Bezug auf den Schutz der Bevölkerung nicht angemessen. Daher wird bei diesen „räumlich verbundenen Anlagen“ eine umfassende Betrachtung der möglichen radiologischen Auswirkungen unter Einbeziehung des Inventars der Gesamteinrichtung erforderlich.

Die Ergebnisse für die zentralen Zwischenlager in Ahaus und Gorleben sowie für das ZLN weisen nach dem jetzigen Stand aus, dass ein absichtlich herbeigeführter Flugzeugabsturz nicht zu katastrophalen Auswirkungen führt. Die Prüfungen des BfS haben ergeben, dass der Eingreifrichtwert für die Katastrophenschutzmaßnahme „Evakuierung“ von 100 Millisievert (mSv) effektiver Dosis nicht erreicht wird. Damit ist auch das Schutzziel der SEWD-Richtlinie (SEWD = Schutz gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter) eingehalten.

Die entsprechenden Prüfungen für das AVR-Behälterlager in Jülich sind noch nicht abgeschlossen (Stand: 31.12.2004). Jedoch ist auf Grund der bisherigen Erkenntnisse zum Zwischenlager Ahaus und der Gleichartigkeit der Behälter in Jülich nicht zu erwarten, dass die Integrität der Behälter gefährdet sein könnte. In allen bislang betrachteten Verfahren konnte im Ergebnis der Prüfungen festgestellt werden, dass es durch die mechanischen und thermischen Einwirkungen nach einem absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturz lediglich zu einem Nachlassen der Dichtwirkung des Deckelsystems kommen kann.

Die Untersuchungen zu noch zu erwartenden Inventaren und Behältertypen sowie zum Einfluss räumlich verbundener Anlagen sind noch nicht abgeschlossen.

## **Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahren für das geplante Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente am Standort des Kernkraftwerks Temelín**

Ansprechpartner:

Matthias Beushausen (0 18 88/3 33-19 51)

Am Standort des tschechischen Kernkraftwerks Temelín in der Region Südböhmen plant die ČEZ AG als Betreiberin der Kraftwerksanlage die Errichtung eines Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente.

Im Kernkraftwerk Temelín werden pro Jahr in jedem Reaktor ca. 25 % des Brennstoffs ausgewechselt und in Schutzbehältern im Abklingbecken im Containment neben dem Reaktor aufbewahrt. Die Kapazität des Abklingbeckens wird voraussichtlich etwa im Jahr 2014 erschöpft sein. Bis zu diesem Zeitpunkt soll ein Standort-Zwischenlager für die Aufnahme der Brennstäbe in geeigneten Behältern bereitstehen. Es ist vorgesehen das Zwischenlager für die Aufnahme von 1.370 Tonnen Uran in Form von abgebrannten Brennstäben auszulegen. Der geplante Zeitraum für die Zwischenlagerung am Standort Temelín beträgt ca. 60 Jahre. Nach Ablauf dieser Zeit soll der abgebrannte Kernbrennstoff aus dem Zwischenlager in ein dann verfügbares Endlager verbracht werden.

### **Grundlagen**

Nach dem tschechischen Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) wurde die UVP in der tschechischen Republik eingeleitet. Die zuständige Behörde im Sinne des tschechischen Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes ist das Umweltministerium der Tschechischen Republik.

Das deutsch-tschechische Umweltabkommen beinhaltet die Verpflichtung beider Staaten, geeignete und wirksame Maßnahmen zur Verhütung und Verringerung von erheblichen grenzüberschreitenden Umweltbeeinträchtigungen zu ergreifen. Zudem prüft gemäß dem deutsch-tschechischen Umweltabkommen die Vertragspartei, auf deren Hoheitsgebiet eine Tätigkeit mit erheblichen grenzüberschreitenden Umweltauswirkungen beabsichtigt ist, im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung auch die möglichen Beeinträchtigungen der Umwelt auf dem Hoheitsgebiet der anderen Vertragspartei. Die Umweltprüfung erfolgt dabei nach dem geltenden innerstaatlichen Recht (UVP-Gesetz). Zuständig auf deutscher Seite für die Beteiligung am Verfahren ist das BfS.

### **Verfahren**

Nach tschechischem Recht hatte der Antragsteller zur Einleitung des Verfahrens eine „Anzeige des Vor-

habens“ bei der zuständigen Behörde, dem Tschechischen Umweltministerium, zur Veröffentlichung vorgelegt. Auf Grundlage der Anzeige und der in diesem Zusammenhang eingereichten Stellungnahmen erstellte das Umweltministerium einen Feststellungsbescheid hinsichtlich des Untersuchungsumfangs der vom Antragsteller vorzulegenden „Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung“. Dieses sogenannte Feststellungsverfahren entspricht dem „Scoping“ im deutschem UVP-Gesetz.

Die nächste Phase des Verfahrens wurde durch das Einreichen der „Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung“ beim Tschechischen Umweltministerium durch die ČEZ AG eingeleitet. Die Beteiligung des BfS am UVP-Verfahren setzte an dieser Stelle ein. Die „Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung“ in der deutschen Übersetzung wurde im Internet der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Darüber hinaus wurden die Unterlagen in gedruckter Form zur Einsicht bereitgestellt. Unterstützt wurde das BfS dabei durch die Umweltministerien der Anrainerländer Bayern und Sachsen. Im Veröffentlichungszeitraum gingen innerhalb der gesetzten Frist zahlreiche Einwenderschreiben mit insgesamt ca. 2.500 Unterschriften gegen das geplante Zwischenlager beim BfS ein. Während der Veröffentlichungsdauer wurde seitens BfS eine fachliche Stellungnahme zur Dokumentation erstellt. Diese Stellungnahme beinhaltet eine Prüfung und Bewertung hinsichtlich möglicher grenzüberschreitender Umweltauswirkungen des Vorhabens. Die Prüfung und Bewertung erfolgte anhand internationaler Standards und Maßstäbe, die auch im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfungen für deutsche Zwischenlager Anwendung gefunden haben. Die in der Dokumentation zur Umweltverträglichkeit erörterten Punkte wurden auf ihre Bedeutung unter der gegebenen Fragestellung geprüft. Dabei wurde zwischen Wirkfaktoren ohne erkennbare und solche mit denkbarer grenzüberschreitender Relevanz unterschieden. Nur die Letztgenannten wurden näher untersucht. Diese ließen sich in erster Linie aus Störfällen ableiten, die in ihrer Auswirkung die Integrität der Behälter beeinträchtigen können. Vor dem Hintergrund der Schlüsselfunktion, welche die Behälter hinsichtlich der Sicherheit des Zwischenlagers Temelín besitzen, wurden auch die Behältereigenschaften und -funktionen auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit überprüft.

Als Ergebnis der Prüfung und Bewertung ist festzuhalten:

Einige denkbare Störfälle bezüglich Behälterstürzen wurden nicht betrachtet. Bei der Betrachtung eines terroristischen Angriffs mit einem Großflugzeug ist der in der Dokumentation dargelegte Vergleich mit den deutschen Analysen dieses Szenarios nicht aus-

reichend, um grenzüberschreitende Umweltauswirkungen nachvollziehbar auszuschließen. Hierzu müssen Analysen mit den spezifischen Parametern für das geplante Zwischenlager Temelín (Gebäude und Behälter) durchgeführt werden. Die Anforderungen an die Behälter decken sich im Wesentlichen mit den Vorgaben für deutsche Zwischenlager und den Prüfkriterien der IAEA.

Unter der Voraussetzung der Berücksichtigung der o. g. Anforderungen bestehen keine Kritikpunkte an der „Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung“ im Hinblick auf die Bewertung grenzüberschreitender Umweltauswirkungen auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland.

Die Stellungnahme des BfS, gemeinsam mit den aus der deutschen Öffentlichkeit dem BfS zugesandten Einwenderschreiben, wurde fristgemäß zum 31.10.2004 dem Tschechischen Umweltministerium zugestellt. Das Verfahren befindet sich dort zurzeit in der Prüfungsphase. Im Ergebnis der Prüfung wird vom tschechischen Umweltministerium ein Gutachten unter Berücksichtigung der „Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung“ und der eingereichten Stellungnahmen erstellt. Dieses Gutachten wird anschließend veröffentlicht. Unter Berücksichtigung des Gutachtens sowie der Stellungnahmen und Einwendungen dazu wird abschließend eine ganzheitliche Beurteilung des Vorhabens vom Tschechischen Umweltministerium anfertigt.

## TRANSPORT VON RADIOAKTIVEN STOFFEN UND KERNBRENNSTOFFEN

Ansprechpartner: Frank Nitsche (0 18 88/3 33-17 70)

Für den Transport von radioaktiven Stoffen auf öffentlichen Verkehrswegen bestehen in Deutschland umfangreiche Regelungen im Rahmen des Atomrechts (Atomgesetz und Strahlenschutzverordnung) und des Gefahrgutrechts (Gefahrgutbeförderungsgesetz, gefahrgutrechtliche Verordnungen zur Beförderung gefährlicher Güter für die einzelnen Verkehrsträger). Ziel dieser Vorschriften ist es, die mit der Beförderung radioaktiver Stoffe verbundenen Gefahren auszuschließen bzw. auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Das BfS ist die zuständige Behörde für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen nach Atom- und Gefahrgutrecht sowie für die Zulassung/Anerkennung von Transportbehältern nach dem Gefahrgutrecht. An den Zulassungsverfahren ist auch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als zuständige Behörde für die Prüfung der Bauart und der qualitätssichernden Maßnahmen beteiligt.

Voraussetzungen für die Zulassung von Transportbehältern sind umfangreiche sicherheitstechnische Prüfungen zur mechanischen und thermischen Stabilität, Dichtigkeit, Abschirmung und Kritikalitätssicherheit. Dabei können die Sicherheitsprüfungen entsprechend den gefahrgutrechtlichen Vorschriften in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) durch Originaltests, Modelltests, Berechnungsverfahren oder Bezugnahme auf ähnliche Nachweise erfolgen. Diese Nachweismethoden sind gleichberechtigt und werden vorwiegend kombiniert angewandt.

Mit der Inbetriebnahme der Falltestanlage der BAM in Horstwalde bei Berlin im September 2004 wurden die materiell-technischen Voraussetzungen geschaffen, Transportbehälter mit einer Gesamtmasse von bis zu 200 t in Originalgröße zu testen. Damit wird auch dem Anliegen des BfS entsprochen, insbesondere aus Akzeptanzgründen verstärkt Originalbehältertests in die Nachweisverfahren einbeziehen zu können.

Die Funktionstüchtigkeit dieser neuen Anlage wurde erstmals während der PATRAM-Konferenz im September 2004 demonstriert, wobei zwei Transport- und Lagerbehälter für bestrahlte Brennelemente in Originalgröße einem Fallversuch gemäß IAEA-Regeln aus neun Metern Höhe auf ein unnachgiebiges Fundament unterzogen wurden: der Behälter vom Typ CONSTOR V/TC (Firma GNB, Deutschland) mit einer Gesamtmasse von 185 t und der Behälter vom Typ MSF-69 BG (Firma Mitsubishi, Japan) mit einer Gesamtmasse von 131 t.

Auf dem Gebiet der atomrechtlichen Beförderungsgenehmigungen fand der beantragte Abtransport von bestrahlten Brennelementen aus dem Forschungsreaktor Rossendorf nach Ahaus besonderes öffentliches Interesse.

Am 30. März 2004 hatte das BfS der Nuclear Cargo Service GmbH die Genehmigung erteilt, insgesamt 18 Behälter der Bauart CASTOR MTR 2 mit insgesamt 147 bestrahlten Forschungsreaktor-Brennelementen von Rossendorf ins Brennelementzwischenlager nach Ahaus zu transportieren. Damit sollen die bestrahlten Brennelemente des Forschungsreaktors Rossendorf der sicheren Zwischenlagerung zugeführt werden, da das VKTA Rossendorf über keine Genehmigung zur Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen nach § 6 Atomgesetz verfügt.

Das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) legte gegen diese Genehmigung Widerspruch ein und stellte am 07. Juni 2004 beim Verwaltungsgericht Braunschweig einen Antrag auf Wiederherstellung der aufschiebenden Wirkung des Widerspruches. Zur Begründung trug das Land NRW im Wesentlichen vor, das BfS habe bei Erteilung der Genehmigung die von dem Land wahrzunehmenden öffentlichen Interessen, insbesondere den durch Straßentransporte verursachten hohen personellen und finanziellen Aufwand hinsichtlich der polizeilichen Sicherungsmaßnahmen, nicht ausreichend berücksichtigt. Dieser Antrag des Landes NRW wurde vom Verwaltungsgericht Braunschweig mit Beschluss vom 06. August 2004 als unzulässig abgelehnt, wie auch die Beschwerde des Landes NRW gegen diesen Beschluss des VG Braunschweig vom Obergericht Lüneburg am 11. Oktober 2004 zurückgewiesen wurde. Der beim BfS eingelegte Widerspruch gegen die Beförderungsgenehmigung wurde am 18. Oktober 2004 abgelehnt.

Durch die Anfertigung weiterer Stoßdämpfer für die Transportbehälter CASTOR MTR 2 wurden die Voraussetzungen für eine weitestgehende Bündelung der Straßentransporte geschaffen. Auf Antrag der Nuclear Cargo Service GmbH erfolgte am 15. November 2004 die Verlängerung der Gültigkeitsdauer der Beförderungsgenehmigung um ein Jahr bis zum 31. Dezember 2005.

Weitere Beförderungsgenehmigungen des BfS für die Versorgung des Forschungsreaktors München FRM II und die Entsorgung der Forschungsreaktoren Geesthacht, Berlin und Jülich wurden in 2004 erteilt. Im Juli wurden vier unbestrahlte Brennelemente zum FRM II befördert. Der Abtransport von insgesamt 126 bestrahlten Brennelementen aus den Forschungsre-

aktoren Geesthacht, Berlin und Jülich über den Straßen- und anschließenden Seeweg in die USA erfolgte ebenfalls im Juli.

Für den Rücktransport von 12 Behältern mit verglasten hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague/Frankreich in das Zwischenlager Gorleben wurde die Beförderungsgenehmigung durch das BfS am 27. April 2004 erteilt. Der Rücktransport erreichte am 9. November 2004 seinen Bestimmungsort.

Die Erteilung der Beförderungsgenehmigung zum Abtransport des SNR-Materials aus der Staatlichen Verwahrung in Hanau zur Cogema in La Hague/Frankreich erfolgte auf Antrag der Nuclear Cargo Service GmbH am 22. Oktober 2004 durch das BfS. Der erste Abtransport erfolgte am 24. November 2004.

Auf internationalem Gebiet sind für das Jahr 2004 insbesondere zwei Schwerpunkte hervorzuheben: Die 14. Internationale Konferenz über „Verpackung und Transport von radioaktiven Stoffen“ (PATRAM 2004) fand vom 20. – 24. September in Berlin mit über 700 Teilnehmern aus 25 Ländern statt. PATRAM (Packaging and Transportation of Radioactive Material) ist weltweit die größte Konferenz auf dem Gebiet der Beförderung und Verpackung von radioaktiven Stoffen und wird alle drei Jahre durchgeführt.

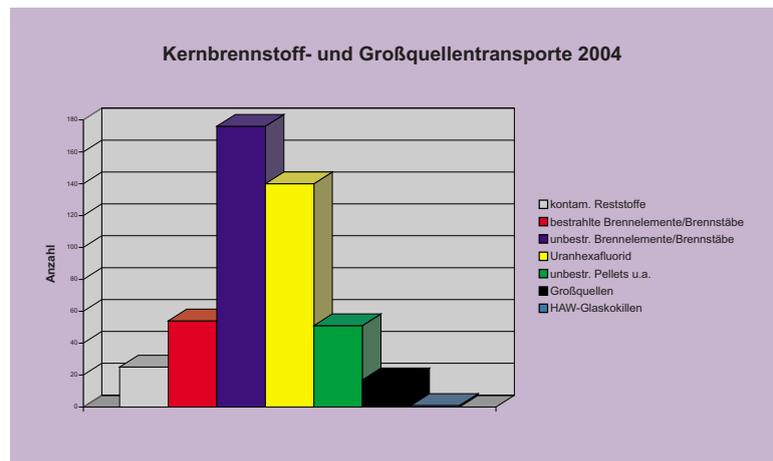
Hinsichtlich der Weiterentwicklung der internationalen Regelwerke zur sicheren Beförderung radioaktiver Stoffe veröffentlichte die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEA), Wien, die Ausgabe 2003 ihrer Transportempfehlungen TS-R-1, beendete die Arbeiten zur Erstellung der Ausgabe 2005 und begann einen neuen zweijährigen Überprüfungszyklus der TS-R-1 im September 2004. Die rechtsverbindliche Umsetzung der Ausgabe 2003 in die Gefahrgutbeförderungsvorschriften aller Verkehrsträger erfolgte ab 1. Januar 2005 in Deutschland.

### Statistische Angaben für 2004

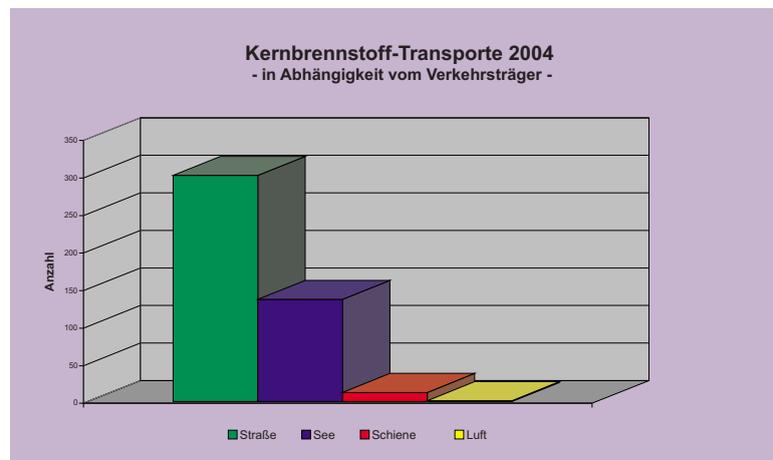
Im Jahr 2004 wurden insgesamt 132 Genehmigungen zum Transport von Kernbrennstoffen und 15 Genehmigungen für Transporte von Großquellen erteilt, wobei einzelne Genehmigungen die Durchführung mehrerer Transporte gestatten. Durchgeführt wurden im Jahre 2004 insgesamt 467 Transporte von Kernbrennstoffen und Großquellen.

Die zwei Abbildungen rechts oben zeigen die Anzahl der Transporte in Abhängigkeit vom transportierten Material und in Abhängigkeit vom Verkehrsträger (Straße, See, Schiene und Luft).

Informationen über vom BfS erteilte Beförderungsgenehmigungen werden auf der Homepage des BfS veröffentlicht ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)).



Transporte in Abhängigkeit vom transportierten Material



Transporte in Abhängigkeit vom Verkehrsträger (Straße, See, Schiene und Luft)

Außerdem wurden 2004 vom BfS insgesamt 34 Zulassungen von Behältern und 12 deutsche Anerkennungen ausländischer Zulassungen erteilt sowie 15 verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen ausgestellt.

Mit 11 Transporten wurden 30 Behälter mit bestrahlten Brennelementen zu den Wiederaufarbeitungsanlagen nach Frankreich (COGEMA) und nach Großbritannien (BNFL) gebracht. Die in den diesbezüglichen BfS-Beförderungsgenehmigungen festgelegten Maßnahmen zur Kontaminationsvermeidung und -kontrolle sowie die Festlegungen zu Meldepflichten und zur Transportdokumentation haben sich weiterhin bewährt. Bei allen Transporten wurden die Grenzwerte für die nichtfesthaftende Oberflächenkontamination am Transportbehälter und am Transportmittel eingehalten.

Mit nur noch 30 beförderten Behältern in 2004 gegenüber 87 Behältern in 2003 wird schon jetzt die erhebliche Reduzierung der Anzahl dieser Transporte von bestrahlten Brennelementen zu den Wiederaufarbeitungsanlagen deutlich, die insgesamt nur noch bis zum 30.06.2005 zulässig sind.

# AUSGEWÄHLTE EINZELTHEMEN

## DAS NEUE INTEGRIERTE MESS- UND INFORMATIONSSYSTEM (IMIS) ZUR ÜBERWACHUNG DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Ansprechpartner: Hermann Leeb (0 18 88/3 33-25 80)  
Joachim Lieser (0 18 88/3 33-25 60)  
Erich Wirth (0 18 88/3 33-67 10)

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Radioaktivität in der Umwelt seit 1955 routinemäßig von verschiedenen Bundes- und Landesinstitutionen flächendeckend gemessen. Beim Reaktorunfall von Tschernobyl im Jahr 1986 zeigte sich, dass die Vorbereitungen auf eine großräumige Kontamination der Umwelt mangelhaft waren. Die Messungen wurden nicht systematisch durchgeführt und waren nicht aufeinander abgestimmt. Der Datenaustausch über Telefax und Fernschreiber war zeitaufwändig und schwierig. Eine Darstellung der Ergebnisse fand allenfalls in Form von Tabellen statt. Die Erstellung übersichtlicher Graphiken war kompliziert und wurde deshalb so gut wie nicht praktiziert. Die Folge war, dass Politiker die Situation unterschiedlich bewerteten, was zu erheblichen Verunsicherungen in der Bevölkerung führte.

Als Konsequenz aus diesen Erfahrungen wurde noch im Jahr 1986 das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) verabschiedet, das die gesetzliche Grundlage für die Errichtung des Integrierten Mess- und Informationssystems für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt (IMIS) ist. Aufgabe von IMIS ist es, die Umwelt kontinuierlich zu überwachen und in einem Ereignisfall die radioaktive Kontamination der Umwelt durch Messungen schnell zu erfassen und die daraus zu erwartende Strahlenbelastung mit Entscheidungshilfesystemen abzuschätzen (s. a. BfS-Jahresbericht 2001). Die kontinuierlich arbeitenden Messnetze des Bundes und Messeinrichtungen der Länder sind mit dem Bundesamt für Strahlenschutz über ein leistungsfähiges, IT-gestütztes Informationssystem verbunden.

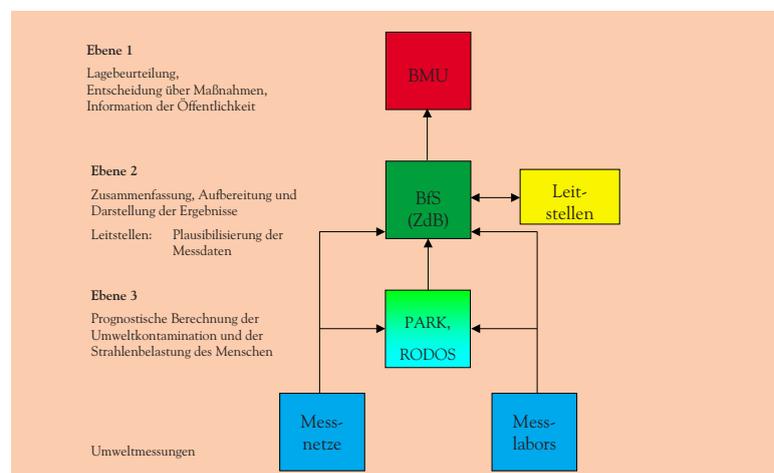
### Messprogramme

Die Messungen bei Bund und Ländern erfolgen nach festgelegten Messprogrammen. Unter der Federführung des BfS wurden die Umweltmessprogramme für die routinemäßige Erfassung der Umweltradioaktivität (Routinemessprogramm) und für die schnelle und umfassende Lagefeststellung in einem Ereignisfall (Intensivmessprogramm) im Jahr 2004 überarbeitet und aktualisiert. Unter anderem mussten die neuen Vorgaben der EU für ein eng- und weitmaschiges Überwachungsnetzes in die Umweltüberwachung integriert werden, deren Ziel es ist, die Kontamination der Umwelt flächendeckend zu erfassen und langfristige Trends aufzuzeigen.

Im Routinebetrieb werden mehr als 10.000 Einzelmessungen pro Jahr in Luft, Wasser, Boden, Nahrungs- und Futtermitteln bundesweit durchgeführt, in einem Ereignisfall bis zu 2.000 Einzelmessungen täglich. Die kontinuierlich arbeitenden Messnetze sind für die Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre, in den Bundeswasserstrassen und in der Nord- und Ostsee eingerichtet. Darüber hinaus misst das BfS die Höhe der äußeren Strahlenbelastung kontinuierlich bundesweit an 2.150 Standorten. Bei einem Unfall können diese Messergebnisse im 10-Minuten-Rhythmus abgerufen werden. Dadurch können die Ausbreitung einer radioaktiven Schadstoffwolke quasi online verfolgt und die betroffenen Gebiete sehr schnell eingegrenzt werden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung gezielt treffen zu können.

Die Messdaten sind Grundlage für die Abschätzung der zu erwartenden Strahlenbelastung. Dazu stehen in IMIS die radioökologischen Entscheidungshilfesysteme „PARK“ (Programm für die Abschätzung Radiologischer Konsequenzen) für die Darstellung von großräumigen Kontaminationen der Umwelt und der daraus resultierenden Strahlenbelastung sowie „RODOS“ (Real-Time Online Decision Support Operating System) für eine detaillierte Darstellung der radiologischen Situation in der näheren Umgebung einer Anlage zur Verfügung.

Eine wesentliche Aufgabe von IMIS ist es, sämtliche von Bundes- und Landesmessstellen ermittelten Daten und Dokumente zu erfassen, auszuwerten und darzustellen und dem BMU zur Entscheidungen über Maßnahmen zur Verfügung zu stellen. Diese Aufgaben werden im BfS von der Zentralstelle des Bundes (ZdB) in Oberschleißheim bei München wahrgenommen (s. Abb. unten).



Funktionale Ebenen in IMIS

## Migration des IMIS

Im Dezember des Jahres 1993 wurde IMIS in Betrieb genommen. Nach mehr als 10 Jahren permanenter Einsatzbereitschaft waren die Rechner und das IT-Konzept für die Zusammenführung, Auswertung und Darstellung von Daten und Dokumenten veraltet, so dass eine Umstellung auf modernere Hardware- und Softwaretechnik erforderlich wurde. Diese Umstellung erfolgte im Rahmen der sogenannten „IMIS-Migration“

Das bisherige IMIS wies eine monolithische Struktur auf, d. h. bei allen beteiligten Stellen stand ein eigener Rechner, auf dem die gesamte Funktionalität und der Datenbestand verfügbar war. Das neue IMIS weist eine Client-Server-Struktur auf. Es gibt nur noch einen zentralen, hochredundant ausgelegten Server, an den alle 200 an IMIS beteiligten Behörden im Bundes- und Länderbereich online angeschlossen sind.

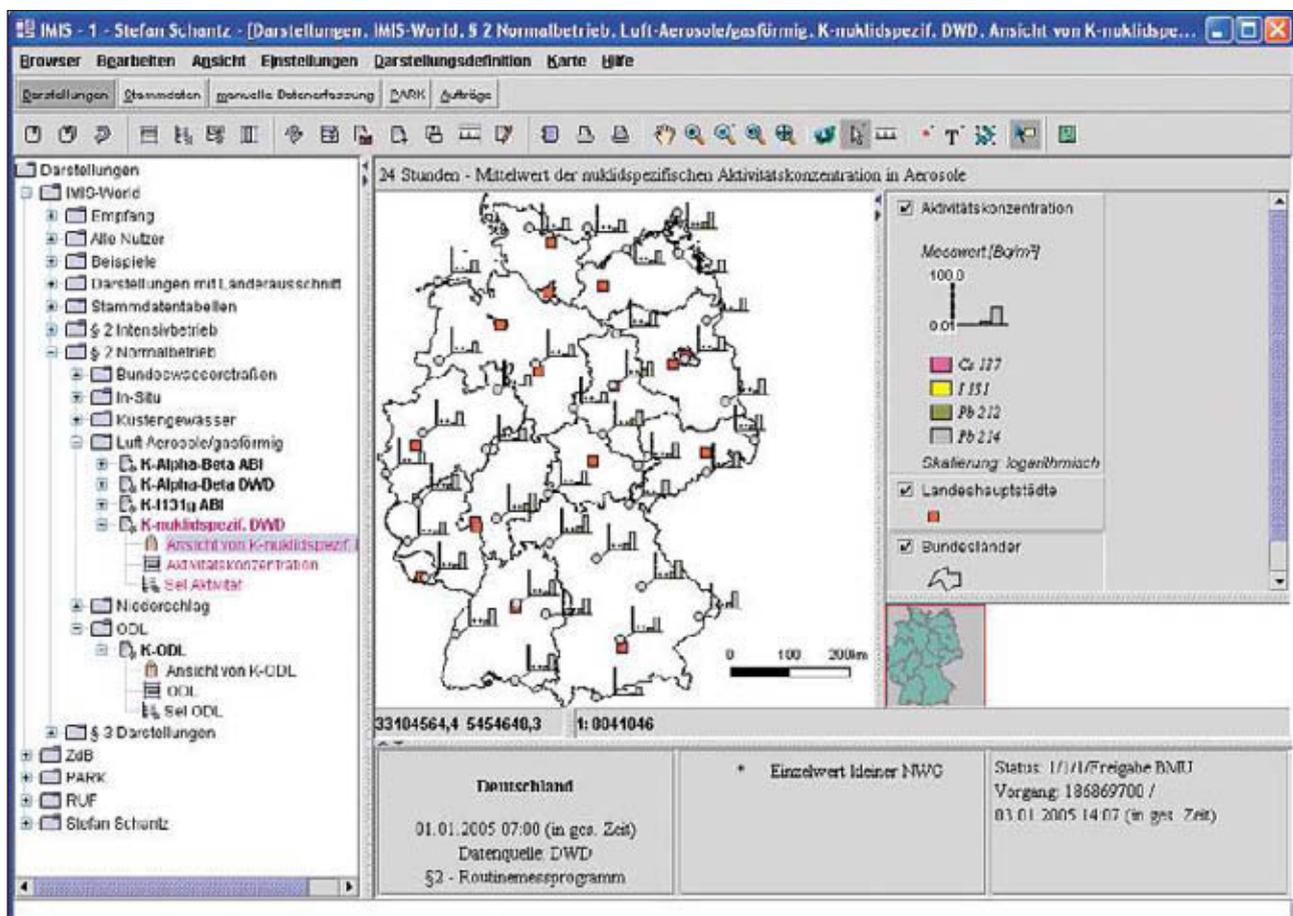
Moderne Softwarewerkzeuge wurden entwickelt, die Funktionalitäten von IMIS erweitert und die Informationsbereitstellung verbessert. Eine durchgängige, intuitive Benutzeroberfläche wurde zur besseren Bedienbarkeit entwickelt, das Antwortzeitverhalten wurde verkürzt.

Diese Neuerungen erlauben eine wesentlich raschere Übermittlung, Prüfung und Auswertung der Messwerte. Der Aufwand für Systembetreuung und Schulungsmaßnahmen konnte deutlich reduziert werden. Um den Einzelanforderungen der beteiligten Behörden mit ihren teilweise sehr unterschiedlichen Aufgaben besser gerecht zu werden, wurde die Flexibilität bei der Auswertung und Aufbereitung von Daten und Dokumenten sehr stark erhöht. Aus der IMIS-Datenbank lassen sich die Ergebnisse in vielfacher Art selektieren und in Form von Karten, Tabellen oder Texten darstellen.

Die Bereitstellung maßnahmenrelevanter Informationen ist weitestgehend automatisiert und standardisiert. Sie können somit sehr schnell und leicht verständlich dargestellt werden (Abb. unten). Die Darstellungen der Messergebnisse, der Dosisberechnungen sowie weiterer Dokumente werden über die elektronische Lagedarstellung (ELAN) allen IMIS-Nutzern online zur Verfügung gestellt. Das neue IMIS ist am 1. April 2005 in Betrieb gegangen.

## Internationaler Datenaustausch

IMIS war ursprünglich als ein nationales Mess- und Informationssystem geplant. Konsequenterweise erfolgte der Austausch von Daten und Dokumenten zunächst nur im nationalen Rahmen zwischen Ein-



Beispiel einer IMIS Darstellung mit Testdaten: Radioaktivitätskonzentration in der Luft

richtungen des Bundes und der Länder. Da eine radioaktive Wolke vor Landesgrenzen nicht Halt macht, ist es nur konsequent, die Notfallvorsorge auch international auszurichten. Ein spezieller Aspekt der Kommunikation ist der Austausch von Messdaten im Routine- und Ereignisbetrieb innerhalb Europas.

Auf Regierungsebene wurde mit der Schweiz, Frankreich, den Niederlanden und Tschechien vereinbart, bei grenznahen Ereignissen umgehend aktuelle Umweltmessdaten auszutauschen. Auf europäischer Ebene werden bereits seit längerer Zeit Messdaten über EURDEP (EU Radiological Data Exchange Platform) zur Verfügung gestellt. Die Staaten des Ostseerates tauschen täglich Ergebnisse der Ortsdosisleistung aus. Ergebnisse der Luftmessungen sollen folgen (s. Abb. unten).

Das BFS arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien an der fachlichen und technischen Realisierung des Datenaustauschs erfolgreich mit und entwickelt sich dabei immer mehr zu einer europaweiten Datendrehscheibe. So wurden in Freiburg die Einrichtungen für den bilateralen Datenaustausch geschaffen. Für den Datenaustausch innerhalb der Ostseeanrainerstaaten wurde ein zentraler Server eingerichtet. Die Installation und der Betrieb eines zur europäischen Datenzentrale in Ispra, Italien, redundanten EURDEP-Servers soll auf Wunsch der EU in Freiburg erfolgen.

Mit dem neuen IMIS steht ein modernes, flexibles und leistungsfähiges System zur Verfügung, um die Radioaktivität der Umwelt routinemäßig zu überwachen und in einem Ereignisfall die radiologische

Lage schnell erfassen und bewerten zu können. Auch mit dem Abschluss der Migration ist die Weiterentwicklung von IMIS noch nicht zu Ende. Es ist Aufgabe des BFS, IMIS mit anderen nationalen und internationalen Systeme immer stärker zu verknüpfen.

## NEUE REGELUNGEN ZUR VERTEILUNG VON KALIUMJODIDTABLETTEN BEI EINEM KERNTÉCHNISCHEN UNFALL

Ansprechpartnerin:

Jacqueline Bieringer (0 18 88/3 33-67 71)

Die Einnahme von hoch dosierten, nicht radioaktiven Kaliumjodidtabletten (Jodtabletten) bei einem kern-technischen Unfall (Ereignisfall) blockiert die Aufnahme radioaktiven Jods in die Schilddrüse (Jodblockade) und dient somit der Verringerung strahleninduzierter Gesundheitsschäden.

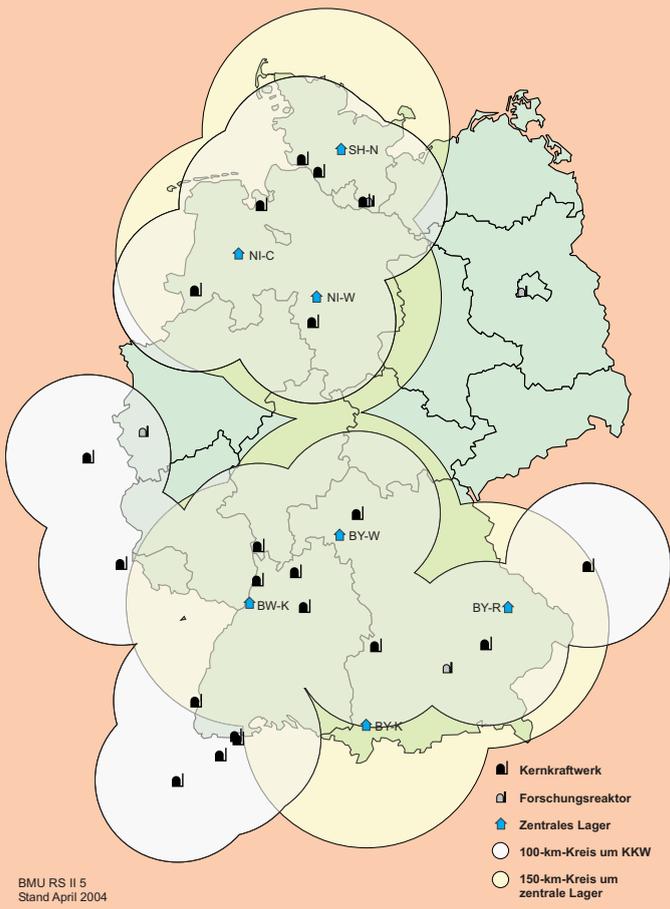
Gemäß der Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK; [www.ssk.de](http://www.ssk.de)) von 1996 und einer ergänzenden Stellungnahme von 2001 wurden die Eingreifrichtwerte für das Ergreifen der Maßnahme zur Jodblockade auf 250 mSv (Schilddrüsendosis) für die Bevölkerungsgruppe 18-45 Jahre und auf 50 mSv (Schilddrüsendosis) für Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre und Schwangere reduziert. Dies hatte zur Konsequenz, dass eine Verteilung von Jodtabletten statt wie bisher bis 25 km zukünftig bis zu 100 km um ein Kernkraftwerk vorzusehen ist. Dadurch wurde eine Neubeschaffung von insgesamt 137 Millionen Jodtabletten erforderlich, die im Laufe des Jahres 2004 ausgeliefert wurden. Die Tabletten für den besonderen Planungsbereich bis 25 km wurden den zuständigen Bundesländern übereignet, die die Tabletten entsprechend der jeweiligen landesspezifischen Planungen an die privaten Haushalte vorverteilen oder dezentral einlagern.

Die Tabletten für die Verteilung außerhalb der 25-km-Zone werden in 7 zentralen Lagern vorgehalten (Abb. Seite 40 oben links). Die ursprünglich vorgesehene Anzahl von 3 zentralen Lagern wurde auf 7 erhöht, da neben dem Lufttransport der Tabletten auch der Straßentransport mit hoher Priorität berücksichtigt werden muss. In der Karte sind sowohl die 100-km-Bereiche um die Kernkraftwerke als auch die für den Straßentransport zu Grunde gelegten 150-km-Planungsbereiche um die zentralen Lager eingezeichnet.

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat gemeinsam mit dem BMU und den Ländern ein Konzept zur Verteilung der Jodtabletten außerhalb des 25-km-Zone



Europaweiter Austausch von Messergebnissen zwischen dem BFS und europäischen Staaten und Institutionen



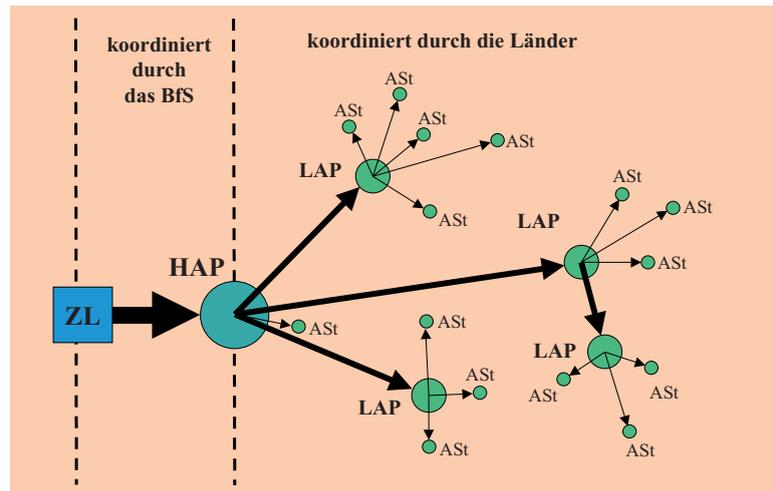
Zentrale Lager für Kaliumjodidtabletten in Deutschland

erstellt und die Koordinierung der Ausgabe und des Transports in einem Ereignisfall übernommen.

In einem Ereignisfall muss die Verteilung der Jodtabletten möglichst schnell und unabhängig von Tageszeit und Witterung durchgeführt werden können, wobei die Zeitspanne zwischen der Entscheidung zur Durchführung der Jodblockade und der Verfügbarkeit der Jodtabletten bei der Zielgruppe höchstens 12 Stunden betragen soll. Diese Randbedingungen machen detaillierte Vorausplanungen erforderlich. Eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des Bundes und der Länder hat einen entsprechenden Vorschlag erarbeitet.

Bei Bedarf werden Jodtabletten von den Ländern über das BfS angefordert. Für die Bereitstellung der Transportkapazitäten sind Kenntnisse über die Größe des zu versorgenden Gebietes und der konkret zu berücksichtigenden Bevölkerungszahlen notwendig. Diese werden von den Ländern ermittelt. Zudem legen die Länder die Anlieferungspunkte und die einzelnen Ausgabestellen (ASt) fest. Nach dem Konzept ist folgende Aufteilung des Transportweges vorgesehen:

- Koordiniert durch das BfS werden die Jodtabletten auf der Straße oder dem Luftweg von den zentralen Lagern zu sog. Hauptanlieferungspunkten (HAP) transportiert.



Transportwege aus den zentralen Lagern zu der Bevölkerung

- Dort werden die Tabletten dem jeweiligen Bundesland übergeben, das den Transport zu den lokalen Anlieferungspunkten (LAP) vornimmt.
- Lokale Kräfte verteilen die Tabletten an die örtlichen Ausgabestellen (ASt), von wo aus sie verteilt bzw. abgeholt werden können.

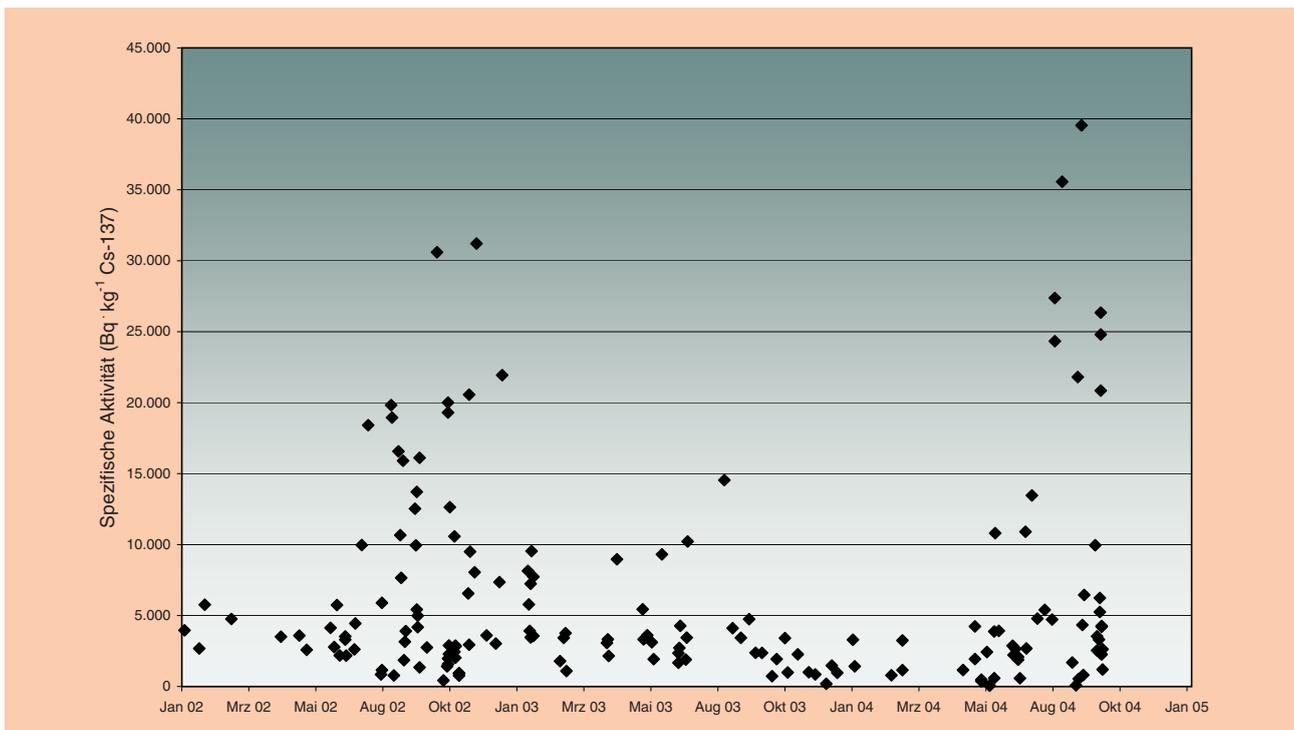
Diese Einsatzplanung dient in einem Ereignisfall der schnellen und effizienten Versorgung der Bevölkerung in den gefährdeten Gebieten, die weiter als 25 km von einem Kernkraftwerk entfernt liegen. Zurzeit befinden sich Bund und Länder noch in der Vorbereitungs- und Planungsphase zur Umsetzung dieses Konzeptes zur Verteilung der Kaliumjodidtabletten außerhalb der 25-km-Zone.

## ANHALTENDE RADIOCÄSIUM-KONTAMINATION VON WILDSCHWEINEN

Ansprechpartner: Martin Steiner (0 18 88/3 33-25 49)

Während in Deutschland Lebensmittel aus landwirtschaftlicher Erzeugung nur gering mit Radiocäsium kontaminiert sind und aus radiologischer Sicht bedenkenlos verzehrt werden können, bewegt sich der Radiocäsiumgehalt von manchen Waldprodukten auch mehr als 18 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl noch immer auf vergleichsweise hohem Niveau. Insbesondere Wildschweine aus den hoch belasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten häufig den Grenzwert von 600 Bq/kg für Radiocäsium und dürfen daher nicht vermarktet werden.

Das Bundesamt für Strahlenschutz initiierte wegen dieser besonderen Situation ein Forschungsvorhaben, um am Beispiel des Bayerischen Waldes die Ursachen für die anhaltend hohe Kontamination von Wildschweinen aufzuklären. Mit einer Bodenkontamination von



Zeitlicher Verlauf der

lokal bis zu 100.000 Bq/m<sup>2</sup> Radiocäsium zählt das Untersuchungsgebiet zu den am höchsten belasteten Regionen Deutschlands. Die Messwerte für Radiocäsium im Muskelfleisch von Wildschweinen bewegten sich im Jahr 2004 etwa zwischen 60 Bq/kg und 40.000 Bq/kg bei einem Mittelwert von etwa 6.800 Bq/kg (Stand Oktober 2004, siehe auch Abb. oben). Im Zeitraum ab Januar 2004 waren nur etwa 15 % der gemessenen Proben geringer als 600 Bq/kg kontaminiert. Ein Fünftel wies Radiocäsiumgehalte von mehr als 10.000 Bq/kg auf. Überschreitungen des Grenzwertes werden auch in weniger belasteten Gebieten Deutschlands beobachtet, wie etwa im Pfälzerwald mit einer Bodenkontamination im Bereich von einigen Tausend Bq/m<sup>2</sup> Radiocäsium. Angaben der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz zufolge, wurden in den Sommermonaten der Jahre 2001 und 2002 in mehr als einem Fünftel der untersuchten Wildschweinproben aus diesem Gebiet mehr als 600 Bq/kg Radiocäsium festgestellt. Der Spitzenwert der letzten Jahre betrug im Pfälzerwald etwa 8.200 Bq/kg.

Radiocäsium wird vom Schwarzwild über das Futter aufgenommen. Wildschweine sind Allesfresser mit einem breiten, sehr unterschiedlich kontaminierten Futterspektrum. Dies erklärt, warum der Radiocäsiumgehalt des Muskelfleisches eine große, für Wildschweine typische Streuung aufweist. Die so genannte Baummast durch Eicheln, Bucheckern, Kastanien usw. ist vergleichsweise niedrig kontaminiert. Gleiches gilt für Futter, das Wildschweine auf landwirtschaftlichen Flächen fressen. Bei größeren, zusammenhängenden Waldgebieten, die die Futtersuche auf landwirtschaftlichen Flächen erschweren, oder in Jahren mit ge-

ringer Baummast ist dagegen mit höheren Kontaminationen des Muskelfleisches zu rechnen.

Hoch kontaminierte tierische und pflanzliche Futterbestandteile werden auch direkt aus dem Waldboden gewählt. Eine besondere Rolle spielen Hirschrüffel, deren unterirdisch wachsende Fruchtkörper als „Delikatesse“ gezielt gefressen werden und um mehr als den Faktor 10 höher kontaminiert sein können als Speisepilze am selben Standort. Der Spitzenwert der letzten Jahre betrug bei Hirschrüffeln etwa 122.000 Bq/kg Radiocäsium. Aus dem Boden gegrabene Hirschrüffel sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Der rechte Fruchtkörper wurde zu Demonstrationszwecken aufgeschnitten und zeigt die dicke, ledrige Rinde und die schwarze Sporenmasse des Pilzes. Anders als die hochbegehrten Speisetrüffel



Ausgegrabene Hirschrüffel auf einer Moosunterlage. Der rechte aufgeschnittene Fruchtkörper zeigt die dicke, ledrige Haut und die schwarze Sporenmasse des Hirschrüffels.

sind Hirschtrüffel für Menschen ungenießbar. Hirschtrüffel wachsen häufig in der Übergangsschicht zwischen dem oberen organischen und dem darunter liegenden mineralischen Waldboden. In dieser Bodenschicht ist als Folge der Tiefenverlagerung von Radiocäsium zunächst mit einer Zunahme der Aktivität zu rechnen. Ob die daraus resultierende zunehmende Kontamination von Hirschtrüffeln die tendenziell ansteigende Kontamination von Schwarzwild erklären kann, wird gegenwärtig kontrovers diskutiert. Die Analyse des Inhalts von 40 Wildschweinemägen im Rahmen des Forschungsvorhabens ergab, dass Hirschtrüffel im Mittel zwar nur mit einem Gewichtsanteil von 6 % zu finden waren, aber wegen ihrer außergewöhnlich hohen spezifischen Aktivität zu etwa drei Viertel des mit dem Futter aufgenommenen Radiocäsiums beitrugen. Auch die Aufnahme von Boden bei der Futtersuche spielt für die Radiocäsiumzufuhr von Wildschweinen eine wichtige Rolle. Sie ist wesentlich bedeutender als die Beiträge anderer Futterkomponenten.



Ein Leckerbissen für Wildschweine sind Hirschtrüffel

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand ist erst dann ein Rückgang des Radiocäsiumgehalts von Wildschweinfleisch zu erwarten, wenn Radiocäsium in tiefere Bodenschichten verlagert wird, die von Hirschtrüffeln nicht mehr erreicht werden.

Wer seine persönliche Strahlenexposition so niedrig wie möglich halten will, sollte daher auch weiterhin auf den Verzehr von Wildschweinfleisch aus höher kontaminierten Gebieten verzichten.

Der Verbraucher muss nicht mit höheren radioaktiven Kontaminationen rechnen, wenn das Fleisch aus dem Handel bezogen wird. Im Gegensatz zu frei lebenden Wildschweinen können Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, aus radiologischer Sicht bedenkenlos verzehrt werden. Solche Zuchttiere weisen nur sehr geringe Kontaminationen auf, die mit denen von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch vergleichbar sind.

## ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN ZUR NATÜRLICHEN STRAHLENEXPOSITION DURCH DIE NAHRUNGS-AUFNAHME

Ansprechpartnerin:

Karin Wichterey (0 18 88/3 33-42 49)

Die natürliche Radioaktivität erlangte in den letzten Jahren erhöhtes wissenschaftliches und öffentliches Interesse, wie Pressemeldungen zum Radiumgehalt in Mineralwässern zeigten. In diesem Zusammenhang gerieten auch natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln ins Blickfeld. Das BfS untersuchte daher die Nahrung aus unterschiedlichen Gebieten Deutschlands, um die natürliche Strahlenexposition durch Nahrungsaufnahme (Ingestion) für die Bevölkerung abschätzen zu können.

Dazu wurde in den Jahren 2001 bis 2003 die Gesamtnahrung untersucht, d.h. die festen und flüssigen Bestandteile aller Tagesmahlzeiten, die aus unterschiedlichen Gemeinschaftseinrichtungen in neun Bundesländern entnommen wurden. In den Nahrungsproben wurden die spezifischen Aktivitäten der langlebigen Radionuklide der natürlichen Uran- und Thoriumzerfallsreihen durch Anwendung spezieller chemischer Verfahren bestimmt.

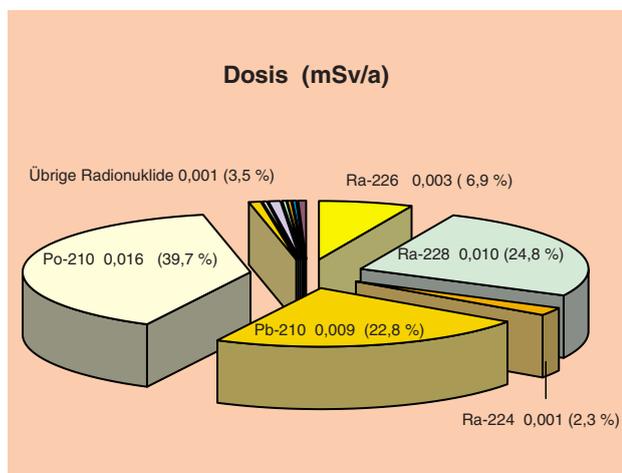
| Radio-nuklid | tägliche Gesamtnahrung |            |                |             |
|--------------|------------------------|------------|----------------|-------------|
|              | für Kleinstkinder      |            | für Erwachsene |             |
|              | Mittelwert             | Spannweite | Mittelwert     | Spannweite  |
| Uran-238     | 7,1                    | 4,9-10     | 8,5            | 1,2 - 20    |
| Uran-234     | 8,2                    |            | 12             | 3,9 - 36    |
| Thorium-230  | 3,2                    | <1,3 - 4   | 1,0            | <0,8 - 4    |
| Radium-226   | 22                     | 8,8-32     | 21             | <6,0 - 42   |
| Blei-210     | 34                     | 17-69      | 28             | 10 - 115    |
| Thorium-232  | 1,4                    |            |                | <0,7 - <3,9 |
| Radium-228   | 20                     | <13 - 31   | 32             | <16 - 69    |
| Thorium-228  | 8,4                    |            | 9,0            | 7,1 - 13    |

Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in der Gesamtnahrung (in mBq/kg FM)

Nahrungsmittel aus der Bundesrepublik Deutschland weisen meist sehr niedrige spezifische Aktivitäten langlebiger Radionuklide der Zerfallsreihen von Uran und Thorium auf. In der Tabelle oben sind die Ergebnisse der BfS-Untersuchungen in Proben von Gesamtnahrung für Erwachsene und Kleinstkindernahrung dargestellt. Die nuklidspezifischen Mittelwerte lagen zwischen 1 und 34 mBq/kg Frischmasse (FM). Die höchsten spezifischen Aktivitäten wurden für Blei-210, Radium-228 und Radium-226 ermittelt. Für Thorium-232 und Thorium-230 sind äußerst niedrige Werte in Nahrungsmitteln zu finden. Die untersuchten Nah-

rungsmittel wiesen im Mittel spezifische Aktivitäten unter 3 mBq/kg FM auf. Meist wurden Werte im Bereich der messtechnischen Nachweisgrenzen ermittelt. Bedeutsame Unterschiede bei den Ergebnissen sind weder zwischen der Gesamtnahrung für Erwachsene und für Kinder noch zwischen der aus den einzelnen Bundesländern erkennbar.

Die mit den Nahrungsmitteln jährlich aufgenommene Aktivität wurde unter Verwendung von Standardannahmen aus den ermittelten spezifischen Aktivitäten in der Gesamtnahrung errechnet. In der folgenden Grafik ist der Anteil der einzelnen Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen an der Ingestionsdosis für Erwachsene dargestellt. Wie daraus zu entnehmen ist, stammen fast 97 % der Dosis aus der Aufnahme von Polonium-210, Radium-228, Blei-210 und Radium-226. Demgegenüber sind die Thoriumisotope und die Radionuklide der Uran-235-Reihe nahezu ohne Bedeutung. Bei künftigen Untersuchungen kann man sich daher auf die wesentlichen Radionuklide beschränken. Diese Erkenntnis ist bei der Prüfung von Einzelstandorten, wie z. B. Bergbaugebieten, die durch menschliches Eingreifen verursachte zusätzliche Kontaminationen mit diesen Radionukliden aufweisen, von Bedeutung.



Jährliche Strahlenexposition Erwachsener durch natürliche Radionuklide in der Nahrung

Insgesamt ergibt sich daraus ein altersgewichteter Mittelwert von 0,1 mSv/a für Deutschland. Dieser Wert ist wegen entwicklungsbedingter Wachstumsprozesse bei Kleinstkindern (0,2 mSv/a) und Jugendlichen (0,16 mSv/a) höher und bei Erwachsenen (0,04 mSv/a) niedriger (s. Abb. oben). Bei Einbeziehung des Beitrages von Kalium-40, welches den Hauptanteil in Höhe von 0,17 mSv/a liefert, beträgt die durch terrestrische Radionuklide verursachte Strahlenexposition der Bevölkerung durch Ingestion etwa 0,27 mSv/a. Das ist ein relativ geringer Beitrag von ca. 12 % an der gesamten Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen, wenn man den

Mittelwert von 2,1 mSv/a für die gesamte natürliche Strahlenexposition in Deutschland zugrunde legt. Bei der natürlichen Strahlenexposition durch Ingestion handelt es sich um eine geogen verursachte Gegebenheit, die sich nur geringfügig regional unterscheidet, in ihrem Niveau aber weitgehend unveränderlich ist. Sie kann daher nicht verringert werden. Im Vergleich dazu liefern die wesentlichen künstlichen Radionuklide Cäsium und Strontium derzeit in Deutschland im Mittel einen Ingestionsbeitrag von 0,002 mSv/a.

## DIE ERMITTLUNG DER KÖRPERDOSIS BEI INNERER STRAHLENEXPOSITION

Ansprechpartner:

Andreas Dalheimer (0 18 88/3 33-45 40)

Karl König (0 18 88/3 33-24 30)

Für den Umgang mit Quellen ionisierender Strahlung sind in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) Grenzwerte für die Strahlendosis für die jeweilige Person festgelegt. Für beruflich strahlenexponierte Beschäftigte beträgt dieser Wert 20 mSv im Jahr für die effektive Dosis (Dosis des Ganzkörpers). Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen kann sich die Körperdosis je nach den Arbeitsbedingungen, der chemischen Form des eingesetzten Stoffes und der Art der Radionuklide aus Anteilen der äußeren (z. B. Gamma-Strahler) oder/und der inneren Strahlenexpositionen (z. B. Alpha-Strahler) zusammensetzen. Eine innere Exposition tritt immer dann auf, wenn Radionuklide in den Körper gelangt sind, man spricht dann von einer Inkorporation. Die durch Inhalation (über die Lunge) oder Ingestion (über Mund bzw. den Magen-Darm-Trakt) zugeführte Aktivität darf nicht zu einer Überschreitung der Dosisgrenzwerte (effektive Dosis bzw. Organdosis) der StrlSchV führen. Das heißt, diese Grenzwerte dürfen nicht von der Summe der Beiträge aus innerer und äußerer Strahlenexposition überschritten werden.

### Durchführung der Inkorporationsüberwachung

In der StrlSchV wird die Überwachung auf Inkorporationen im Rahmen der physikalischen Strahlenschutzkontrolle geregelt. Die für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition üblichen Überwachungsverfahren zur Bestimmung der zugeführten Aktivität sind:

- In-vivo-Verfahren: Bestimmung der Aktivität im Körper oder in den Organen,
- In-vitro-Verfahren: Bestimmung der Aktivität in den Ausscheidungen,
- Raumluft-Messungen: Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft am Arbeitsplatz.

Die beiden ersten Verfahren werden dabei von Messstellen, die für die Inkorporationsüberwachung zuständig sind, durchgeführt. Diese Messstellen werden von den jeweils zuständigen Landesbehörden behördlich bestimmt, sind also amtlich anerkannt. Das dritte Verfahren findet immer dann Anwendung, wenn die beiden erstgenannten Verfahren nicht geeignet sind, weil sie z. B. zu unempfindlich sind oder weil das zu überwachende Radionuklid zu kurzlebig ist. Verantwortlich ist in diesem Fall der Strahlenschutzverantwortliche des Betriebes bzw. der Strahlenschutzbeauftragte vor Ort.

Die praktische Durchführung der physikalischen Strahlenschutzkontrolle ist in einer Richtlinie (Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis [§§ 62, 63, 63 a StrlSchV; §§ 35, 35 a RöV], GMBI 1994 Nr. 7 S. 286) zur Inkorporationsüberwachung geregelt. In dieser Richtlinie ist u.a. für jedes Radionuklid und seine verschiedenen chemischen Verbindungen festgelegt, mit welchem Überwachungsverfahren (Ganzkörpermessung, Urin usw.) es in welchen Zeitabständen (Überwachungsintervallen) zu überwachen ist (nuklidspezifisches Überwachungsprogramm).

Die Aufgabe der Inkorporationsüberwachung ist es, retrospektiv (rückwirkend) festzustellen, ob von den in einem Strahlenschutzbereich Beschäftigten radioaktive Stoffe inkorporiert worden sind. Anhand der Überwachungsdaten wird daraus die Aktivitätszufuhr (das ist die im Überwachungszeitraum von der Person aufgenommene Menge radioaktiver Stoffe) und daraus die resultierende Körperdosis ermittelt. Das bedeutet, dass die Inkorporationsüberwachung auf der Basis von Messungen zur retrospektiven Ermittlung einer Strahlenexposition dient und nicht dazu, vorbeugende Strahlenschutzaufgaben zu erfüllen, wie z. B. die Optimierung von Strahlenschutzmaßnahmen.

Das Ziel der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung ist es, in Deutschland eine einheitliche und konsistente Vorgehensweise für die Ermittlung der Körperdosis zu etablieren. Es soll damit gewährleistet werden, dass

- eindeutige Kriterien für das Erfordernis (also ab wann eine Überwachung erforderlich ist) und für die Durchführung einer Inkorporationsüberwachung festgelegt sind,
- zuverlässige Berechnungen von Aktivitätszufuhr und Dosis sichergestellt sind,
- diese Berechnungen soweit wie möglich standardisiert sind und
- erforderliche Qualitätssicherungsmaßnahmen (Eigenkontrollen, Ringversuche usw.) garantiert werden.

Dazu werden in der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung folgende Punkte geregelt:

- Festlegung der überwachungspflichtigen Personen.
- Feststellung des Erfordernisses einer Überwachung für die Ermittlung einer personenbezogenen Körperdosis. Das Erfordernis gilt sowohl für eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung als auch für eine Überwachung aus besonderem Anlass. Die regelmäßige Überwachung wird bei einem konstanten, aber zeitlich nicht eingrenzba- ren Inkorporationsrisiko angewendet. Die Überwachung aus besonderem Anlass wird bei einem zeitlich eng begrenzten Umgang mit radioaktiven Stoffen durchgeführt sowie bei einem außergewöhnlichen Ereignis, wie z. B. einem Unfall.
- Organisation der Überwachung. Mit dem angewendeten Überwachungsverfahren (in-vivo, in-vitro, Raumluft) muss auch unter ungünstigen Bedingungen eine Aktivitätszufuhr, die einer effektiven Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr entspricht, zu erkennen sein. Dabei haben im Wesentlichen drei Faktoren einen Einfluss auf das anzuwendende Überwachungsverfahren sowie auf die Häufigkeit der Überwachung (also der Messungen):
  1. die physikalischen Eigenschaften der Radionuklide (Zerfallsart, Halbwertszeit usw.),
  2. die Biokinetik der chemischen Verbindung bzw. der Stoffklasse des inkorporierten Radionuklids (Verteilung und Verweildauer des Radionuklids im Körper usw.) und
  3. die Empfindlichkeit der verwendeten Messapparatur (z. B. Nachweis- und Erkennungsgrenze).

Im Anhang zur Richtlinie sind für etwa 90 Radioisotope und ihre verschiedenen chemischen Verbindungen bzw. Stoffklassen die anzuwendenden Überwachungsverfahren und die Häufigkeit der Messungen angegeben.

Die Inkorporationsmessstellen haben aufgrund ihrer verantwortungsvollen Aufgabe der Inkorporationsüberwachung einschließlich der Ermittlung von Aktivitätszufuhr und Dosis erhebliche Anforderungen hinsichtlich ihrer Ausstattung (personell, technisch und räumlich), des wissenschaftlichen Kenntnisstandes und der Sicherstellung der Qualität zu erfüllen.

In der o. a. Richtlinie werden dazu die entsprechenden Anforderungen definiert. In ihr werden neben den Aufgaben einer Messstelle u. a. auch die Anforderungen an die Analysen- und Messverfahren, an die Qualitätssicherung sowie an die Ausstattung geregelt. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Qualitätssicherung sowohl im Rahmen von routinemäßigen Eigenkontrollen (im Labor) als auch der jährlichen Teilnahme an Ringversuchen. Diese werden von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS durchgeführt. Diese Anforderungen gewährleis-

ten damit auch eine zuverlässige Mitteilung von vergleichbaren Dosiswerten aus der Inkorporationsüberwachung an das Strahlenschutzregister des BfS.

### Qualitätssicherung bei der Inkorporationsüberwachung

Eine der wichtigsten Aufgaben der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS ist die Unterstützung der behördlich bestimmten Messstellen bei der Qualitätssicherung auf allen Schritten hin zur Ermittlung der inneren Dosis. Das bedeutet, dass die Leitstelle insbesondere für die regelmäßige Durchführung von sog. Ringversuchen bei den In-vivo-Messstellen (Ganzkörper- und Teilkörperzähler) und den In-vitro-Messstellen (Ausscheidungsanalytik) Sorge zu tragen hat. Diese Ringversuche bestehen dabei im Allgemeinen aus zwei Teilen, einem praktischen Teil, in dem die Aktivität in einem Phantom oder die Aktivitätskonzentration in einer Ausscheidungsprobe zu bestimmen ist, und einem theoretischen Teil, der so genannten Fallbeschreibung, in der anhand von vorgegebenen Überwachungsdaten aus einem fiktiven Fall die innere Dosis zu berechnen ist.

Nach § 41 Abs. 8 StrlSchV haben die behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen an diesen Ringversuchen teilzunehmen. Die Abbildung unten gibt einen Überblick über die Verteilung dieser amtlich anerkannten In-vitro- (12) und In-vivo-Messstellen (22) in Deutschland. Diese räumliche Verteilung der Mess-

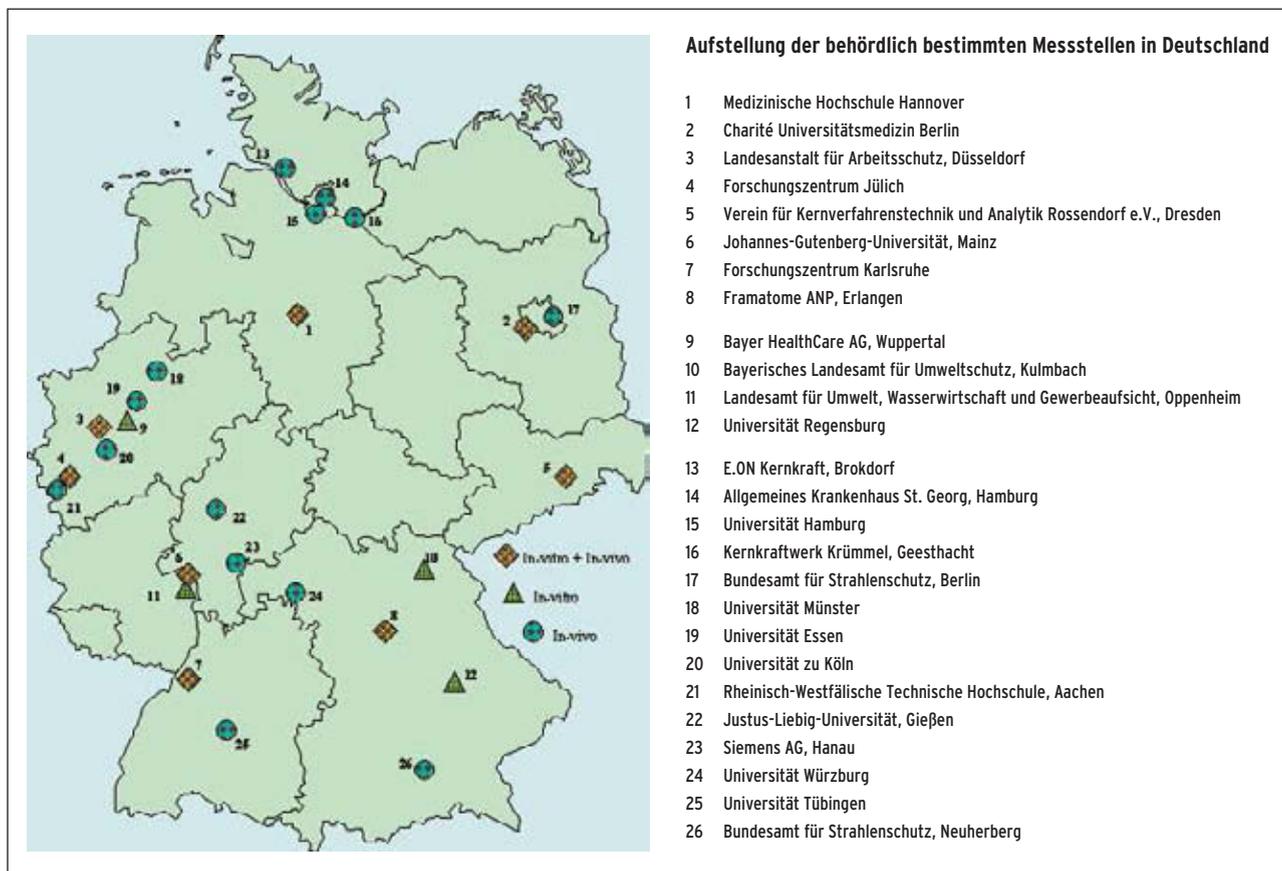
stellen gewährleistet damit auch für die Anwender radioaktiver Stoffe sowie für die Bevölkerung eine schnelle Erreichbarkeit, z. B. im Falle einer Unfallsituation.

An den Ringversuchen der Leitstelle können neben den amtlichen Inkorporationsmessstellen auch nicht-amtliche und ausländische Messstellen teilnehmen.

### In-vitro-Ringversuche

Seit 1997 werden von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS regelmäßig In-vitro-Ringversuche in Deutschland durchgeführt. An diesen Ringversuchen nehmen neben deutschen Inkorporationsmessstellen auch Messstellen aus dem Ausland teil, so z. B. aus Belgien, Brasilien, Österreich, Schweiz und Spanien. In den letzten Jahren wurden Ringversuche zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration (Aktivität pro Liter) von H-3 (1997), C-14 und Th-nat (1998), Am-241 und Sr-90 (1999), Pu-240 (2000), S-35 (2001), Pu/Am (2002), Th-nat und U-nat (2003) sowie C-14 (2004) in Urin durchgeführt.

Der Bewertung werden so genannte Akzeptanzkriterien zu Grunde gelegt, nach denen die relative Abweichung der vom Labor ermittelten Werte vom Referenzwert zwischen -25 % (Unterschätzung) und +50 % (Überschätzung) liegen und die relative Streuung der im Labor gemessenen Einzelwerte zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration dabei 40 % nicht überschreiten darf.



Behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen in Deutschland

Generell lässt sich zu den seit dem Inkrafttreten der Richtlinie über Anforderungen an Inkorporationsmessstellen durchgeführten In-vitro-Ringversuchen feststellen, dass die überwiegende Mehrzahl der Ringversuchsergebnisse der Inkorporationsmessstellen innerhalb der oben aufgeführten Akzeptanzkriterien lag. Für die außerhalb dieser Kriterien liegenden Ergebnisse konnten, in Absprache mit der jeweiligen Messstelle, die Ursachen dafür geklärt werden. So konnte z. B. für die Überwachung des Radionuklids Uran seit 1986 eine Abnahme der Zahl der „Ausreißer“ festgestellt werden. Das heißt, die Zuverlässigkeit der von den behördlich bestimmten Messstellen gelieferten Ergebnisse der Analysen- und Messverfahren hat seitdem eindeutig zugenommen. Das ist natürlich auch auf die Weiterentwicklung der Analysen- und Messverfahren zurückzuführen.



Ziegelphantom „Olga“ in der Inkorporationsmessstelle der MH Hannover

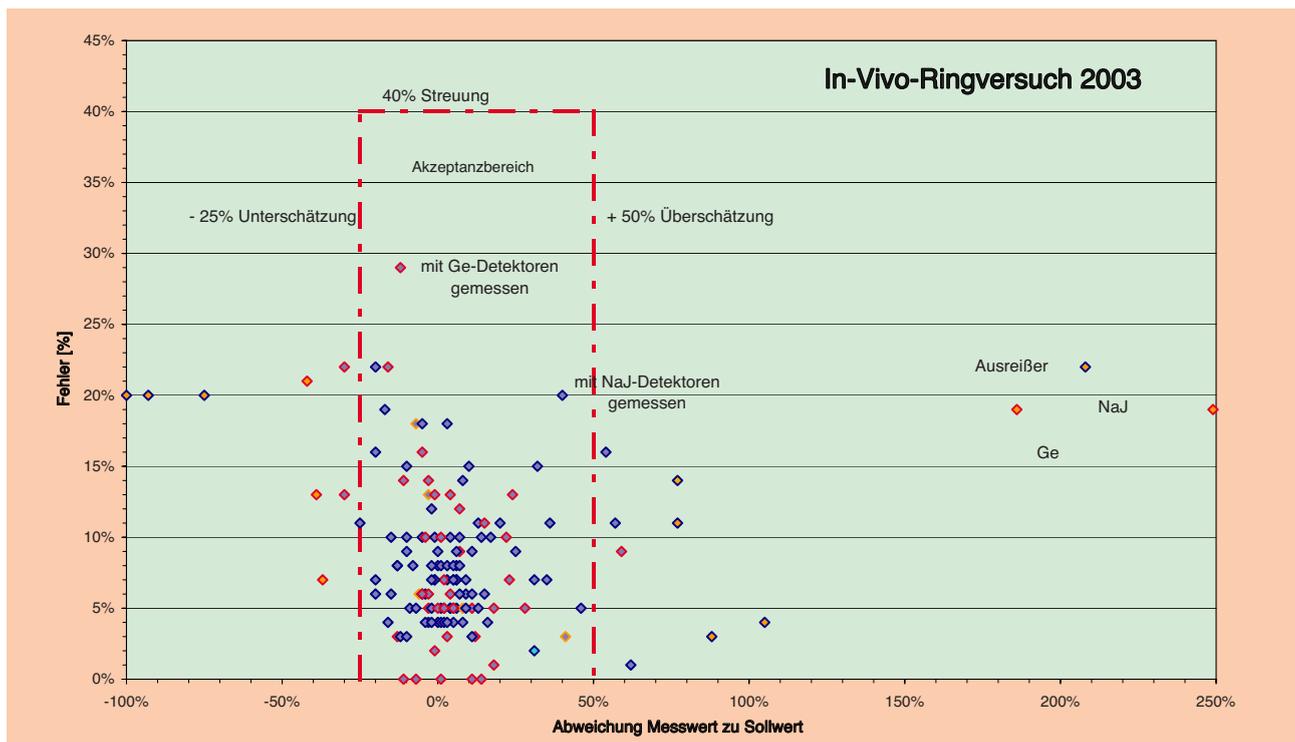
Zur Sicherstellung der gleichen Qualität von Routine-messungen ist es aber auch erforderlich, Eigenkontrollen in Form von häufigeren Kontrollanalysen, die dabei nach Möglichkeit zufällig und anonym „eingeschleust“ werden sollten, unter Routinebedingungen durchzuführen.

### In-vivo-Ringversuche

Als Beispiel für einen In-vivo-Ringversuch wird der von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BFS im November/Dezember 2003 durchgeführte Ringversuch für In-vivo-Messstellen dargestellt, an dem 21 Ganzkörper- und 7 Teilkörperzähler-Messanlagen in Deutschland teilnahmen. Dabei hatten die Messstellen die nuklidspezifischen Aktivitätswerte

- eines Ziegel-Ganzkörperphantoms mit 70 kg Masse (siehe Abb. oben), das die Radionuklide K-40, Co-60, Ba-133 und Cs-137 enthielt,
- von zwei Ziegel-Teilkörperphantomen mit je 20 kg (das eine als Teil des o.a. Ganzkörperphantoms, das andere als zusätzliches Teilkörperphantom mit den Radionukliden K-40, Co-60 und Cs-137 und höheren Aktivitätswerten) sowie
- die natürliche Körperaktivität der Begleitperson zu ermitteln.

Die Ergebnisse dieses In-vivo-Ringversuchs sind für alle teilnehmenden Messstellen in der Abbildung unten dargestellt. Auf der horizontalen Achse sind die relativen Abweichungen aller einzelnen Messwerte vom Sollwert und auf der senkrechten Achse die



Ergebnisse des In-vivo-Ringversuchs 2003

dazu gehörigen Messfehler (zählstatistische Unsicherheit) aufgetragen. Für die Bewertung der Ergebnisse gelten auch hier die bereits vorher erwähnten Akzeptanzkriterien aus der Anforderungsrichtlinie. Wie in der Abbildung zu sehen ist, liegen fast 90 % der Messwerte im Akzeptanzbereich.

Gegenüber früheren Ringversuchen hat sich die Qualität der In-vivo-Messverfahren bei den teilnehmenden Messstellen weiter verbessert, was natürlich auch auf die fortschreitende technische Weiterentwicklung zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse der von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS durchgeführten In-vivo- und In-vitro-Ringversuche zeigen, dass die Inkorporationsüberwachung von den behördlich bestimmten Messstellen in Deutschland auf einem hohen Niveau durchgeführt wird. Die Ringversuche der Leitstelle leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung hinsichtlich der angewandten Überwachungsverfahren sowie bei der Berechnung der inneren Dosis.

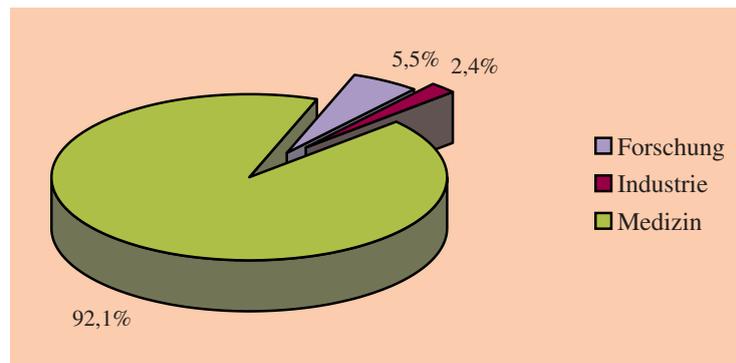
## SCHUTZ DES UNGEBORENEN LEBENS VOR DEN GEFAHREN IONISIERENDER STRAHLUNG

Ansprechpartnerin:

Renate Czarwinski (0 18 88/3 33-45 10)

Die Strahlenschutzverordnung und die Röntgenverordnung ermöglichen schwangeren Arbeitnehmerinnen den Zutritt zu Kontrollbereichen. Ziel dieser gesellschaftspolitisch innovativen, aber immer noch umstrittenen Regelung ist es, das Recht von Arbeitnehmerinnen auf berufliche Chancengleichheit angemessen zu berücksichtigen. Dabei wird der Schutz des ungeborenen Lebens bei beruflich strahlenexponierten Frauen keinesfalls vernachlässigt. Ein differenziertes Schutzkonzept anstatt striktem Zutrittsverbot zu Kontrollbereichen beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung führt dazu, dass schwangere Frauen auch an solchen Arbeitsplätzen arbeiten können und für die Frau damit hochwertige Arbeitsfelder erhalten bleiben. In einem Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Umsetzung des Gender Mainstreaming Ansatzes, der auf die Geschlechtergerechtigkeit abzielt, wurde festgestellt, dass die Neuregelung der StrlSchV eine verbesserte Gleichstellung der Geschlechter bedeutet.

Diese Bewertung basiert u. a. auf der Abwägung von Einzelaspekten, wie z. B. der Verbesserung von Chancen zur beruflichen Aus- und Weiterbildung, Stär-



Anteil strahlenexponierter Frauen in Betriebskategorien

kung von Eigenverantwortung und Mitbestimmung im Modell einer geteilten Verantwortung zwischen Arbeitgeber/in und Arbeitnehmer/in. Auch die Einrichtung spezieller Schwangerenarbeitsplätze und einer damit verbundenen höheren Bereitschaft des Arbeitgebers/in zur Einstellung gebärfähiger Frauen ist in die Bewertung einbezogen worden.

Dieses Votum bedeutet aber auch, dass eine Reihe von Präzisierungen, den Schutz gebärfähiger und schwangerer Frauen betreffend, vorwiegend im untergesetzlichen Regelwerk bzw. in Betriebsvereinbarungen vorgenommen werden müssen, z. B. über Fortbildung der Strahlenschutzbeauftragten zu diesem Thema und auch über Aufklärung, Fortbildung und Information der Arbeitnehmerin über die Gefährdung beim Umgang mit ionisierender Strahlung. Auszuschließen ist ein Missbrauch der Kontrollbereichsregelung in der StrlSchV. Aus der Fürsorgepflicht des Arbeitgebers/in ergibt sich, dass im Einzelfall einer schwangeren Arbeitnehmerin das Recht zugestanden werden muss, die Arbeit im Kontrollbereich auch bei Unterschreiten der Grenzwerte zu verweigern. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, die die Herabsetzung der gesetzlichen Grenzwerte erforderlich machen. Dabei sind bereits Hinweise/Warnungen zuständiger Strahlenschutzbehörden auf einen solchen Sachstand durch den Arbeitgeber/in in seiner Entscheidung zu berücksichtigen.

Laut Strahlenschutzregister des BfS sind in der Bundesrepublik Deutschland 125.000 Frauen im Alter unter 45 Jahren beruflich strahlenexponiert. Die Abbildung oben verdeutlicht, dass der überwiegende Anteil der strahlenexponierten Arbeitnehmerinnen im medizinischen Bereich tätig ist. Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen haben 11 % aller beruflich strahlenexponierten Frauen.

Für den Schutz des ungeborenen Lebens wurde in der StrlSchV ein Wert von 1 mSv effektiver Dosis, resultierend aus innerer und äußerer Exposition, ab Mitteilung der Schwangerschaft bis zu deren Ende festgelegt. Im Gegensatz zu einer schwangeren Arbeitneh-

merin, für die der Ausschluss einer Inkorporation radioaktiver Stoffe gesetzlich gegeben ist, besteht für eine gebärfähige Frau die Möglichkeit, als beruflich strahlenexponierte Person radioaktive Stoffe zu inkorporieren, wodurch es zu einer Depotbildung der Radionuklide im menschlichen Körper kommen kann. Diese Depotbildung muss für den Schutz des ungeborenen Lebens angemessen berücksichtigt werden.

Unter Annahme folgender konservativer Szenarien wurde vom BfS die effektive Folgedosis für den Fötus mit Hilfe der Stoffwechselmodelle der ICRP berechnet:

- Chronische Exposition der Frau durch kontinuierliche Aktivitätszufuhr über 10 Jahre vor der Schwangerschaft und in den ersten 10 Wochen der Schwangerschaft auf der Basis der in der StrlSchV festgelegten Grenzwerte.
- Exposition durch Einmalzufuhr zum ungünstigsten Zeitpunkt in den ersten 10 Schwangerschaftswochen auf der Basis der in der StrlSchV festgelegten Grenzwerte.

Im Ergebnis dieser Berechnungen musste festgestellt werden, dass es bei einigen Radionukliden schon bei deutlich niedrigeren Expositionen der gebärfähigen Frau unterhalb des gesetzlich festgelegten Grenzwertes für strahlenexponierte Personen von 20 mSv/a zu einer Grenzwertüberschreitung des Fötus (>1 mSv) kommen kann. Beim Einsatz entsprechend optimierter Verfahren der Inkorporationsüberwachung lassen sich aber Situationen erkennen, die zu einer solchen Grenzwertüberschreitung führen könnten, so dass durch gezielte vorbeugende Maßnahmen am jeweiligen Arbeitsplatz der Schutz des Ungeborenen sichergestellt werden kann.

Bei der chronischen Zufuhr radioaktiver Stoffe stellen sich nach eingehender Prüfung nur die Nickelisotope Ni-59 und Ni-63 als Problem für den praktischen Strahlenschutz dar. Der Nachweis dieser Isotope bereitet bereits ohne Berücksichtigung des Grenzwertes für das Ungeborene messtechnische Schwierigkeiten. Für die Nickelisotope Ni-59 und Ni-63 ist der Schutz der gebärfähigen Frau und damit der Schutz des Ungeborenen über die Arbeitsplatzüberwachung abzuschern, da sich eine Inkorporation von Ni-59 und Ni-63 im Bereich der Dosischwelle nicht mittels der routinemäßigen Inkorporationsanalyse nachweisen lässt.

Im Zeitraum von 1980 bis 2004 wurden dem Strahlenschutzregister 228 beruflich strahlenexponierte Personen (2/3 Männer, 1/3 Frauen) gemeldet, die

Umgang mit Ni-63 hatten. Der Schwerpunkt der Beschäftigung liegt hierbei in der Forschung, Entwicklung und Lehre im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich. Diese Zahlen sind allerdings nicht vollständig, sie spiegeln aber die Größenordnung der Anwendung von Nickelisotopen in der Praxis wider.

Die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen beginnt bei einer effektiven Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr. Dieser Wert ist auch unter ungünstigen Bedingungen zuverlässig nachzuweisen.

Besteht ein Inkorporationsrisiko durch Anwendung offener radioaktiver Stoffe, so ist eine Inkorporationsüberwachung durchzuführen. Diese Verfahrensweise ist gängige Praxis und wird in der Richtlinie für Inkorporationsüberwachung (RiPhyKo innere; zurzeit im Entwurf) festgelegt.

Generell ist für die in der Richtlinie konzipierte Inkorporationsüberwachung zu sagen, dass diese nicht a priori die Einhaltung von Grenzwerten sicherstellen kann, sondern nur im Nachhinein die tatsächlichen Dosiswerte ermittelt und diese in Relation zu den Grenzwerten setzen kann. Jedoch kann mit dieser Überwachung frühzeitig eine als kritisch zu betrachtende Einmalzufuhr erkannt und es können entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Vom BfS wurden für den Schutz des ungeborenen Lebens optimierte Dosissschwellen für die Inkorporationsüberwachung der gebärfähigen Frau ermittelt, die in den Entwurf der RiPhyKo innere aufgenommen wurden. Bei Erreichen der Dosissschwellen muss eine Berechnung der fiktiven effektiven Folgedosis des Ungeborenen unter Einbeziehung früherer festgestellter Aktivitätszufuhren erfolgen. Diese Berechnung ist nach den Vorgaben der StrlSchV von der Messstelle durchzuführen. Für die Berechnung müssen verbindliche Regelungen getroffen werden. Ist eine Schwangerschaft mitgeteilt, hat unverzüglich eine Inkorporationsmessung zu erfolgen, um abzuschätzen, ob die effektive Folgedosis für das Ungeborene den Grenzwert übersteigen kann.

Hohe Priorität hat die nach Feststellung einer fiktiven Überschreitung der Dosis für das ungeborene Leben zu treffende Entscheidung über die weitere Beschäftigung der Frau. Die im Arbeitsschutzrecht oder Mutterschutzrecht bereits geregelten Schutzvorschriften bzw. Schutzmechanismen sind bei der Lösungsfindung angemessen zu berücksichtigen.

## MÖGLICHKEITEN DER INDIVIDUELLEN RETROSPEKTIVEN DOSIMETRIE MITTELS CHIPKARTEN

Ansprechpartnerin: Lydia Heide (0 18 88/3 33-23 42)

Im Falle eines außergewöhnlichen radiologischen Ereignisses, wie z. B. einem Strahlenunfall mit äußerer Exposition, ist es im Rahmen des medizinischen Notfallschutzes notwendig, nachträglich (retrospektiv) die Strahlendosis von betroffenen Einzelpersonen oder größeren Bevölkerungsgruppen zu rekonstruieren, um eine optimale Versorgung zu gewährleisten. Da im Alltag jedoch keine – wie bei der beruflichen Strahlenschutzüberwachung üblich – Personendosimeter (Stabdosimeter, FilmDOSimeter bzw. Thermolumineszenzdosimeter) getragen werden, müssen andere Methoden und Materialien für eine individuelle Dosisrekonstruktion angewendet werden. Hierbei finden zwei Methoden praktische Anwendung, zum einen die biologische Dosimetrie mit der Chromosomenanalyse von Lymphozyten des Blutes, zum anderen physikalische Methoden der Dosisrekonstruktion an Umgebungsmaterialien. Zur individuellen Dosisbestimmung sollten dies Materialien sein, die von Einzelpersonen körpfernah getragen werden und die über die entsprechenden dosimetrischen Eigenschaften verfügen.

Mit festkörperphysikalischen Techniken ist es möglich, schon geringe Strahlenwirkungen in Mineralien wie Quarz und Feldspat nachzuweisen. Zu den hierfür verwendeten Techniken zählen die Methoden der Lumineszenzmessung. Sie beruhen auf der dosisabhängigen Akkumulation von Strahlenschäden in Mineralien. Die Anzahl der im Kristallgitter der Mineralien erzeugten Strahlenschäden ist ein Maß für die aus der ionisierenden Strahlung absorbierte Energie. Durch thermische oder optische Stimulation (Erhitzen oder Belichten) kann die absorbierte Energie als Lichtemission (Lumineszenz) wieder freigesetzt werden. Die Intensität dieser Leuchterscheinung ist proportional der absorbierten Energie und somit ein Maß für die akkumulierte Strahlendosis (Einheit: Gray (Gy) = J/kg). Das Leuchten der Stoffe kann dabei sowohl von der absorbierten Energiedosis aus den natürlichen Radionukliden des Bodens (Uran, Thorium, Kalium-40), der Höhenstrahlung oder aus künstlichen Quellen (Fallout, Röntgenstrahlung) stammen. Je nach Ausheiztemperatur bzw. Belichtungszeit kann das Lumineszenzsignal gelöscht, also auf „Null“ gesetzt werden. Ist der Zeitpunkt der „Nullsetzung“, z. B. während des Herstellungsprozesses bekannt, kann der natürliche Beitrag der Strahlendosis aus der Dosisleistung der Umgebung berechnet und von der gemessenen gesamten akkumulierten Dosis im Untersuchungsmaterial

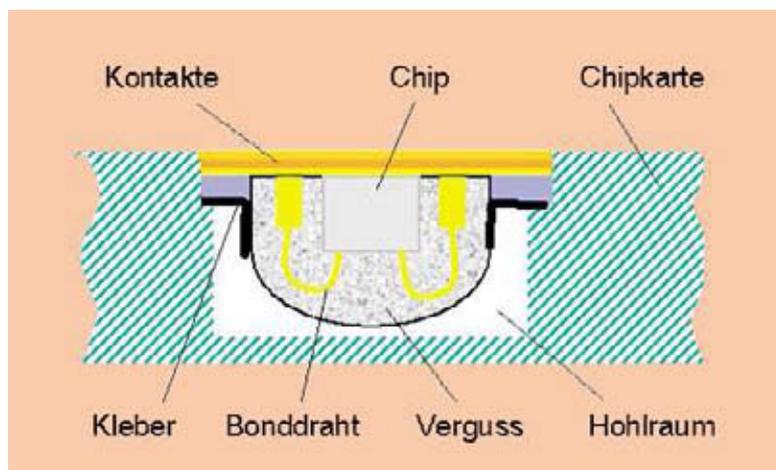
subtrahiert werden. Die Differenz aus den beiden Dosen entspricht der Unfalldosis.

Im Zeitalter der Informationstechnik trägt heute nahezu jede/jeder Chipkarten wie Telefonkarten, Krankenkassenkarten, Bankkarten für den bargeldlosen Zahlungsverkehr oder SIM-Karten in Handys mit sich. Diese sind potenzielle Personendosimeter!



Verschiedene Chipkarten als potenzielle Personendosimeter für die retrospektive Dosimetrie

Dass die oben beschriebene Technik für die Dosisrekonstruktion unter Verwendung von Chipkarten genutzt werden kann, beruht auf der Tatsache, dass einige Komponenten der Chipmodule, z. B. die Vergussmassen, ebenfalls Mineralien enthalten, die während des Herstellungsprozesses erhöhter Temperatur ausgesetzt waren. Eine individuelle Dosisabschätzung wird somit möglich. Wissenschaftler/innen des Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit (GSF) sind auf diese neue Einsatzmöglichkeit gestoßen.



Schnitt durch einen Chip in einer Chipkarte

Mit Hilfe der optisch stimulierten Lumineszenz (OSL) können gegenwärtig absorbierte Dosen von mehr als 250 mGy mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 20\%$  bestimmt werden. Hierzu wird der Chip mitsamt seiner Umhüllung im Dunkeln aus der Chipkarte entfernt und komplett gemessen. Bis zu einer Dosis von 5 Gy wiesen die Chips einen linearen Dosis-Wirkungs-Verlauf auf. Nach ersten Untersuchungen ist das Signal bei Raumtemperatur für eine Lagerzeit von 2,5 Jahren stabil. Eingeschränkt wird die Methode allerdings dadurch, dass der Lumineszenzeffekt nur bei Chips mit einem transparenten Umhüllungsmaterial (Verguss) wahrgenommen werden kann. Die Methode soll im BfS etabliert werden. Hierfür laufen Arbeiten zur Optimierung der Probenaufbereitung, weitere Untersuchungen dosisabhängiger Parameter sowie ein Monitoring verschiedener Herstellungsverfahren und unterschiedlich aufgebauter Chipmodule.

## BAUARTZULASSUNGEN NACH STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG UND RÖNTGENVERORDNUNG

Ansprechpartnerin:

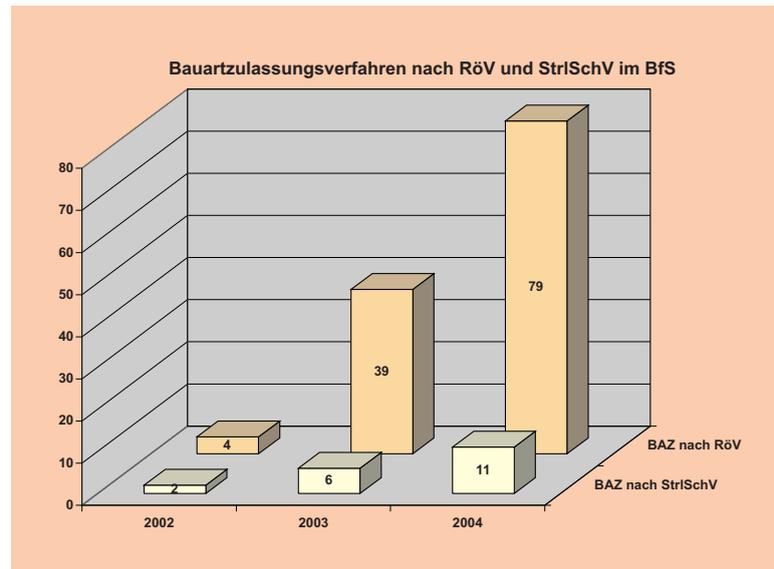
Renate Czarwinski (0 18 88/3 33-45 10)

Nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Röntgenverordnung (RöV) kann für die Bauart von Vorrichtungen, in die radioaktive Stoffe eingefügt sind sowie von Röntgenstrahlern, Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern eine behördliche Zulassung erteilt werden. Bauartzugelassene Vorrichtungen sind bezüglich ihrer radiologischen Sicherheit durch ein vorgegebenes hohes Niveau und damit durch ein geringes radiologisches Risiko gekennzeichnet. Dies gestattet, dass die behördlichen Kontrollmaßnahmen bei Inbetriebnahme und Betrieb der Vorrichtungen deutlich reduziert oder vollständig entfallen können.

Nach StrlSchV und RöV liegt die Zuständigkeit für die Erteilung der Bauartzulassungen beim Bundesamt für Strahlenschutz.

Nach Entgegennahme des Antrags und grundsätzlicher Prüfung der Antragsunterlagen veranlasst das BfS die erforderliche technische Prüfung (Bauartprüfung) bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) bzw. bei Bauartzulassungen nach StrlSchV auch bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Nach Vorliegen der Prüfergebnisse erfolgt die wissenschaftlich-technische Gesamtbewertung des Antrags durch das BfS. Wenn die Voraussetzungen zur Erteilung einer Bauartzulassung erfüllt sind und darüber hinaus keine Versagensgründe vorliegen, erteilt das BfS die Zulassung.

Seit Übertragung der Zuständigkeit für die Bauartzulassungen auf das BfS wurden insgesamt 141 Bauartzulassungsverfahren durchgeführt, davon 122 Anträge im Bereich der RöV und 19 Anträge im Bereich der StrlSchV. Es handelt sich neben Anträgen zur Neuerteilung von Bauartzulassungen auch um Änderungen oder Verlängerungen bestehender Bauartzulassungen. Einen Überblick über die seit 2002 bearbeiteten Vorgänge gibt die folgende Abbildung.



Überblick über die Bauartzulassungen seit dem Jahr 2002

Bezüglich der Bauartzulassung nach StrlSchV gab es durch die 2001 erfolgte Novellierung der StrlSchV erhebliche Veränderungen.

Dies betraf insbesondere

- die Einführung neuer Freigrenzen für die Verwendung radioaktiver Stoffe,
- den Wegfall bisher bestehender Kategorien, die u. a. die Einfügung von radioaktiven Stoffen mit einer vergleichsweise hohen Aktivität ermöglichte,
- die Anzeigefreiheit von bauartzugelassenen Vorrichtungen.

Die Prüfung der Voraussetzungen für die Erteilung der Bauartzulassung nach StrlSchV betrifft zentral die in die jeweilige Vorrichtung einzubauende Strahlenquelle. Die Aktivität der Strahlenquelle darf grundsätzlich das Zehnfache der für das Radionuklid festgelegten Freigrenze nicht überschreiten. Die Strahlenquelle selbst muss durch die Konstruktion der Vorrichtung geschützt und berührungssicher eingebaut sein. Außer der Abnahmeprüfung und einer im Allgemeinen nach 10 Betriebsjahren durchzuführenden Dichtheitsprüfung dürfen keine weiteren Dichtheitsprüfungen erforderlich werden. Im Abstand von 10 cm von der berührbaren Oberfläche darf die Ortsdosisleistung den Wert von  $1 \mu\text{Sv/h}$  nicht überschreiten.

Bei den bisher nach StrlSchV zugelassenen Vorrichtungen handelte es sich ausschließlich um Ionisationsrauchmelder und Ionenmobilitätsspektrometer.

Bezüglich der Bauartzulassung im Geltungsbereich der RöV haben sich dagegen die strahlenschutztechnischen Anforderungen im Vergleich zu früher praktisch nicht verändert.

Bei Röntgenstrahlern wird bei der Bauartprüfung die Abschirmwirkung des Röhrenschutzgehäuses bei geschlossenem Strahlenaustrittsfenster geprüft. Wenn der in Abhängigkeit von Parametern des Röntgenstrahlers festgelegte Wert der Ortsdosisleistung eingehalten wird, kann die Bauart zugelassen werden. Die Röntgeneinrichtung, in der dieser Röntgenstrahler betrieben wird, ist vor Inbetriebnahme durch einen Sachverständigen zu prüfen. Bei der Anzeige der Inbetriebnahme sind technische und organisatorische Strahlenschutzmaßnahmen nachzuweisen.

Bei Röntgeneinrichtungen, deren Bauart zugelassen werden soll (Hochschutzgeräte, Vollschutzgeräte und Schulröntgeneinrichtungen), ist der erforderliche Strahlenschutz durch die konstruktive Ausführung der Röntgeneinrichtung zu gewährleisten. Der Nachweis der Wirksamkeit des konstruktiven Strahlenschutzes erfolgt u. a. durch die Prüfung der Einhaltung festgelegter Werte der Ortsdosisleistung sowie durch geforderte Sicherheitsmaßnahmen. Diese Vorrichtungen können nach Erteilung der Bauartzulassung genehmigungsfrei betrieben werden. Außer für Störstrahler ist die Inbetriebnahme solcher Vorrichtungen bei der zuständigen Aufsichtsbehörde jedoch anzuzeigen. Bei der Anzeige der Inbetriebnahme sind zusätzlich organisatorische Voraussetzungen für Strahlenschutzmaßnahmen nachzuweisen.

Im Bereich der RöV kam es aufgrund der technischen Entwicklung in zunehmendem Maße zu Schwierigkeiten bei der Zuordnung der beantragten Vorrichtungen zu den nach RöV vorgesehenen Kategorien von Röntgeneinrichtungen. Dies betraf insbesondere Gepäckdurchleuchtungsanlagen und Lebensmittelscanner (Röntgeneinrichtungen mit kontinuierlicher Probenzufuhr, siehe Abb. oben rechts).

Darüber hinaus wurde es erforderlich, die zulässigen Werte der Ortsdosisleistung für Röntgeneinrichtungen zu überprüfen. Auf der Basis der Praxiserfahrungen wurden vom BfS unter Einbeziehung von Experten der beteiligten Behörden, der Sachverständigenorganisationen und der Hersteller folgende Vorschläge zur Überarbeitung der RöV erarbeitet:



Röntgen-Lebensmittelscanner

- Es soll eine neue Kategorie von Röntgeneinrichtungen (sog. Basisschutzgeräte) eingeführt werden, deren Anforderungen sich an den technischen Merkmalen der Röntgeneinrichtungen mit kontinuierlicher Probenzufuhr orientieren.
- Die zulässige Ortsdosisleistung soll für bestimmte Röntgeneinrichtungen gesenkt werden, um den aktuellen technischen Entwicklungsstand zu berücksichtigen und um eine bessere Anpassung an die mit der Novellierung gesenkten Grenzwerte der effektiven Dosis pro Jahr zu erreichen.

Letztendlich wurden auch die Betriebsbedingungen für Vakuumschalter, die eine spezielle Form von Störstrahlern darstellen, überprüft. Eine entsprechende Präzisierung hinsichtlich der bei der Bauartprüfung zu Grunde zu legenden elektrotechnischen Parameter befindet sich in der Abstimmung.

## DAS DEUTSCHE MOBILFUNK FORSCHUNGSPROGRAMM

Ansprechpartnerinnen:

Cornelia Baldermann (0 18 88/3 33-21 41)

Gunde Ziegelberger (0 18 88/3 33-21 42)

Im Juni 2001 und im September 2003 veranstaltete das Bundesamt für Strahlenschutz Fachgespräche mit dem Ziel, die wichtigsten Forschungsschwerpunkte zur Thematik „Wirkung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ zu identifizieren. Auf Basis der Ergebnisse dieser Fachgespräche wurde das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) ausgearbeitet. Insgesamt beinhaltet das DMF etwa 50 Forschungsvorhaben mit den Themenschwerpunkten „Wirkungsmechanismen der hochfrequenten Felder“ (Biologie), „Auswirkungen bei Tieren und beim Menschen“ (Biologie), „Epidemiologische Untersuchungen“ (Epidemiologie), „Erfassung der Exposition“ (Dosimetrie), „Elektrosensibilität“ und „Risikokommunikation“.

Die einzelnen Projektbeschreibungen können unter der vom BfS eingerichteten Internetseite <http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung> eingesehen werden. Der vorliegende Bericht informiert über den Stand des DMF zum Ende des Jahres 2004 und über die wichtigsten Inhalte und Ergebnisse.

### **Biologie - Auswirkungen auf Tier und Mensch**

Am Tiermodell und, soweit möglich, auch am Menschen werden mögliche Einflüsse hochfrequenter Felder auf die intellektuelle Informationsverarbeitung (Kognition) und das Wach- und Schlaf-Elektroenzephalogramm (EEG) sowie auf die Funktion der Blut-Hirn-Schranke untersucht. An Zellen wird die Suche nach den zugrunde liegenden molekularen Wirkmechanismen weitergeführt.

Die Entstehung bzw. der Verlauf von Krebserkrankungen und Veränderungen der kognitiven Fähigkeiten wie Gedächtnis und Lernfähigkeit werden auch nach Langzeitexpositionen erfasst. Zudem soll die Altersabhängigkeit möglicher Effekte untersucht werden. Hierzu liegen bisher kaum Daten vor. Da die Mobilfunktechnik in erheblichem Umfang von Kindern und Jugendlichen genutzt wird, besteht hier besonderer Klärungsbedarf. Ein weiteres Ziel ist es, die gesundheitlichen Beschwerden von elektrosensiblen Personen zu objektivieren und mögliche Synergismen, d. h. das Zusammenwirken unterschiedlicher Belastungen darzulegen.

Bis Ende 2004 wurden 13 biologische Forschungsvorhaben vergeben. Zu fast allen Themenbereichen haben die Forschungsnehmer ausführliche Literaturrecherchen erstellt. Die folgenden beiden Forschungsvorhaben sind bereits abgeschlossen:

#### **„Untersuchungen zu Wirkungsmechanismen an Zellen unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilfunktechnologie B. Pinealdrüse“**

In der Zirbeldrüse (Pinealdrüse) wird in Abhängigkeit vom Tagesrhythmus das Hormon Melatonin gebildet. Um eindeutige Ergebnisse im Hinblick auf den Einfluss von Mobilfunkfeldern auf diese Hormonbildung zu erhalten, musste die Kopplung an den Tagesrhythmus aufgehoben werden. Dies ist mit *In-vitro*-Experimenten an Zirbeldrüsen von Labornagern möglich.

Die Ergebnisse zeigen, dass es unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder bei 1800 MHz unterhalb von 800 mW/kg nicht zu einer Erniedrigung der Melatoninbildung kommt. Ab 800 mW/kg wird eine erhöhte Freisetzung von Melatonin beobachtet. Die Befunde unterstützen die so genannte Melatoninhypothese nicht, nach der ein unmittelbarer Effekt hochfrequenter elektromagnetischer Felder die Unterdrückung der Melatoninbildung ist. Eine abschließende Beurteilung der Ergebnisse ist erst nach Abnahme des Abschlussberichts möglich.

#### **„Beeinflussung der spontanen Leukämierate bei AKR/J-Mäusen durch hochfrequente elektromagnetische Felder“**

Mäuse des AKR/J-Stammes entwickeln spontan lymphoblastische Leukämie. Diese Mausvariante dient seit Jahren als anerkanntes Modellsystem für menschliche Leukämie. In dem Forschungsvorhaben soll geklärt werden, ob bei dauerhafter Exposition mit einem GSM-Signal (900 MHz, SAR-Wert von 400 mW/kg), dessen Intensität unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte liegt, die Leukämierate bei diesen Mäusen beeinflusst wird.

Die inzwischen beendeten Versuche zeigten keine Unterschiede im Hinblick auf Überlebensverlauf, Blutbild und Immunantwort.

### **Dosimetrie, Erfassung der Exposition**

Voraussetzung für die Beurteilung von Wirkungen hochfrequenter Felder auf den Menschen ist die möglichst genaue Ermittlung der tatsächlichen Exposition, also der Intensität der Felder in unmittelbarer Nähe des Menschen. Den Schwerpunkt im Bereich Dosimetrie bildet daher die Bestimmung realer Feldverteilungen und tatsächlicher Expositionen in der Umwelt, im Haushalt und im Büro, bei der alltäglichen Nutzung von Mobiltelefonen oder in der

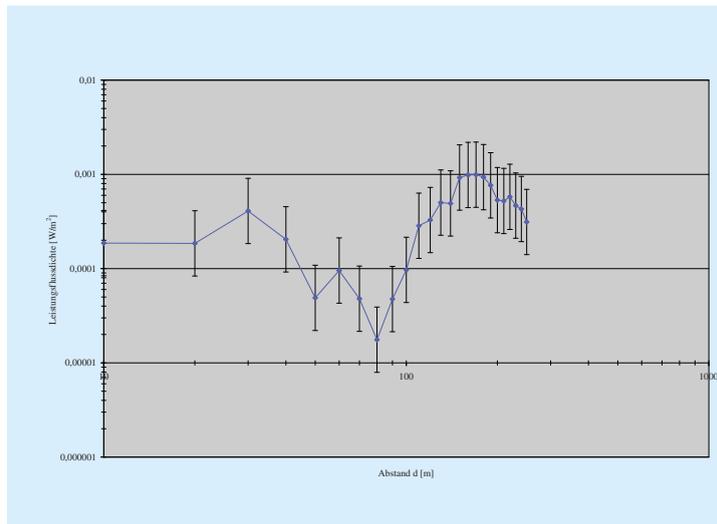


Immissionswerte in der Umgebung eines freistehenden Sendemasts in Abhängigkeit des Abstands  $d$ . Der schwarze Pfeil in der Abb. links kennzeichnet die Richtung, in der sich der Betrachter von der Basisstation entfernt

Umgebung von Sendeanlagen. Von besonderer Bedeutung ist dies auch für die Durchführbarkeit epidemiologischer Studien. Bis Ende 2004 wurden 6 Forschungsvorhaben vergeben, eines davon konnte 2004 abgeschlossen werden:

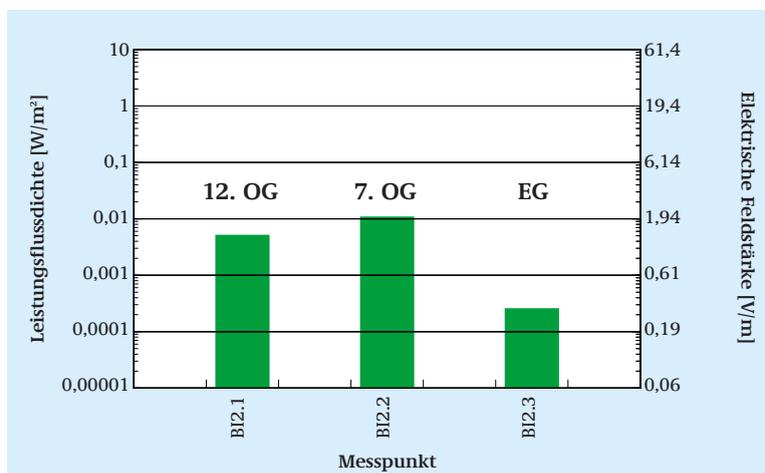
**„Entwicklung von Mess- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobilfunk Basisstationen“**

Der Forschungsnehmer hat umfangreiche Untersuchungen der Intensitäten hochfrequenter elektromagnetischer Felder (Immission) in der Umgebung von ortsfesten Mobilfunksendeanlagen der GSM 900- und GSM 1800-Netze (D-/E-Netze) durchgeführt. Als ein wichtiges Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Immissionswerte an unterschiedlichen Messpunkten im direkten Umfeld der Basisstationen einer sehr großen Streuung unterliegen. Alle Messwerte wurden auf den theoretisch höchstmöglichen Auslastungsgrad der Anlage extrapoliert – ein Zustand, in dem sich in der Praxis keine Mobilfunkbasisstation für längere Zeit befindet. Die oben stehenden Abbildungen zeigen einen freistehenden Sendemast und die in zunehmenden Abstand zum Mast am Boden ermittelten Immissionswerte, ausgedrückt in Leistungsflussdichte und elektrischer Feldstärke. Die Leistungsflussdichte gibt die Energiemenge an, die pro Zeiteinheit eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung durchströmt und ist somit das Maß für die Immission. Die elektrische Feldstärke ist mit der Leistungsflussdichte über eine einfache Umrechnungsformel verknüpft. Das hier beispielhaft für die gesamte Messreihe dargestellte Ergebnis zeigt, dass die Leistungsflussdichte im Gegensatz zur allgemein geäußerten Vorstellung nicht immer mit abnehmenden Abstand zur Basisstation kontinuierlich zunehmen muss. Der Grund hierfür liegt im vorliegenden Fall in der Richtcharakteristik



der Mobilfunkantenne mit ihren ausgeprägten Nebenzipfeln. In bebautem Gebiet stellt sich u. a. durch Reflexionen z. B. an Häuserwänden eine noch sehr viel kompliziertere Situation dar. Somit ist die Entfernung zwischen Basisstationsantenne und Aufenthaltsort allein für sich gesehen kein geeignetes Maß zur Abschätzung der Exposition.

Insgesamt zeigten die Untersuchungen, wie komplex sich die Beurteilung einer Immissionssituation darstellt und welche Parameter Einflüsse ausüben. Als wichtigstes Kriterium zur Beurteilung stellte sich die höhenmäßige Ausrichtung des Aufenthaltsortes zur Sendeanlage heraus. Dabei kann nicht pauschal geschlussfolgert werden, dass die Immission über die Stockwerke eines einer Sendeanlage gegenüberliegenden Hauses immer stetig abnimmt bzw. im obersten Stockwerk grundsätzlich höher ist als in tiefer liegenden Stockwerken. Es kommt vielmehr darauf an, wie der höhenmäßige Standpunkt zur Hauptstrahlrichtung und zu möglichen Nebenstrahlrichtungen der Sendeanenne orientiert ist. Die Abb. unten zeigt beispielhaft das Ergebnis einer höhenab-



Höhenabhängigkeit der Immission

hängigen Immissionsmessung in Bezug auf eine dem Haus gegenüberliegende Mobilfunkantenne. Es zeigt sich, dass im 7. Stockwerk höhere Immissionswerte gemessen wurden, als im 12. Stockwerk. Daraus kann gefolgert werden, dass tiefere Stockwerke durchaus von einer Nebenstrahlrichtung erfasst werden können, so dass die Immissionswerte in tieferen Stockwerken u. U. höher als in höher gelegenen Stockwerken sein können. Diese Ergebnisse zeigen, dass für eine genaue Bestimmung der Immissionen letztendlich frequenzselektive Messungen vor Ort unerlässlich bleiben.

## Epidemiologie

Im Gegensatz zu den experimentellen Studien werden in der Epidemiologie Beobachtungsstudien am Menschen durchgeführt. Epidemiologische Studien tragen wesentlich zur Beantwortung der Frage nach möglichen Wirkungen auf die menschliche Gesundheit bei und erlauben die Quantifizierung des Risikos. Bis Ende 2004 konnten 5 Forschungsvorhaben vergeben werden. Eine Machbarkeitsstudie für eine Kohortenstudie an hochexponierten Berufsgruppen wurde 2004 abgeschlossen. Ein weiteres Vorhaben befasst sich mit gesundheitlichen Befindlichkeitsstörungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen. Das Schwergewicht der anderen epidemiologischen Studien liegt auf der Untersuchung von möglichen Risiken des Mobilfunks für Krebserkrankungen oder anderen gesundheitlichen Langzeitfolgen.

### **„Erweiterungsstudie einer multinationalen epidemiologischen Studie des möglichen Zusammenhangs zwischen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und dem Auftreten von Tumoren des Kopf- und Halsbereiches (INTERPHONE-Studie)“**

Im Rahmen der Beteiligung an der internationalen Fall-Kontroll-Studie „Interphone“ wird ein möglicher Zusammenhang zwischen Mobilfunk und Hirntumoren untersucht. Aufgrund der großen Fallzahlen und des durchdachten Versuchsdesigns wird dieser Studie eine größere Aussagekraft als früheren Studien zugesprochen. Limitierungen dieser Studie liegen v. a. in der für Hirntumore langen Latenzzeit und der relativ kurzen Handynutzungszeit und in der nachträglichen Expositionsabschätzung.

Die Ergebnisse des deutschen Teils der INTERPHONE-Studie werden frühestens im ersten Halbjahr 2005 erwartet. Erste Publikationen zu Akustikusneurinom-Patienten liegen bereits von Dänemark und Schweden vor. Beide Studien zeigen kein höheres Erkrankungsrisiko an Akustikusneurinomen für Kurzzeit-Nutzer von Handys (weniger als 10 Jahre). Die schwedische Teilstudie konnte jedoch belastbare Risikoanalysen für Langzeitnutzer durchführen. In

dieser Gruppe zeigt sich ein höheres, fast 2faches Erkrankungsrisiko. Die Risikoerhöhung wurde allerdings ausschließlich bei Nutzern analoger Handys (vergleichbar mit dem inzwischen eingestellten C-Netz in Deutschland) beobachtet. Nutzer digitaler (gepulster) Handys hatten noch keine Nutzungszeiträume von mehr als 10 Jahren. Die dahinter liegenden Fallzahlen (14 Patienten) sind vergleichsweise klein, so dass eine abschließende Bewertung erst mit der Veröffentlichung der internationalen Auswertung möglich sein wird.

Im Gegensatz zum Erkrankungsrisiko an Akustikusneurinomen ergaben die Auswertungen der schwedischen Teilstudie für Gliome und Meningeome keine Risikoerhöhung bei Nutzungszeiträumen von mehr als 10 Jahren.

## Risikokommunikation

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass sich die Bevölkerung über die Funktions- und Wirkungsweise der hochfrequenten Felder zu wenig informiert fühlt. Ein Ziel des BfS ist es daher, eine umfassende und zielgruppenspezifische Information der Bürger zu gewährleisten und die Kommunikation mit verschiedenen Bevölkerungsgruppen zu verbessern. Inhalte dieser Informationen sollen sowohl Vorsorgeempfehlungen im Hinblick auf die Exposition durch elektromagnetische Felder sein, als auch die aktuellen wissenschaftlichen Ergebnisse und deren Bewertung. Bis Ende 2004 wurden in diesem Bereich 11 Forschungsvorhaben vergeben. Hierzu zählt das Forschungsvorhaben:

### **„Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks - jährliche Umfragen“**

Ein zentraler Bestandteil der Mobilfunk-Thematik ist die Sorge der Bevölkerung um mögliche gesundheitliche Risiken durch die elektromagnetischen Felder. Zur genaueren Erfassung der Risikowahrnehmung in der Bevölkerung hat das BfS u.a. die Umfrage zur Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der Öffentlichkeit in Auftrag gegeben. Diese Art der Befragung ist jährlich vorgesehen, um Veränderungen der Wahrnehmung in der Bevölkerung über die Zeit hinweg zu erfassen. Die Umfragen zeigen, dass sich die Stimmungslage in der Bevölkerung hinsichtlich der Besorgnis und Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder, die von Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlosen Festnetztelefonen ausgehen, in den letzten drei Jahren nicht wesentlich verändert hat: Die Anteile der Besorgten sind mit 30 % im Jahr 2004 (gegenüber 31 % in 2003 bzw. 35 % in 2001) leicht gesunken. Beeinträchtigt bezeichnen sich 9 % im Jahr 2004 (gegenüber 8 % in 2003 bzw. 6 % in 2001). Diese geringfügigen Verän-

derungen scheinen inhaltlich auf einen Trend hinzuweisen – mehr Informationen wird die Befragung im Jahr 2005 liefern.

Art und Ausmaß der Besorgnis und der Beeinträchtigung können anhand dieser Befragungen recht differenziert dargestellt werden. So wurde z. B. im Jahr 2003 überwiegend die Mobilfunktendeanlage als stärkste Quelle genannt. Im Jahr 2004 zeigt sich dies nicht mehr ganz so deutlich – abhängig vom Ausmaß der Besorgnis bzw. Beeinträchtigung werden entweder Mobilfunktendeanlagen oder eher Handys als Auslöser genannt. Zugleich zeigen die Umfragen, dass die Sorgen um die Gesundheit, bezogen auf die Mobilfunktendeanlagen und die Benutzung von Handys, weit unter dem Grad der Besorgnis wegen Luftverschmutzung, den Nebenwirkungen von Medikamenten, dem Verzehr von Fleisch unbekannter Herkunft, starken Zigarettenrauchens sowie der Teilnahme am Straßenverkehr stehen. Bemerkenswerterweise wusste nur knapp ein Drittel der Befragten, dass jedes Handy einen SAR-Wert hat, der Auskunft über die Strahlungsintensität des jeweiligen Modells gibt. Die Bekanntheit des SAR-Wertes hat damit entgegen der Erwartungen im Jahr 2004 gegenüber 2003 nicht zugenommen. Das BfS sieht es als seine Aufgabe an, die Bekanntheit des SAR-Wertes und seiner Bedeutung durch geeignete Informationsmaßnahmen zu erhöhen. Weitere Informationen zu den Umfragen erhalten Sie unter [http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation\\_verg/risiko\\_021.html](http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.html).

## **Runder Tisch zum Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm**

Im Sinne einer umfassenden Kommunikation ist es ein zentraler Aspekt bei der Durchführung des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms, die Transparenz des Verfahrens und der Forschungsergebnisse gegenüber der Öffentlichkeit möglichst umfassend zu gewährleisten. Dazu wurde beim BfS 2004 der Runde Tisch zum Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm (RTDMF) eingerichtet, der als unabhängiges Beratungs- und Diskussionsgremium das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm begleitet. Der RTDMF gibt gesellschaftlichen Gruppen und Institutionen die Möglichkeit, sich über den Stand des Programms zu informieren und Anregungen dazu abzugeben. Insbesondere soll der RTDMF das BfS bei der Kommunikation des Programms, seiner Ziele und Ergebnisse sowie bei der Erarbeitung von Konzepten zur Veröffentlichung der Forschungsergebnisse beratend unterstützen. Der Runde Tisch setzt sich zusammen aus Vertretern der Wissenschaft, Behörden und Interessenverbänden. Die erste konstituierende Sitzung fand am 15. Juni 2004 im BfS Neuherberg statt. Es wurde die gemeinsame Geschäftsordnung

und die Zusammensetzung des RTDMF verabschiedet. Auf der 2. Sitzung des Runden Tisches am 23. November 2004 wurde unter anderem die Frage der Transparenz von Entscheidungsprozessen und deren Wahrnehmung in der Öffentlichkeit diskutiert.

## **Internationale Entwicklungen im Strahlenschutz: Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder**

Anders als bei ionisierender Strahlung sind die bekannten Wirkungen elektromagnetischer Felder schwellenabhängig. Die bestehenden Grenzwerte beruhen daher auf den bekannten Schwellen frequenzabhängiger Wirkmechanismen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Ausgehend von dem Schwellenwert 4 W/kg (SAR: Spezifische Absorptionsrate), der innerhalb von 30 min zu einer Erhöhung der Körpertemperatur um 1 °C führt, wurde der Grenzwert für beruflich Exponierte um den Faktor 10 auf 0,4 W/kg und für die allgemeine Bevölkerung noch einmal um den Faktor 5 auf 0,08 W/kg festgelegt. Das BfS überprüft kontinuierlich, ob aktuelle wissenschaftliche Publikationen mit den bestehenden Grenzwerten im Einklang stehen. Für statische sowie niederfrequente elektrische und magnetische Felder stellt sich der wissenschaftliche Erkenntnisstand wie folgt dar:

### **Internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP)**

Die internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (ICNIRP) hat eine umfassende Literaturübersicht vorgelegt. Der Überblicksartikel „Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz)“ (ELF-Review) umfasst ca. 1100 aktuelle wissenschaftliche Publikationen aus den Bereichen Dosimetrie und Expositionsabschätzung, Biologie und Epidemiologie von statischen, elektrischen und magnetischen Feldern bis ca. 100 kHz und wird von der ICNIRP zur Überprüfung und ggf. Überarbeitung der Empfehlung zur Expositionsbegrenzung von niederfrequenten Feldern herangezogen. Aus den ausgewerteten Tierversuchstudien ergeben sich keine überzeugenden Belege für die Hypothese, dass eine Exposition mit niederfrequenten elektromagnetischen Magnetfeldern (ELF) unterhalb der Grenzwerte das Krebsrisiko erhöht, sich nachteilig auf die Fortpflanzung auswirkt oder relevante Einflüsse auf den Hormonhaushalt hat. Weiter untersucht werden sollten mögliche Einflüsse auf Funktionen des Nervensystems, um nachzuprüfen, ob die bisherigen Hinweise auf mögliche biologische Effekte, wie z. B. ein möglicher Einfluss auf intellektuelle Fähigkeiten, Be-

stand haben. Im Bereich der epidemiologischen Studien konstatiert die ICNIRP das Vorliegen von qualitativ hochwertigem Datenmaterial, das auf eine mögliche Assoziation kindlicher Leukämie mit einer Exposition gegenüber ELF  $> 0.4 \mu\text{T}$  (Mikrotesla) nach der Geburt hinweist. Für das BfS waren die epidemiologischen Studien zur kindlichen Leukämie Anlass, tierexperimentelle Studien zu diesem Endpunkt zu initiieren, um die epidemiologischen Ergebnisse ggf. stützen zu können. Die bisherigen Ergebnisse aus dem laufenden Projekt liefern jedoch keine Hinweise auf eine Beeinflussung der Leukämieentwicklung in einem entsprechenden Tiermodell.

#### **Weltgesundheitsorganisation (WHO)**

Die WHO aktualisiert derzeit den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu statischen Feldern (Environmental Health Criteria – Static Fields). Daran beteiligt sich auch das BfS. Während bei statischen elektrischen Feldern zur Zeit kein weiterer Forschungsbedarf gesehen wird, sieht die WHO in Bezug auf statische magnetische Felder die Notwendigkeit, mögliche Wechselwirkungsmechanismen auf molekularer Ebene weiter aufzuklären, Phantom-Modelle zu verbessern und tierexperimentelle Studien über die Wirkung von Langzeitexpositionen durchzuführen. Empfohlen werden weiterhin qualitativ hochwertige epidemiologische Studien an Personengruppen, die aus beruflichen Gründen vergleichsweise stark gegenüber statischen Magnetfeldern exponiert sind, wobei vor allem technisches Personal, das an leistungsstarken Magnetresonanz-Tomographen arbeitet, zu nennen ist.

#### **5. EU-Rahmenprogramm**

Der Forschungsverbund mit der Bezeichnung „REFLEX“ hat innerhalb des 5. EU-Rahmenprogramms die biologischen Wirkungen von nieder- und hochfrequenten Feldern in zahlreichen *In-vitro*-Studien (d. h. an Zellkulturen) untersucht. Die umfangreichen Versuchsreihen sind abgeschlossen und als EU-Abschlussbericht veröffentlicht (REFLEX: Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Frequency Electromagnetic Field Exposure Using Sensitive in Vitro Methods – Final Report, [http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX\\_Final%20Report\\_171104.pdf](http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_Final%20Report_171104.pdf)).

Nach den bisher vorliegenden Informationen ergeben sich sowohl für niederfrequente als auch für hochfrequente Felder auch unterhalb der Grenzwerte Hinweise auf DNA-Schäden in bestimmten menschlichen Zelllinien. Diese Hinweise werden ernst genommen und weiter verfolgt. Bezüglich der niederfrequenten Felder werden DNA-schädigende Effekte unterhalb der Grenzwerte allerdings nur von einer Arbeitsgruppe innerhalb des REFLEX-Projekts beschrieben. Sie müssen also noch unabhängig repro-

duziert werden. Zudem ist sicherzustellen, dass die in dieser Studie vorgenommene Art der Auswertung und/oder die on/off-Exposition keine Fehlerquellen darstellen. Im Fall der hochfrequenten elektromagnetischen Felder werden DNA-schädigende Effekte innerhalb eines bestimmten SAR-Fensters beschrieben. Auch hier treten die Effekte nur in bestimmten Zelltypen auf. Eine unabhängige Reproduktion steht hier noch aus, ebenso eine Veröffentlichung der Ergebnisse in einem Fachjournal. Die Ergebnisse zur Genexpression waren vielfältig und komplex, die Reproduzierbarkeit und v. a. die biologische Relevanz der einzelnen Ergebnisse ist derzeit nicht abschätzbar. Eine ausführliche Stellungnahme des BfS zur REFLEX-Studie steht unter [http://www.bfs.de/elektro/papiere/reflex\\_stellungnahme.htm](http://www.bfs.de/elektro/papiere/reflex_stellungnahme.htm) zur Verfügung.

Generell ist darauf hinzuweisen, dass Schlüsse über die physiologische oder gar gesundheitliche Bedeutung von *In-vitro*-Effekten in Zellkultursystemen nur im Zusammenhang mit Ergebnissen aus Tierversuchen oder epidemiologischen Studien gezogen werden können. Es werden zur Zeit umfangreiche Forschungsprogramme durchgeführt, deren Ergebnisse als Grundlage einer Bewertung abzuwarten sind.

## **EMISSIONSÜBERWACHUNG VON KERNKRAFTWERKEN**

Ansprechpartner:

Christopher Strobl (0 18 88/3 33-25 10)

#### **Schutz der Bevölkerung durch Kontrolle der Eigenüberwachung von kerntechnischen Anlagen**

Trotz moderner Rückhalte- und Aufbereitungstechniken werden aus Kernkraftwerken auch ständig im Normalbetrieb radioaktive Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser in die Umwelt abgegeben. Da diese zu einer zusätzlichen Strahlenexposition der Bevölkerung führen, sind die Betreiber von Kernkraftwerken dazu verpflichtet, die Ableitung zu minimieren, alle abgeleiteten radioaktiven Stoffe zu messen, nach Art und Aktivität zu spezifizieren und zu bilanzieren (Eigenüberwachung).

Für den Bereich Fortluft umfasst diese Eigenüberwachung die Bestimmung der Ableitungen von radioaktiven Edelgasen, von gammastrahlenden radioaktiven Schwebstoffen, von gasförmigen Jod-Isotopen, Alphastrahlern und Betastrahlern. Die Bilanzierung der Ableitung dieser radioaktiven Stoffe mit der Fortluft erfolgt, je nach Nuklid bzw. Nuklidgruppe, als Tages-, Wochen oder Vierteljahresabgabewert. Zusätzlich werden für ausgewählte Nuklidgruppen in

sehr kurzen Zeitintervallen von zumeist nur wenigen Minuten so genannte Monitoring-Messungen durchgeführt. Diese Messungen ermöglichen es dem Betreiber, erhöhte Ableitungen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Im Gegensatz zur Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft dürfen radioaktive Abwässer erst in den Vorfluter eingeleitet und an die Umwelt abgegeben werden, wenn eine Entscheidungsmessung ergeben hat, dass ein vorgegebener Grenzwert für die Gesamtaktivität nicht überschritten wird. Zur Bilanzierung der mit dem Abwasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe müssen vom Betreiber jedoch auch die Aktivitätskonzentrationen gamma- und betastrahlender Radionuklide und die Gesamtalphaaktivität bestimmt werden.

Die Anforderungen an die Messverfahren und die Messeinrichtungen sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) und in den entsprechenden sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) festgelegt.

### Kontrolle der Eigenüberwachung

Um die Zuverlässigkeit und Qualität der Eigenüberwachung wirksam zu kontrollieren, führt das Bundesamt für Strahlenschutz bzw. seine Vorgängerbehörde seit mehr als 20 Jahren als Sachverständiger im Auftrag der zuständigen Aufsichtsbehörden Kontrollmessungen durch. Gesetzliche Grundlage dieses Kontrollmessprogramms ist die bundeseinheitliche Richtlinie „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“.

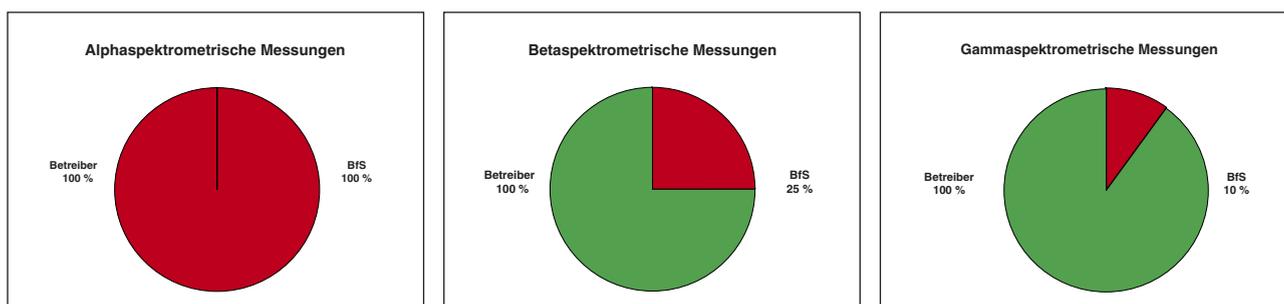
In der Praxis werden von den Betreibern alle Bilanzierungsproben an das BfS geschickt. Das BfS wählt stichprobenartig einzelne Proben aus und führt Aktivitätsbestimmungen durch. Bei diesen Proben handelt es sich um Schwebstoff- und Jod-Filter sowie Tritium- und Kohlenstoff-Sammelproben, die über einen definierten Zeitraum von einem repräsentativen Teil der Kaminfortluft durchströmt wurden. Die folgende Grafik zeigt den prozentualen Anteil der Bilanzierungsproben der Betreiber, an denen vom BfS im Bereich Fortluft Kontrollmessungen vorgenommen werden.

Im Bereich Abwasser umfasst das Routinemessprogramm die Überwachung der Ableitung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlern sowie der Radionuklide Fe-55 und Ni-63.

Des Weiteren wird die betreibereigene Messung und Bilanzierung der Ableitung radioaktiver Edelgase mit der Kaminfortluft durch regelmäßige mehrwöchige Vergleichsmessungen in allen in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerken überprüft. Hierzu werden vom BfS im dreijährigen Turnus kontinuierlich arbeitende Edelgasmesseinrichtungen, die die Aktivitätskonzentration radioaktiver Edelgase in der Kaminfortluft direkt messen, in den Kernkraftwerken installiert. Diese Direktmessung der Kaminfortluft ist notwendig, weil radioaktive Edelgase, im Gegensatz zu den oben angegebenen Nuklidgruppen, sich nur sehr bedingt durch Sammeleinrichtungen erfassen lassen. Darüber hinaus erfordert auch die sehr kurze Halbwertszeit einiger Edelgas-Radionuklide eine direkte Bestimmung vor Ort.

Die Messwerte der Betreiber werden vom BfS mit den Ergebnissen der Kontrollmessungen verglichen und in Quartalsberichten den jeweiligen Aufsichtsbehörden und Betreibern vorgelegt. Im Allgemeinen stimmen die Ergebnisse der Messungen des Betreibers und des BfS innerhalb der jeweiligen Messunsicherheiten gut überein. Bei abweichenden Messergebnissen werden die möglichen Ursachen gemeinsam von der zuständigen Aufsichtsbehörde, dem Betreiber und dem BfS ermittelt und Lösungsansätze unterbreitet. Um auch andere Aufsichtsbehörden und Betreiber von Kernkraftwerken über die aktuell bei den Kontrollmessungen erkannten Problemfelder zu informieren, werden von Seiten des BfS jährlich Fachgespräche im Bereich Fortluft und Abwasser durchgeführt. Die Fachgespräche leisten ferner einen wichtigen Beitrag zur Vermittlung des neuesten Standes von Wissenschaft und Technik im Bereich der Emissionsüberwachung.

Ein weiteres wesentliches Instrument zur Qualitätssicherung bei der Überwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken ist die regelmäßige Durchführung von Ringversuchen. Das Bundesamt für Strahlenschutz organisiert gemeinsam mit der

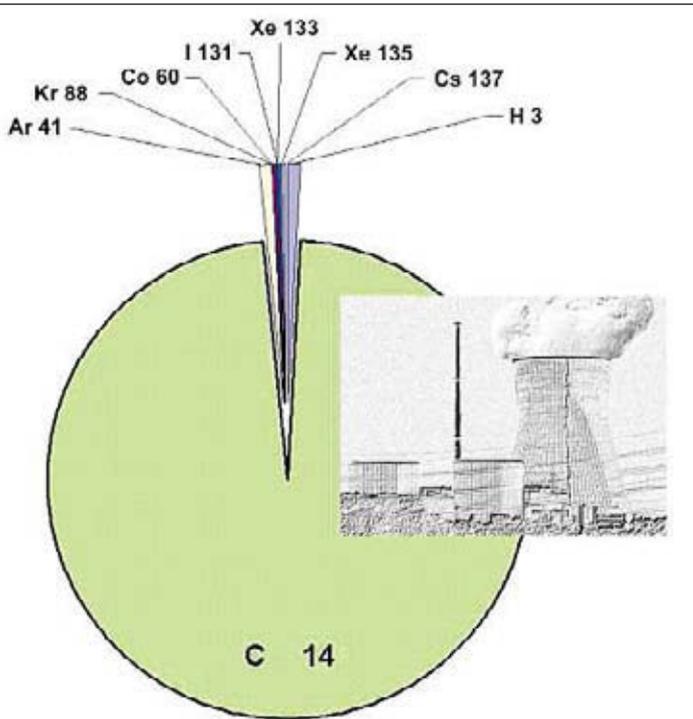


Prozentualer Anteil der Kontrollmessungen durch das BfS

Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) jährlich einen Ringversuch „Abluft“ zur Messung der Aktivität von Radionukliden auf Standardfiltern und einen Ringversuch „Abwasser“ zur Bestimmung der Radionuklidzusammensetzung einer Modellabwasserprobe sowie einer realen Abwasserprobe. Neben den zur Teilnahme verpflichteten kerntechnischen Anlagen in Deutschland haben in den letzten Jahren auch vermehrt internationale Messlabore an diesen Ringversuchen teilgenommen. Die Ringversuche des BFS haben zu einem sehr hohen messtechnischen Qualitätsniveau bei den teilnehmenden Messlaboren geführt und stellen dieses auch zukünftig sicher. Bei Routinemessungen ermöglichen die in diesen Ringversuchen ermittelten Kenngrößen für die Qualität der Messlabore eine objektive Bewertung von Messergebnissen.

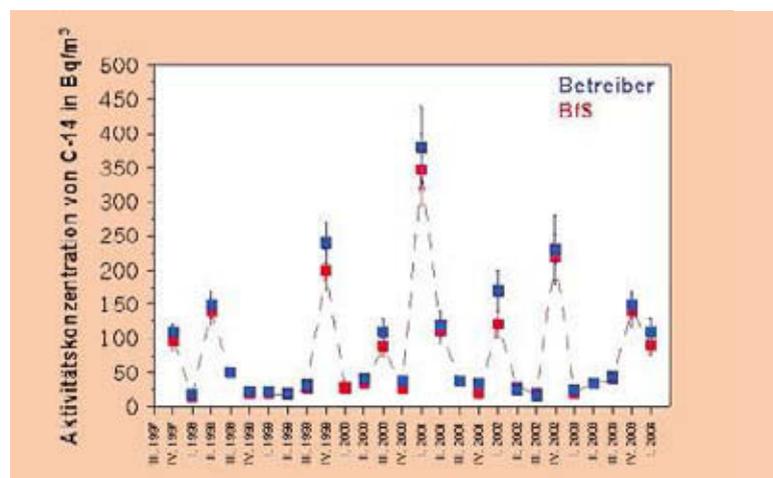
### Ergebnisse von Kontrollmessungen am Beispiel des Radionuklids C-14

Den Hauptdosisanteil der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft hervorgerufenen Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken wird im Wesentlichen durch das Radionuklid Kohlenstoff-14 (C-14) bestimmt. Dosisbestimmend ist hierbei vor allem die Ingestion von C-14 in Form von Kohlendioxid, welches in die Nahrungskette gelangt und vom Menschen mit dem Essen aufgenommen wird. Zur Verdeutlichung sind in der folgenden Abbildung die über alle Standorte der in Betrieb befindlichen deutschen Kernkraftwerke gemittelten Anteile der jeweiligen Radionuklide an der effektiven Dosis für Erwachsene aufgetragen.



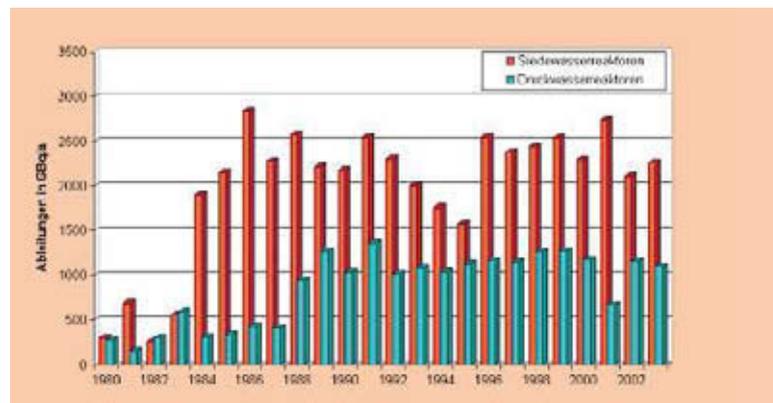
Dosisanteile von mit Luft abgeleiteten Radionukliden beim Betrieb von Kernkraftwerken

Die für alle deutschen Atomkraftwerksstandorte ermittelten effektiven Dosen für Erwachsene weisen Werte von weniger als 10 Mikrosievert auf und liegen demzufolge deutlich unter dem in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwert von 300 Mikrosievert. Zur realistischen Berechnung der effektiven Dosis ist die Verlässlichkeit der vom Betreiber ermittelten Emissionsdaten von entscheidender Bedeutung. Eine entsprechende Bewertung der betriebsereignen Messdaten erlaubt exemplarisch der in der folgenden Abbildung dargestellte Vergleich mit den Ergebnissen der Kontrollmessungen des BFS. Im vorliegenden Fall stimmen die ermittelten Aktivitätskonzentrationen des Radionuklids C-14 im Rahmen der jeweiligen Messunsicherheiten gut überein.



Vom Betreiber und dem BFS ermittelte C-14-Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft von Kernkraftwerken

Um einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der Aktivitätsableitungen an C-14 aus deutschen Siedewasser- und Druckwasserreaktoren seit 1980 zu erhalten, sind die Werte in der Abbildung unten aufgetragen. Der sprunghafte Anstieg der Ableitungen an C-14 aus Siedewasserreaktoren im Jahr 1984 und aus Druckwasserreaktoren im Jahr 1988 ist durch die Inbetriebnahme einiger großer Kernkraftwerksblöcke bedingt.



Jährliche Aktivitätsableitungen von C-14 als Kohlendioxid mit der Fortluft aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland

Das vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Kontrolle der Eigenüberwachung durchgeführte Messprogramm stellt ein effektives und effizientes Instrument zur Qualitätssicherung bei der Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen dar. Die qualitätsgesicherte Überwachung ermöglicht eine realitätsnahe Berechnung der Strahlenexposition und gewährleistet den Schutz der Bevölkerung.

## SICHERHEITSÜBERPRÜFUNG VON KERNKRAFTWERKEN – STAND UND ENTWICKLUNG

Ansprechpartner: Rudolf Görtz (0 18 88/3 33-15 40)

Durch die Novelle des Atomgesetzes (AtG) vom 22. April 2002 wurde die Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen rechtlich umgesetzt. § 19 a AtG regelt die Sicherheitsüberprüfung (SÜ) für Kernkraftwerke während ihrer Restlaufzeit. Damit die SÜ bundeseinheitlich nach dem Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt werden, entwickelt der Bund unter Beteiligung der Ländergenehmigungs- und Aufsichtsbehörden hierfür Leitfäden, zum einen als übergeordnetes Dokument die „Grundlagen der SÜ“, des Weiteren für die deterministische Sicherheitsstatusanalyse und die probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) (s. a. BFS-Jahresberichte 2002 und 2003).

Unterhalb der Ebene dieser behördlichen Leitfäden, welche die wesentlichen Vorgaben bezüglich Analyseumfang, Ergebnisdarstellung und -bewertung umfassen, werden Einzelheiten zur Durchführung der Analysen von Expertengruppen aus Herstellern, Gutachtern, Betreibern und beratenden Firmen erarbeitet. Die Expertengruppen und ihre Arbeitskreise werden vom BfS geleitet, die erarbeiteten Fachbände sollen als BFS-Berichte verfügbar gemacht werden.

Zentrales Arbeitsergebnis im Jahre 2004 waren die abschließenden Beratungen der beiden Fachbände zur PSA, die kurz als Methoden- und Datenband PSA bezeichnet werden.

Die durchgeführten Arbeiten umfassen die Einbeziehung moderner Methoden zur Beschreibung von Personalhandlungen, die Analyse von Notfallmaßnahmen, Methoden und Daten für die Analyse von Bränden, Verbesserung von Schätzverfahren für die Zuverlässigkeit von Komponenten, insbesondere bei geringer Zahl beobachteter Ausfälle sowie Analysen von Zuständen außerhalb des Leistungsbetriebs. Im Jahre 2004 wurden insbesondere die wichtigen Bereiche der „Einwirkungen von Außen“ – dazu gehören z. B.

Explosionsdruckwellen, Erdbeben, Hochwasser und der Flugzeugabsturz – und die Analysen der Stufe 2 abgeschlossen. Im Gegensatz zu Analysen der Stufe 1, die mit dem Schaden am Reaktorkern endet, wird im Rahmen der Stufe 2 die Art und Menge radioaktiver Stoffe untersucht, die in Unfallabläufen aus dem Reaktorkern zunächst in die Anlage und dann weiter in die Umgebung freigesetzt werden und welches die Häufigkeit dieser Abläufe ist. Durch diese Erkenntnisse wird nicht zuletzt eine Optimierung des Notfallschutzkonzeptes der Anlagen ermöglicht.

Insgesamt wurde gegenüber früheren Sicherheitsüberprüfungen ein erheblich erweiterter und genauer beschriebener Analyseumfang festgelegt. Dieser Aufwand ist allerdings dadurch mehr als gerechtfertigt, da auf diesem Wege ein präziseres Bild der Sicherheit der Anlagen resultiert und somit zielgerichtet der Frage erforderlicher Sicherheitsverbesserungen nachgegangen werden kann.

## ALTERUNGSMANAGEMENT UND SICHERHEITSKULTUR IN DEUTSCHEN KERNKRAFTWERKEN

Ansprechpartner: Burkhard Ernst (0 18 88/3 33-15 42)

Das Ziel eines Alterungsmanagements ist, eine Abnahme des Sicherheitsniveaus infolge möglicher Alterungsprozesse durch entsprechende Maßnahmen zu verhindern. Am 23. Juli 2004 hat die Reaktorsicherheitskommission eine Empfehlung zur „Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken“ ausgesprochen (RSK, [www.rskonline.de](http://www.rskonline.de)). Durch die Betriebsüberwachung wird die Alterung im Bereich der Technik kontrolliert. Dies umfasst die zeitliche Änderung der Eigenschaften von mechanischen Komponenten, elektro- und leittechnischen Komponenten, baulichen Anlagen und Hilfs- und Betriebsstoffen. Für die weiteren Bereiche Anlagenkonzeption/Technologie (Hardware, Software, Betriebsführungssysteme, Dokumentation...) und Personal (Kompetenzerhalt) werden ebenfalls Alterungsmechanismen betrachtet und Überwachungsverfahren vorgeschlagen.

Das BfS nimmt koordinierend an der Umsetzung dieser RSK-Empfehlung in die behördliche Aufsicht teil, mit dem Ziel, dass in den Anlagen das Alterungsmanagement bundeseinheitlich betrieben wird.

Im Jahre 2004 wurde ein Untersuchungsvorhaben abgeschlossen, in dem anlagenübergreifend der Wissensstand zu Alterungsmechanismen mit dem Ziel aufgearbeitet wurde, fachliche Grundlagen für

bundeseinheitliche behördliche Anforderungen an das Alterungsmanagement zu schaffen und die Berichte der Kraftwerksbetreiber zum Alterungsmanagement in ihrer inhaltlichen Tiefe zu harmonisieren.

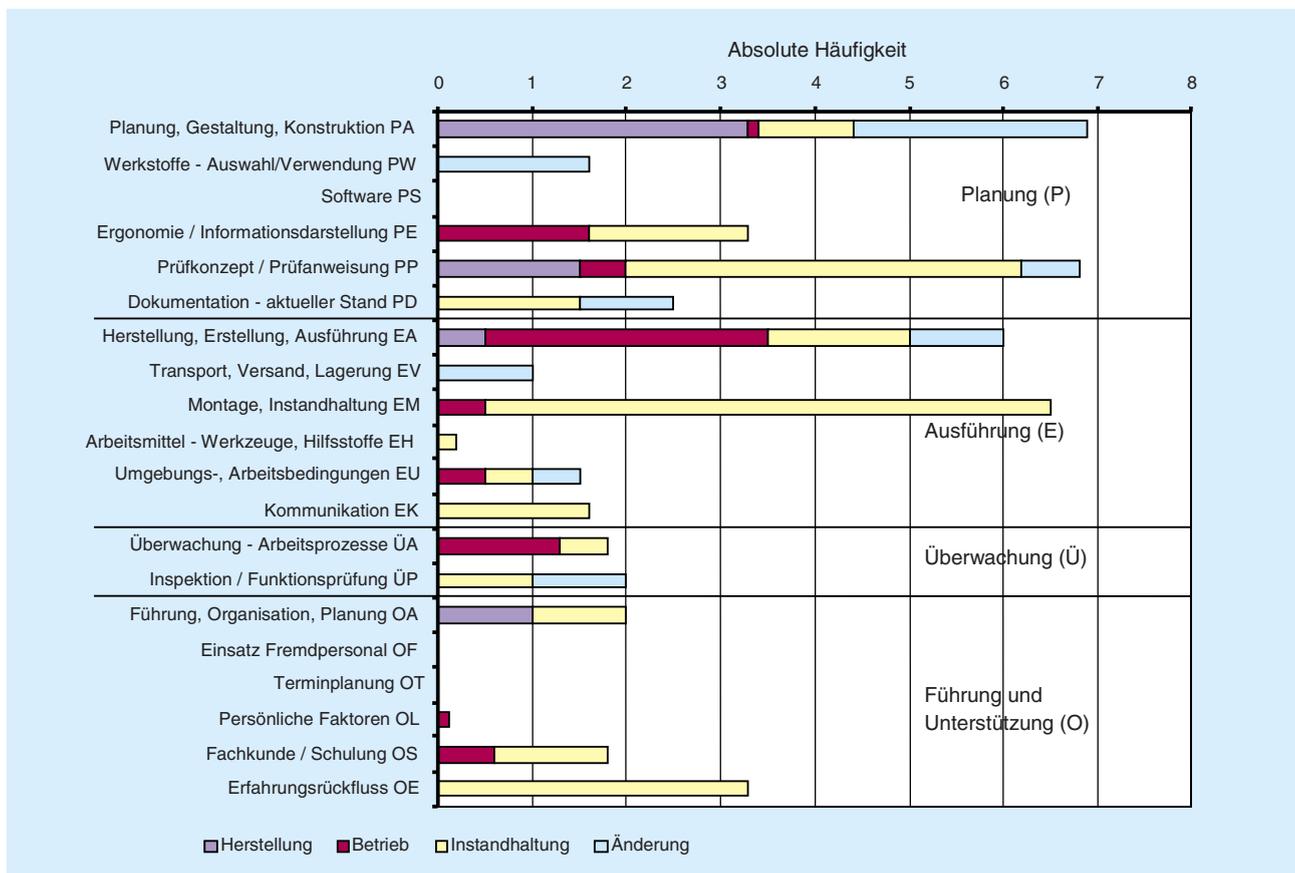
Fragen der Sicherheit von Atomkraftwerken muss oberste Priorität eingeräumt werden. Es muss sich in den Köpfen der Mitarbeiter eine Sicherheitskultur entwickeln, damit während des laufenden Betriebes und besonders zum Ende der gesetzlich vereinbarten Restlaufzeiten die sicherheitstechnischen Erfordernisse stets angemessen berücksichtigt werden. Die Sicherheitskultur selbst ist nicht beobachtbar, sie wird im Verhalten der Mitarbeiter und administrativen Vorgaben des Unternehmens im Sicherheitsmanagement, welches das Alterungsmanagement beinhaltet, sichtbar. In den letzten Jahren wurden national und international Untersuchungen zu Methoden und Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Sicherheitskultur und Sicherheitsmanagement durchgeführt.

Das Vorhaben „Entwicklung praxisgerechter Bewertungskriterien für die Sicherheitskultur in deutschen Kernkraftwerken“ wurde im Jahr 2004 abgeschlossen. Ausgehend von dem Gedanken, dass aus den Ursachen von Störungen und Ereignissen Indikatoren abgeleitet werden können, die Hinweise auf organisatorische und Management-Defizite geben, wurde ein

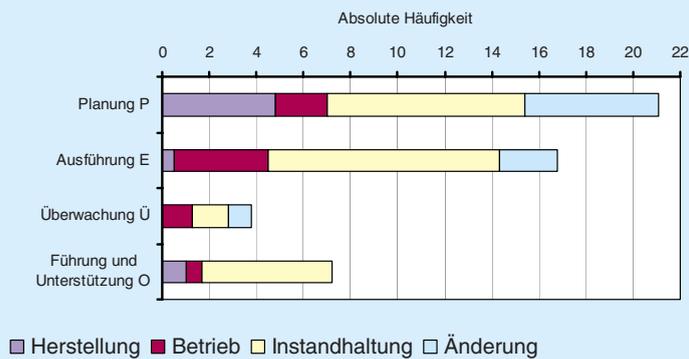
„ereignisbasiertes Bewertungsverfahren von Sicherheitskultur“ entwickelt. Dieses Verfahren verwendet 24 Elemente, die Rückschlüsse auf die Sicherheitskultur erlauben. Ein strukturierter Merkmalkatalog von Ursachenkategorien, der wie eine Checkliste verwendet werden kann, ermöglicht es, aus den Stör- bzw. Ereignisberichten die benötigten Hintergrundinformationen zu gewinnen. Der Analyseprozess gliedert sich in vier Schritte:

- Erfassung und Strukturierung aller verfügbaren Ereignisinformationen,
- Vollständigkeits- und Plausibilitätskontrolle, vertiefte ganzheitliche Ursachenbestimmung,
- Zuordnung zu den Ursachenmerkmalen und Abschätzung deren Wertigkeit,
- Erstellung eines Profils der ermittelten Merkmale und Bewertung.

Die Gewichtung der Ursachen erfolgt im dritten Schritt. Für jedes Ereignis wird jeder Ursachenkategorie ein Zahlenwert zugeordnet, der ein Maß für den Beitrag dieser Kategorie zur Verursachung des Ereignisses darstellen soll. Der Wert 1,0 gilt für eine unmittelbare Ursache, die für sich allein zu diesem Ereignis führt. Indirekte Ursachen, die nur in Verbindung mit anderen Umständen zu einem Ereignis führen, erhalten den Additionswert 0,5 und Ursachen, die das Ereignis schwach verschlechternd beeinflussen, den Wert 0,1. Die Summe der ermittelten



Ereignisauswertung nach einzelnen Kategorien (Mensch-Technik-Organisation) - Stichprobe aus 34 Ereignissen



Ereignisauswertung nach Prozessgruppen - Stichprobe aus 34 Ereignissen

Maßzahlen von allen Ereignissen in einem Zeitabschnitt liefert ein Profil für die Anlage. Das abgebildete Profil wurde aus 34 realen Ereignissen in einer Referenzanlage ermittelt. Im ersten Bild erfolgt die Zuordnung nach den Kategorien „Mensch-Technik-Organisation“ aus dem Merkmalkatalog.

Die Zusammenfassung in Prozessgruppen (Planung (P), Ausführung (E), Überwachung (Ü) und Führung/Unterstützung (O)) zeigt direkt in einem Diagramm die auffälligen Merkmale, die eine Organisation schwächen – im dargestellten Beispiel sind dieses die Planung und die Ausführung der Instandhaltung.

Auch wenn diese Methode keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich der Ursachenanalyse erheben kann, ermöglicht sie doch auf eine einfache Weise, u. U. ohne die Anlage zu betreten, aus den Berichten über Ereignisse Hinweise über die Sicherheitskultur zu gewinnen.

Die erläuterten Indikatoren dienen nur dem Auffinden von Schwachstellen innerhalb einer Anlage. Quantitative Indikatoren, die den Stand der Sicherheitskultur in den verschiedenen Anlagen vergleichbar machen, existieren noch nicht.

## RADIOAKTIVE ABFÄLLE AUS DER STILLLEGUNG KERNTÉCHNISCHER ANLAGEN IN DEUTSCHLAND

Ansprechpartner: Bernd Rehs (0 18 88/3 33-15 47)

Kerntechnische Anlagen werden nach ihrer endgültigen Abschaltung stillgelegt. Hierbei wird das radioaktive Inventar der Anlage – eventuell nach einer längeren Phase des sicheren Einschlusses – aus der Anlage entfernt und als radioaktiver Abfall entsorgt. Wenn durch Messungen nachgewiesen wurde, dass die aus dem Betrieb der Anlage stammende Radioak-

tivität aus der Anlage soweit entfernt wurde, dass die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Freigabewerte nicht überschritten werden, können die Gebäude der Anlage ggf. vollständig beseitigt werden.

Der Hauptbeitrag radioaktiver Abfälle stammt aus der Stilllegung von Kernkraftwerken und Anlagen der Kernbrennstoffver- und -entsorgung, deutlich geringere Mengen kommen aus der Stilllegung von Forschungsreaktoren und sonstigen kerntechnischen Forschungseinrichtungen.

### Abfallarten und Entsorgungswege

In Deutschland liegen umfangreiche Erfahrungen mit der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen vor. Es hat sich herausgestellt, dass die Behandlung und Beseitigung von Stilllegungsabfällen eine Schlüsselrolle im gesamten Stilllegungsablauf einnimmt.

Bei Stilllegungsabfällen handelt es sich um schwach- und mittelradioaktive Abfälle, bei denen im Falle von Atomkraftwerken und Forschungsreaktoren die vergleichsweise kurzlebigen Beta/Gamma-Strahler Cäsium-137 mit einer Halbwertszeit von 30,2 Jahren und Kobalt-60 mit einer Halbwertszeit von 5,3 Jahren dominieren. Bei Abfällen aus Anlagen der Kernbrennstoffver- und -entsorgung kommen langlebige Alpha-Strahler hinzu, wie z. B. Plutonium-239 mit einer Halbwertszeit von 24.110 Jahren oder Americium-241 mit einer Halbwertszeit von 432,2 Jahren, die wegen ihrer Alpha-Aktivität besonders radiotoxisch sind.

Der bei weitem größte Anteil der in stillgelegten Kernkraftwerken vorhandenen radioaktiven Stoffe (ca. 99 %) ist als Aktivierung (d. h. Material wird durch Bestrahlung mit Neutronen radioaktiv) in Materialien von Reaktordruckbehälter, Einbauten und biologischem Schild fest eingebunden. Diese Materialien werden als radioaktiver Abfall entsorgt. Die darüber hinaus vorhandene radioaktive Kontamination befindet sich überwiegend auf den inneren Oberflächen verschiedener Systeme und wird durch geeignete Dekontaminationsverfahren so weit entfernt, dass sie danach freigegeben werden können. So wird ein großer Teil der bei der Stilllegung anfallenden Reststoffe nach den verschiedenen Materialsorten getrennt gesammelt und ggf. sortiert, um sie dann mit den folgenden Optionen freizugeben:

- Uneingeschränkte Freigabe,
- Freigabe zur Beseitigung,
- Freigabe von Gebäuden zum Abriss,
- Freigabe zur Rezyklierung (Einschmelzen von Metallen).

Hierbei werden die Kriterien, die einer Entscheidung über die Freigabefähigkeit von Reststoffen zugrunde

zu legen sind, in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vorgegeben. Weiterhin können Reststoffe einer Verwertung im kerntechnischen Bereich oder der direkten Wiederverwendung im Bereich einer anderen atomrechtlichen Genehmigung zugeführt werden. Nur dann, wenn Messungen ergeben haben, dass keiner der oben genannten Entsorgungswege gangbar ist, wird der Reststoff als radioaktiver Abfall deklariert.

Durch die Behandlung der radioaktiven Abfälle mit bewährten Standardverfahren wird das Abfallvolumen weiter reduziert. Zu diesen Standardverfahren zählen die Hochdruckverpressung und die Verbrennung von festen radioaktiven Abfällen sowie die Verdampfung von Flüssigkeiten.

### Abfallaufkommen aus der Stilllegung

Die bereits laufenden Stilllegungsprojekte und die beginnende Stilllegung weiterer Atomkraftwerke lassen das Aufkommen an radioaktiven Abfällen in den kommenden Jahren ansteigen. Abschätzungen der Abfallvolumina sind wichtig für die Planung von Lagereinrichtungen, aber stark abhängig von zukünftigen technischen, logistischen, aber auch rechtlichen Entwicklungen (z. B. im Hinblick auf Freigabe). Bei der Stilllegung des im November 2003 endgültig abgeschalteten Kernkraftwerks in Stade (KKS) fallen nach Betreiberangaben voraussichtlich ca. 3.000 Tonnen radioaktiven Abfalls an. Das sind etwa 2,4 % der Rückbaumassen des nuklearen Bereiches des Kernkraftwerks. Diese Abfallmasse ergibt ein Abfallvolumen von ca. 4.000 m<sup>3</sup> (incl. Behälter). Unter Zugrundelegung von Planungswerten für sämtliche deutschen Kernkraftwerke (zurzeit 18 in Betrieb und weitere 18 abgeschaltet) ist mit einem Gesamtaufkommen radioaktiver Abfälle in der Größenordnung von etwa 158.000 m<sup>3</sup> aus der Stilllegung dieser Anlagen zu rechnen.

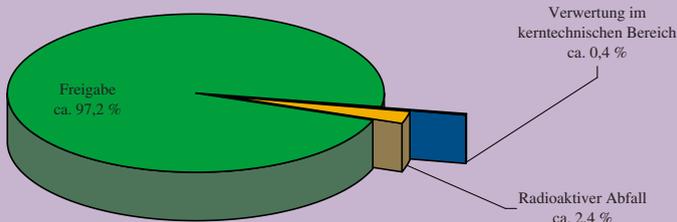
### Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen

Da derzeit kein Endlager für die Entsorgung radioaktiver Abfälle zur Verfügung steht, müssen die radioaktiven Abfälle zwischengelagert werden, bis ein Endlager betriebsbereit ist. In dieser Situation errichten die Betreiber an den Stilllegungsstandorten Zwischenlager für radioaktive Abfälle, die nach dem Abbau der Anlage autark weiterbetrieben werden. Solche Lager wurden auch für die beiden jüngsten Stilllegungsprojekte in Deutschland, das Kernkraftwerk in Mülheim-Kärlich (KMK) und in Stade (KKS), beantragt. Die radioaktiven Abfälle werden dort in endlagerfähiger (sog. konditionierter) Form so lange zwischengelagert, bis sie zur Endlagerung abgegeben werden können. Im Falle der stillgelegten Kernkraftwerksblöcke 1-5 in Greifswald (KGR) werden nicht nur konditionierte radioaktive Abfälle, sondern auch ganze Komponenten (z. B. Dampferzeuger) im sog. Zwischenlager Nord (ZLN) zeitweise gelagert.



Zwischenlagerung von Komponenten (hier: Dampferzeuger) im Zwischenlager Nord (ZLN) aus den in Stilllegung befindlichen Kernkraftwerksblöcken 1-5 in Greifswald. (Quelle: EWN GmbH)

Rückbaumasse nuklearer Bereich ca. 127.540 t



Prozentuale Aufteilung der Entsorgungswege für die bei der Stilllegung voraussichtlich anfallenden Reststoffe aus dem nuklearen Bereich im Falle des abgeschalteten Kernkraftwerks in Stade. (Quelle: E.ON Kernkraft GmbH)

### Internationales Projekt der IAEA

Die Thematik „Behandlung und Lagerung von Stilllegungsabfällen“ wird auch auf internationaler Ebene diskutiert. Das BfS beteiligt sich in diesem Rahmen an einem Co-ordinated Research Project (CRP) der IAEA (Wien) mit dem Titel „Disposal Aspects of Low and Intermediate Level Decommissioning Waste“, um die deutschen Erfahrungen anderen Ländern zugänglich zu machen.

## MELDEPFLICHTIGE Ereignisse in Kerntechnischen Einrichtungen der Bundesrepublik im Jahr 2004

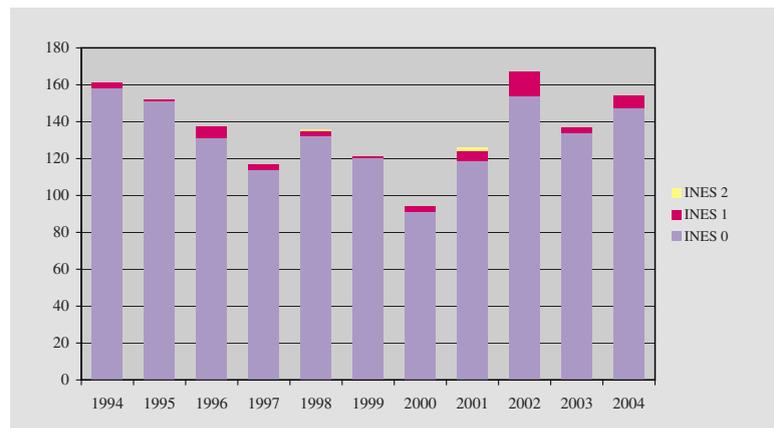
Ansprechpartner: Matthias Reiner (0 18 88/3 33-15 70)

Störfälle und andere wesentliche Ereignisse in kerntechnischen Anlagen müssen von den Betreibern an die jeweils zuständigen Landesaufsichtsbehörden gemeldet werden. Grundlage ist die Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) vom 14. Oktober 1992. Zusätzlich werden diese Ereignisse nach der Internationalen Bewertungsskala (INES) für Ereignisse in kerntechnischen Einrichtungen hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bedeutung eingestuft. Das behördliche Meldeverfahren und die internationale INES-Skala wurden im Jahresbericht des BfS 2002 (Seiten 43 ff.) ausführlich erläutert.

Die Störfallmeldestelle des BfS hat die Aufgabe, alle meldepflichtigen Ereignisse, die in kerntechnischen Einrichtungen (Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren, Anlagen der Kernbrennstoff-Versorgung und -Entsorgung) auftreten, zu erfassen, zu dokumentieren und für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit auszuwerten. Das BfS unterstützt damit das Bundesumweltministerium bei der Unterrichtung der Öffentlichkeit über solche Ereignisse und trägt andererseits durch systematische Auswertung dazu bei, dass Störungen im Betriebsablauf in kerntechnischen Einrichtungen bereits im Vorfeld vermieden werden können. Die von der Störfallmeldestelle erstellten Berichte über meldepflichtige Ereignisse sind von der Internet-Homepage des BfS abrufbar <http://www.bfs.de/kerntechnik/ereignisse/berichte>.

Das Diagramm oben rechts zeigt eine Übersicht über die in den Jahren 1994 – 2004 aus den deutschen Kernkraftwerken gemeldeten meldepflichtigen Ereignisse, aufgeschlüsselt entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung in den einzelnen INES-Stufen. Ereignisse mit einer INES-Einstufung oberhalb der Stufe 2 gab es in deutschen Kernkraftwerken bisher nicht.

Im Durchschnitt ereigneten sich in den Atomkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland seit 1994 pro Jahr ca. 136 meldepflichtige Ereignisse. Trenderaussagen über die Häufigkeit von gemeldeten Ereignissen



Meldepflichtige Ereignisse 1994 - 2004

sind aus dieser Statistik nicht ableitbar. Bei der Betrachtung der Häufigkeiten gemeldeter Ereignisse sind neben anlagenspezifischen Belangen auch die möglichen Interpretationsspielräume im Bereich der Meldeschwelle durch die teilweise notwendigen, verallgemeinernden Formulierungen der Meldekriterien in der AtSMV zu beachten. Zur Einengung dieser Interpretationsspielräume wurden Erläuterungen zu den Meldekriterien erstellt, die anhand der praktischen Erfahrungen bei der Anwendung der AtSMV regelmäßig vom Bund-Länder-Ausschuss für Atomkernenergie angepasst werden. Die Störfallmeldestelle des BfS beteiligt sich aktiv an diesem Prozess. Eine erste Überarbeitung der Erläuterungen zu den Meldekriterien erfolgte im Jahr 1997. Ende 2004 wurden erneut präziserte Erläuterungen zu den Meldekriterien für Kernkraftwerke durch den Länderausschuss für Atomkernenergie gebilligt.

Ausführliche Beschreibungen aller Ereignisse der Meldekategorien E oder S bzw. mit einer INES-Einstufung oberhalb oder in die Stufe 1 sind in den Berichten der Störfallmeldestelle auf den Internetseiten des BfS enthalten.

Wie aus der Tabelle unten zu entnehmen ist, wurden 2004 aus deutschen Kernkraftwerken 154 meldepflichtige Ereignisse gemeldet. Davon wurden 148 Ereignisse in die Meldekategorie N und 6 Ereignisse in die Kategorie E eingestuft. 7 Ereignisse wurden der INES-Stufe 1 und 147 der INES-Stufe 0 zugeordnet.

Aus den deutschen Forschungsreaktoren mit mehr als 50 kW thermischer Dauerleistung wurden im Jahr

|            | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| INES 0     | 158  | 151  | 131  | 114  | 132  | 120  | 91   | 119  | 154  | 134  | 147  |
| INES 1     | 3    | 1    | 6    | 3    | 3    | 1    | 3    | 5    | 13   | 3    | 7    |
| INES 2     | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | 2    | -    | -    | -    |
| Gesamtzahl | 161  | 152  | 137  | 117  | 136  | 121  | 94   | 126  | 167  | 137  | 154  |

Meldepflichtige Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken 1994 - 2004

2004 7 (2003: 16) meldepflichtige Ereignisse gemeldet. Alle Ereignisse wurden in der Kategorie N gemeldet und in die INES-Stufe 0 (keine oder sehr geringe sicherheitstechnische Bedeutung) eingeordnet. Aus den Anlagen zur Kernbrennstoffver- und -entsorgung wurden im Jahr 2004 insgesamt 35 (2003: 42) Ereignisse erfasst. 34 Ereignisse wurden in der Meldekategorie N und mit INES-Stufe 0 gemeldet, ein Ereignis in der Meldekategorie E und INES-Stufe 0.

## FORSCHUNG FÜR MEHR SICHERHEIT UND STRAHLENSCHUTZ

Ansprechpartner:

Hans-Peter Berg (0 18 88/3 33-15 01)

Zur Durchführung seiner gesetzlichen Aufgaben und für die geordnete und sichere Beendigung der Nutzung der Atomenergie im Rahmen einer neuen Energiepolitik hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) technisch-wissenschaftliche Fragen von grundsätzlicher Bedeutung für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen und den Schutz des Menschen vor den Gefahren ionisierender und nicht ionisierender Strahlung zu klären. Für anstehende Entscheidungen sind wissenschaftlich-technische und rechtliche Grundlagen zu schaffen und komplexe Sachverhalte zu bewerten, welche die Einbeziehung externen Sachverständigen erfordern. Dazu stehen dem BMU Haushaltsmittel im Rahmen der Ressortforschung zur Verfügung, um Untersuchungen, Gutachten und Studien zur Klärung von Einzelfragen an Universitäten, Forschungsinstituten, Sachverständigenorganisationen oder Firmen zu vergeben.

Die zur Lösung aktuell anstehender Fragestellungen auf den Gebieten der kerntechnischen Sicherheit und des Strahlenschutzes durchzuführenden neuen Maßnahmen, Untersuchungen und Projekte unterliegen einem jährlichen Planungsprozess mit Prioritätensetzung und sind Bestandteil des Umweltforschungsplanes (UFOPLAN), der alle geplanten Ressortforschungsvorhaben mit umweltpolitischer Bedeutung umfasst. Die Liste der prioritär durchzuführenden Vorhaben des Umweltforschungsplanes wird zu Beginn eines jeden Jahres auf der Homepage des BMU veröffentlicht und ist unter der Adresse <http://www.bmu.bund.de/forschung/aktuell/aktuell/1239.php> aufrufbar.

Das BfS unterstützt das BMU fachlich, wissenschaftlich auf den Gebieten des Strahlenschutzes und der kerntechnischen Sicherheit. Das BfS ist administrativ insbesondere für die Initiierung, fachliche Begleitung und Auswertung einzelner Untersuchungsvorhaben

verantwortlich. Weiterhin unterstützt es das BMU bei der Koordinierung der Ressortforschung in der Planungs- und Ausführungsphase.

Im Jahr 2004 wurden rund 132 Untersuchungsvorhaben fachlich und etwa 201 Vorhaben verwaltungsmäßig durch das BfS betreut. Insgesamt standen dem BfS im Jahr 2004 für die BMU-Ressortforschung 8,8 Millionen Euro für den Strahlenschutz und 21 Millionen Euro für die kerntechnische Sicherheit zur Verfügung.

Die im Rahmen von Ressortforschungsvorhaben erarbeiteten Ergebnisse werden in der Schriftenreihe „Reaktorsicherheit und Strahlenschutz“ auf der BMU Homepage eingestellt. Die als pdf-files verfügbaren Ergebnisberichte sind unter [http://www.bmu.bund.de/strahlenschutz/schriftenreihe\\_reaktorsicherheit\\_strahlenschutz/doc/20112.php](http://www.bmu.bund.de/strahlenschutz/schriftenreihe_reaktorsicherheit_strahlenschutz/doc/20112.php) auf der BMU Homepage zu finden.

Nachstehend werden Zielsetzung, Vorgehensweise und Gegenstand der Ressortforschung anhand konkreter Beispiele verdeutlicht.

### Solare UV-Belastung bei unterschiedlich zur Sonne geneigten Körperoberflächen

Ansprechpartner:

Manfred Steinmetz (0 18 88/3 33-21 49)

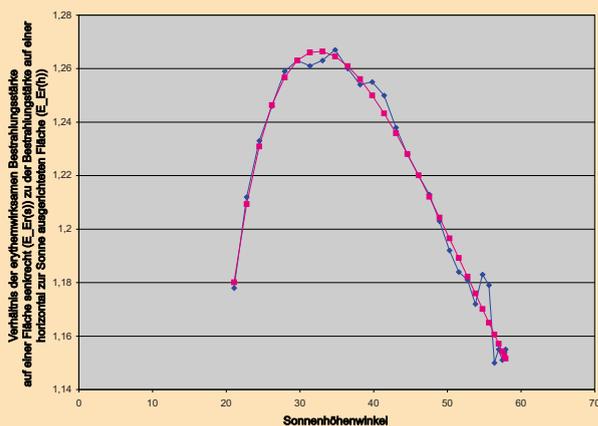
Der bundesweite solare UV-Messverbund erfasst die UV-Strahlung, wie international üblich, mit horizontal ausgerichteten Empfängerflächen. Eine solche Ausrichtung ist für Vergleichsmessungen unabdingbar und dient als Basis für die Ermittlung des standardisierten UV-Index (UVI), der während des Tages auftretenden maximalen sog. sonnenbrandwirksa-



Messaufbau mit schwenkbarem Detektor (links) und thermostabilisiertem Spektralradiometer (rechts) am Sylter Strand

men UV-Strahlung. Der Mensch empfängt jedoch auf direkt zur Sonne ausgerichteten Flächen, den sog. Sonnenterrassen (wie z. B. Nase, Stirn, Hände, Fußrücken und Schultern), mehr UV-Strahlung als auf horizontalen Flächen, so dass der UV-Index für solche Bereiche nicht unbedingt aussagekräftig ist. Aus diesem Grund hat das BfS die Universität Kiel beauftragt, diesen Mehrbetrag der UV-Belastung quantitativ zu bestimmen und einen möglichen Korrelationsfaktor zum standardisierten UV-Index zu ermitteln. Die Messungen wurden auf der Nordseeinsel Sylt durchgeführt (s. Abb. auf Seite 64), wo sich die Menschen in hohem Maße im Urlaub am Strand der UV-Strahlung aussetzen.

Neben den Messungen mit den o. g. zwei Spektraleradiometern – das eine als Referenz mit horizontaler, das andere mit zur Sonne ausgerichteter Empfänger – wurden parallel dazu Modellrechnungen durchgeführt. Ein Vergleich zwischen Messung und Modell ermöglichte eine Abschätzung darüber, wie gut die



Die Grafik zeigt die UV-Mehrbelastung von geneigt zu horizontal ausgerichteter Fläche in Abhängigkeit vom Sonnenhöhenwinkel

aktuellen Bedingungen durch das Modell erfasst werden. Messung und Modellierung stimmten dabei bis auf wenige Prozent überein. Als wichtigstes Ergebnis zeigten die Kieler Forscher, dass die Erhöhung der UV-Belastung auf geneigten Flächen im Vergleich zur horizontalen Lage vom Sonnenstand abhängt. Die Erhöhung beträgt bei Sonnenhöhen von etwa 30° (im Frühjahr und Herbst zur Mittagszeit) bis zu 25 %, im Sommer bei etwa 60° um die 15 % (siehe Abb. oben).

Da die UVI-Werte im Frühjahr und Herbst nur etwa halb so hoch sind wie im Sommer (bis ca. 8), sind die „Sonnenterrassen“ des Körpers über den gesamten o. a. Zeitraum konstant mit einem um den Wert 1 erhöhten theoretischen UVI-Wert belastet. Unter dem Aspekt der Strahlenschutzvorsorge hat dies auch Auswirkungen auf die Strahlenschutzempfehlungen.

|             |   |
|-------------|---|
| Hauttyp I   | immer Sonnenbrand, kaum Bräunung auch nach wiederholten Bestrahlungen           |
| Hauttyp II  | fast immer Sonnenbrand, mäßige Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen         |
| Hauttyp III | mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen |
| Hauttyp IV  | selten Sonnenbrand, schnell einsetzende Bräunung                                |

Da die Haut der Menschen nicht einheitlich gegenüber UV-Strahlung reagiert, wird in Abhängigkeit von der Sonnenbrandschwelle zwischen vier verschiedenen Hauttypen in Europa unterschieden. Die Sonnenbrandschwelle ist demnach bei Hauttyp I am niedrigsten. Hauttyp IV dagegen besitzt die geringste Empfindlichkeit gegenüber längerer Expositionszeit.

Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) werden Schutzmaßnahmen für den Hauttyp II ab einem UV-Index von 6 für erforderlich und ab 8 für unbedingt erforderlich gehalten. Im Frühjahr und Herbst werden im Norden und Süden Deutschlands UVI-Werte von 4 bzw. 5 gemessen, im Sommer UVI-Werte von 6 bzw. 7. Für die Sonnenterrassen des Körpers bedeutet dies im o. a. Zeitraum eine um jeweils eine Stufe verschärfte Schutzempfehlung im Süden Deutschlands. Diese Ergebnisse werden ab der UV-Saison 2005 von Mai bis September bei der UV-Prognostik und UV-Berichterstattung Berücksichtigung finden.

In einem weiteren Vorhaben soll untersucht werden, wie Wolken die gesamte aus dem Himmelsraum eintreffende UV-Strahlung beeinflussen. Diese Messergebnisse leisten einen wesentlichen Beitrag für ein abschließendes Urteil zu der Thematik der körperflächenbezogenen UV-Dosimetrie.

Mit Hilfe der weiteren Ergebnisse des Forschungsvorhabens lässt sich somit von den mit horizontalen Empfängern ermittelten UVI-Werten auf die tatsächliche UV-Belastung von beliebig geneigten Flächen rückrechnen. Der UV-Index dient als Maßstab für das gesundheitliche Risiko solarer UV-Strahlung. Er ist eine international einheitlich definierte Maßzahl und macht dadurch einen Vergleich zwischen den verschiedenen geografischen Regionen erst möglich. Bei den zukünftigen gesundheitlichen Bewertungen der solaren UV-Strahlung sind jedoch auch die stärkere UV-Belastung und damit die erhöhten UVI-Werte der „Sonnenterrassen“ des Körpers zu berücksichtigen und in die geltenden Strahlenschutzempfehlungen mit aufzunehmen.

## Zusammenstellung und Auswertung von radioökologischen Messdaten zum Transfer Boden/Pflanze unter Berücksichtigung der lokalen Variabilität in Deutschland

Ansprechpartner: Martin Steiner (0 18 88/3 33-25 49)

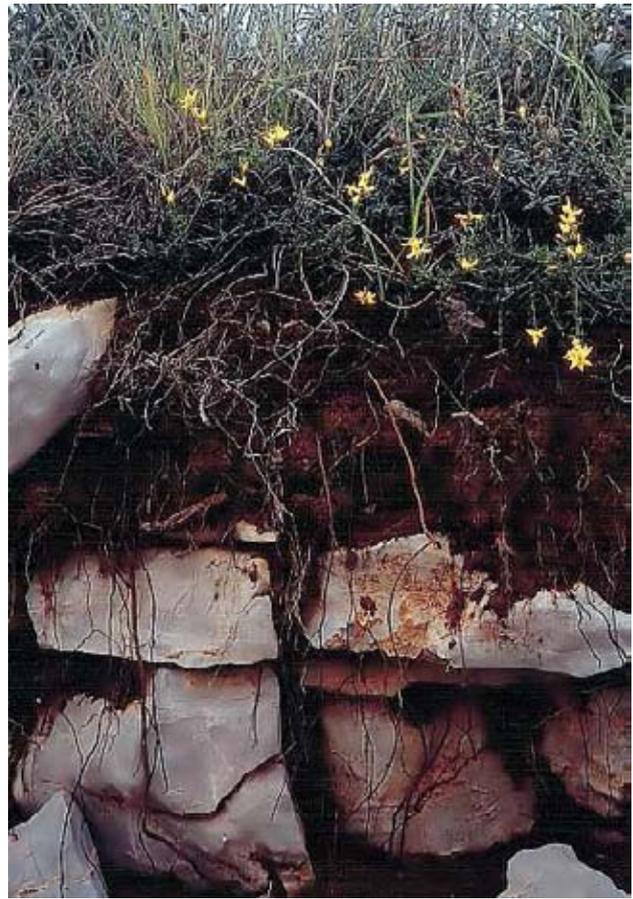
Wie hoch ist die Strahlenexposition des Menschen durch den Verzehr von Lebensmitteln? Um diese Frage beantworten zu können, muss die radioaktive Kontamination von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln bekannt sein. In vielen Fällen kann der Gehalt an radioaktiven Stoffen jedoch nicht direkt gemessen werden. Ein Beispiel hierfür sind radioökologische Begutachtungen im Rahmen von Genehmigungsverfahren, bei denen die radioaktive Kontamination von verschiedenen Umweltmedien infolge zukünftiger Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Umwelt rechnerisch ermittelt werden muss.

Radioaktive Stoffe können von Pflanzen entweder direkt über die Blätter oder über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen werden. Wie hoch die Wurzelaufnahme sein kann, hängt vom Radionuklid, den Bodeneigenschaften, der Pflanzenart, dem betrachteten Pflanzenteil und weiteren Bedingungen ab.

Seit den 50er Jahren wurden in Deutschland zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zum Transfer von langlebigen Radionukliden aus dem Boden in die Pflanze durchgeführt. Ziel des aktuellen Forschungsvorhabens war es, durch eine umfassende Recherche die Fachliteratur, einschlägige Datenbanken und sonstige relevante Quellen möglichst vollständig zu erfassen und auszuwerten. Von knapp 400 gesichteten Quellen enthielten 54 Veröffentlichungen Originaldaten, die den Anforderungen an die Qualität, Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Informationen genügen. Die Daten wurden – sofern erforderlich – auf eine standardisierte Größe, den sogenannten Transferfaktor, umgerechnet und für verschiedene Kombinationen von Boden und Pflanze statistisch ausgewertet. Zudem wurden die Korrelatio-



Bodenprofil in der Wurzelzone eines Getreidefeldes



Querschnitt durch die Wurzelzone an einem Grünlandstandort

nen mit chemisch ähnlichen Elementen und verschiedenen Bodenparametern, wie etwa dem pH-Wert und dem Gehalt an organischer Substanz, untersucht.

Die wesentlichen Ergebnisse werden im Folgenden exemplarisch für Radiocäsium und Radiostrontium dargestellt. Für Radiocäsium konnten insgesamt 3305 Datensätze recherchiert werden. Bemerkenswert ist die extrem große Spannweite der Transferfaktoren von sechs Größenordnungen (Faktor 1.000.000) und mehr. Die niedrigste Wurzelaufnahme wurde im Mittel für Getreide auf lehmigen Böden festgestellt. Besonders hohe Transferfaktoren für Radiocäsium ergaben sich auf organischen Böden. Durch die statistische Analyse konnte nachgewiesen werden, dass der Transferfaktor für Radiocäsium mit dem Gehalt des verfügbaren Kaliums im Boden, dem Tongehalt und dem pH-Wert hochsignifikant negativ korreliert ist, d. h. die Wurzelaufnahme ist umso höher, je niedriger die genannten Bodenparameter sind. Für Radiostrontium liegen 1.009 Datensätze mit Transferfaktoren vor, die einen Wertebereich von vier Größenordnungen (Faktor 10.000) überdecken. Die Wurzelaufnahme ist auf Sandböden im Durchschnitt doppelt so hoch wie auf Lehm Böden, die wiederum um etwa den Faktor 2 höhere Transferfaktoren aufweisen als Tonböden. Die Pflanzenverfügbarkeit von Radiostrontium in organischen Böden ist mit der in mineralischen Böden (Sand, Lehm) vergleichbar. Werden alle Datensätze berücksichtigt, ist

die Radiostrontiumaufnahme hochsignifikant negativ korreliert mit dem Gehalt der organischen Substanz im Boden und dem pH-Wert. Zwischen der Ca-Konzentration in der Pflanze und dem Transferfaktor besteht ein hochsignifikanter positiver Zusammenhang.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens schaffen die notwendige Datengrundlage für regional differenzierte Transferfaktoren, die örtliche Besonderheiten wie z. B. den Bodentyp berücksichtigen. Insgesamt können prognostische radioökologische Berechnungen zuverlässiger durchgeführt und besser an lokale Gegebenheiten angepasst werden. Zur praktischen Anwendung stehen die Transferfaktoren und alle relevanten Zusatzinformationen in einer Datenbank zur Verfügung.

## Mengenaufkommen an NORM-Rückständen für das deutsche Entsorgungskonzept

Ansprechpartnerin: Karin Kugel (0 18 88/3 33-19 10)

In der Vergangenheit wurden NORM-Rückstände (Naturally Occuring Radioactive Materials) zu großen Teilen als nicht radioaktive Abfälle betrachtet und entsorgt. Nur für einige Bereiche mit bekannten radioaktiven Kontaminationen (z. B. Erdölgewinnung) wurde die Radioaktivität bei der Entsorgung bereits kontrolliert und beachtet. In dem Vorhaben wird der Kenntnisstand zum Aufkommen und zu den Charakteristika von überwachungsbedürftigen Rückständen nach § 97 StrlSchV und sonstigen zu überwachenden Materialien nach § 102 StrlSchV zusammengestellt und ein Aktivitäts- und Mengengerüst erarbeitet. Der künftige Regelweg für die Entsorgung der NORM-Rückstände bleibt die Verwertung oder Beseitigung als Abfall im Sinne des Gesetzes zur Förderung der

Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (kurz: Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrW-/AbfG). Voraussetzung für eine diesbezügliche Entsorgung ist die Aufhebung der Eigenschaft radioaktiver Stoff im rechtlichen Sinne, vorzugsweise als Entlassung aus der Überwachung nach § 98 StrlSchV.

Als in der Überwachung verbleibende Rückstände nach Anlage XII Teil A der StrlSchV, die ggf. im deutschen Entsorgungskonzept und damit für eine Endlagerung als radioaktiver Abfall zu berücksichtigen sind, wurden im Rahmen dieses Vorhabens Bauschutt (aus Hinterlassenschaften) und Scales aus der Erdöl- und Erdgasgewinnung identifiziert (Fallgruppe 1).

Bei den sonstigen Materialien, die im Entsorgungskonzept zu berücksichtigen sind, handelt es sich um ungenutzte Chemikalienreste (Uran- und Thoriumverbindungen), ausgesonderte Gasglühkörper sowie Abfälle aus der Herstellung und Nutzung von Gasglühstrümpfen und Schweißelektroden. Zu beachten sind hierbei auch Funde wie z. B. mit NORM kontaminierte Schrotte (Fallgruppe 2). Alle ausgewiesenen Materialien enthalten durchweg Alpha-Strahler. Es wird ein Mindestaufkommen an derartigen Abfällen von ca. 1.000 t (ca. 700 m<sup>3</sup>) über einen Zeitraum von 10 Jahren abgeschätzt. In der folgenden Tabelle wird das erwartete Aufkommen der Fallgruppen 1 und 2 dargestellt.

Wird die Entlassung aus der Überwachung nach § 98 StrlSchV durch eine eingeschränkte Annahmefähigkeit der Abfallwirtschaft (z. B. der Deponien) limitiert, wird ein Maximalwert von ca. 35.000 t (ca. 23.000 m<sup>3</sup>) für einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren abgeschätzt, der als radioaktiver Abfall zu entsorgen ist. Diese Variante wird als eher unrealistisch eingeschätzt.

| Aktivitätsklasse in Bq/g →                  | Masse in Tonnen / 10 Jahre |            |            |                 |            |
|---|----------------------------|------------|------------|-----------------|------------|
|   | 1 - 10                     | 10 - 50    | 50 - 100   | > 100           | > 500      |
| <b>Fallgruppe 1</b>                         |                            |            |            |                 |            |
| Bauschutt (Hinterlassenschaften)            | 10                         | 10         |            |                 |            |
| Scales (Erdöl-Erdgasgewinnung)              |                            |            |            | 10              |            |
| <b>Fallgruppe 2</b>                         |                            |            |            |                 |            |
| Arbeiten mit thorierten Schweißelektroden   |                            | 15         | 52         | 8               |            |
| Verwendung von Gasglühkörpern               |                            |            |            | 2               |            |
| Chemikalienreste                            |                            |            | 1          |                 | 0,1        |
| Thorierte Legierungen                       |                            |            |            | 0,1             |            |
| Herstellung thorierte Schweißelektroden     | 100                        |            | 120        |                 |            |
| Herstellung Gasglühkörper                   | 100                        | 10         |            |                 | 2 (20 (*)) |
| Lampenproduktion                            | 10                         |            |            | 50              |            |
| Verwendung von Uranchemikalien              |                            |            | 0,6        |                 |            |
| Thorierte Optiken                           |                            | 0,01       |            |                 |            |
| Funde (ohne Quellen)                        |                            | 250        | 200        | 50              | 0,1        |
| <b>Masse, gesamt in Tonnen pro 10 Jahre</b> | <b>220</b>                 | <b>660</b> | <b>120</b> | <b>2,2 (20)</b> |            |

(\*)bei Rücknahme der Produkte, keine lineare Hochrechnung wegen abnehmenden Gebrauchs

# Bfs: FAKTEN UND ZAHLEN

Ansprechpartner: Reinhard Naß (0 18 88/3 33-12 01)

Das Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs) ist eine organisatorisch selbständige wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Es wurde am 1. November 1989 errichtet. Nach dem Errichtungsgesetz vom 9. Oktober 1989 erledigt das Bfs Aufgaben des Bundes auf den Gebieten des Strahlenschutzes, einschließlich der Strahlenschutzvorsorge sowie der kerntechnischen Sicherheit, der Beförderung radioaktiver Stoffe und der Entsorgung radioaktiver Abfälle, einschließlich der Errichtung und des Betriebes von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, die ihm durch das Atomgesetz, das Strahlenschutzvorsorgegesetz, andere Bundesgesetze und durch Verordnungen zugewiesen sind.

Das Bfs unterstützt das BMU fachlich und wissenschaftlich, insbesondere bei der Wahrnehmung der Bundesaufsicht, der Erarbeitung von Rechts- und Verwaltungsvorschriften sowie bei der internationalen Zusammenarbeit.

Im Einzelnen befasst sich das Bfs insbesondere mit Fragen des Strahlenschutzes in der Medizin, den Auswirkungen der UV-Strahlung und der elektromagnetischen Strahlung sowie der durch natürliches Radon verursachten Strahlenbelastung. Das Bfs untersucht und überwacht die Strahlenexposition der Bevölkerung und bewertet gesundheitliche Risiken. Für beruflich strahlenexponierte Personen wird ein Strahlenschutzregister geführt, das die individuelle Erfassung von Strahlenbelastungen gewährleistet.

Das Bfs ist Genehmigungs- und Zulassungsbehörde (z. B. bei der Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung am Menschen in der medizini-

schen Forschung sowie der Beförderung von Kernbrennstoffen und Großquellen).

Das Bfs ist gegliedert in eine Zentralabteilung und vier Fachbereiche. Das Bfs hat Standorte in Salzgitter-Lebenstedt (Hauptsitz), Oberschleißheim-Neuherberg bei München, Berlin-Karlshorst, Freiburg, Hanau, Bonn, Rendsburg und Gorleben.

Das Bfs hatte in 2004 im Jahresdurchschnitt 731 Beschäftigte. Im Zuge der Initiative der Bundesregierung zur Erhöhung der Ausbildungsleistung in der Bundesverwaltung hat das Bfs zum 30.09.2004 zusätzlich zu den vorhandenen 13 Ausbildungsplätzen weitere 22 Ausbildungsplätze zur Verfügung gestellt. Damit erhöht sich die Gesamtzahl der Ausbildungsplätze im Jahre 2004 auf 35. Die Verteilung der Beschäftigten auf die Dienstorte und die Zuordnung zu den Laufbahnen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

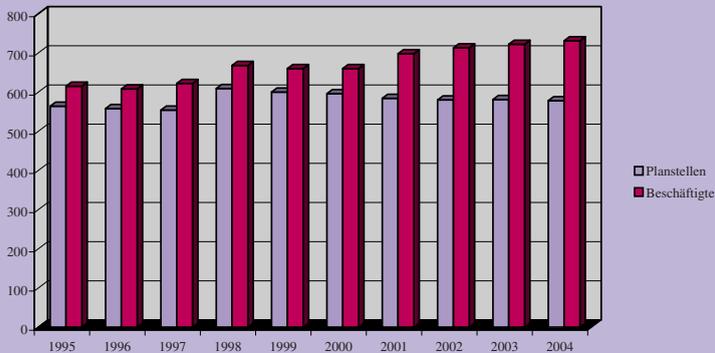
Die Entwicklung der Beschäftigtenzahl von 1995 bis 2004 zeigt die Abbildung auf Seite 69 oben links. Der Anstieg der Beschäftigtenzahl ist zurückzuführen auf die Teilung von Stellen für Teilzeitkräfte, auf zusätzliche Zeitkräfte für Sonderaufgaben (insbesondere für die Genehmigungsverfahren für dezentrale Zwischenlager) und auf zusätzlich Beschäftigte infolge der Inanspruchnahme von Altersteilzeit.

Rückläufig ist dagegen die Anzahl der Planstellen/ Stellen, bedingt durch die seit 1993 vom Parlament jährlich beschlossene Stelleneinsparung i. H. v. 1,5 %. Der Stellenzuwachs in 1998 beruht auf der Übernahme des Ortsdosisleistungs-Messnetzes vom ehemaligen Bundesamt für Zivilschutz und entsprechender Umsetzung von Planstellen/Stellen in den Haushalt des Bfs. Im Haushaltsjahr 2003 stand der jährlichen Stelleneinsparung ein Stellenzuwachs aufgrund neu

| Dienstort       | Höherer Dienst | Gehobener Dienst | Mittlerer Dienst | Einfacher Dienst | Auszubildende | Gesamt  |
|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------|
| Salzgitter      | 150            | 69               | 94               | 11               | 28            | 352     |
| Oberschleißheim | 79             | 43               | 46               | 8                | 5             | 181     |
| Berlin          | 42             | 21               | 46               | 8                | -             | 117     |
| Bonn            | 23             | 2                | 8                | 3                | -             | 36      |
| Freiburg        | 10             | 6                | 8                | 4                | 2             | 30      |
| Rendsburg       | -              | 1                | 4                | 2                | -             | 7       |
| Hanau           | -              | 4                | 2                | -                | -             | 6       |
| Gorleben        | -              | 1                | 1                | -                | -             | 2       |
|                 | 304            | 147              | 209              | 36               | 35            | 731     |
|                 | (41 %)         | (20 %)           | (29 %)           | (5 %)            | (5 %)         | (100 %) |

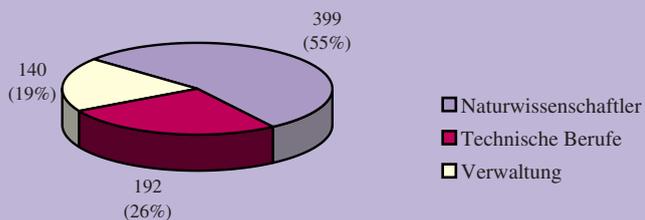
Beschäftigte nach Dienstorten und Laufbahnen (Jahresdurchschnitt - Teilzeitkräfte werden wie Vollzeitkräfte gezählt)

bewilligter Stellen für Aufgaben im Rahmen der Novellierung der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung sowie der Genehmigung dezentraler Zwischenlager gegenüber.



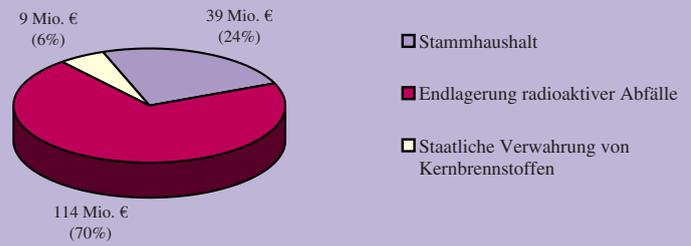
Entwicklung der Beschäftigtenzahl im BfS-Planstellen/Stellen für Beamte, Angestellte und Arbeiter im BfS (Die Anzahl der Planstellen/Stellen ist in der Regel nicht identisch mit der Zahl der Beschäftigten, da sich u. a. mehrere Beschäftigte eine Planstelle/Stelle teilen können [Teilzeit].)

Die Abbildung unten zeigt, welcher Berufsgruppe die Bediensteten im BfS anteilmäßig angehören.



Berufsgruppen im BfS

Dem BfS standen 2004 zur Erfüllung seiner Aufgaben ca. 162 Millionen Euro zur Verfügung, die sich wie folgt verteilen:



Haushaltsausgaben 2004 im BfS

Auf dem Gebiet der Ressortforschung (Untersuchungen, Studien, Gutachten, die dem BMU als Entscheidungshilfen dienen) waren dem BfS im Jahr 2004 Haushaltsmittel in Höhe von 33,3 Millionen Euro für folgende Bereiche zugewiesen:



Ausgaben 2004 für Ressortforschung

# PRESSE- UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Ansprechpartner: Arthur Junkert (0 18 88/3 33-11 32)

## Vermittler zwischen Öffentlichkeit und Fachwelt

Tausende von Fragen erreichen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit jährlich, ob telefonisch, als Brief, Fax, E-Mail oder im Gespräch auf Messen. Bei der Beantwortung kommen die vielfältigen Informationsmaterialien des BfS zum Einsatz. Zu wichtigen Themenbereichen des Amtes gibt es Informationsblätter und Broschüren, in denen die bisweilen komplizierte Thematik der Strahlung und des Strahlenschutzes verständlich und informativ dargestellt wird. Durch das neue, im gesamten Geschäftsbereich des BMU angewendete Corporate Design wird die Gestaltung der Materialien nicht nur einheitlich, sondern auch übersichtlicher.

Das Internet ergänzt das Informationsangebot mit Grundlagentexten und zahlreichen Dokumenten zu speziellen Themen, seien es Vorträge, Interviews, Stellungnahmen zu Forschungsergebnissen oder zu Presseartikeln. Zusätzlich bietet das Internetangebot des BfS mit den FAQ, den „häufig gestellten Fragen“, klare und kurze Antworten auf die verschiedensten Fragen wie zum Beispiel „Was ist ein Castor-Behälter?“ oder „Sind Solarienbesuche gesundheitsschädlich?“.

Eine individuelle telefonische Beratung gibt den Bürgerinnen und Bürgern Gelegenheit, ihre persönlichen Fragen mit den Fachleuten zu besprechen. Diese Gespräche gelten den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit als

Seismograph. Häufen sich Fragen zu einer Thematik, werden entweder diese mit ihren Antworten zeitnah als neue FAQ ins Internet gestellt oder es wird neues Informationsmaterial publiziert.

Mit Pressemitteilungen, Pressekonferenzen, Interviews und Hintergrundgesprächen mit Journalistinnen und Journalisten informiert das BfS zu aktuellen Themen. Gleichzeitig werden die zahlreichen Anfragen der Medienvertreter kompetent beantwortet. Die Themen des BfS finden dabei regelmäßig ein großes Presseecho, wie die Abbildung auf Seite 72 oben beispielhaft zeigt.

## Die Schattenseiten des Sonnenscheins

Das BfS hat etwas gegen die zu große Sorglosigkeit angesichts der gesundheitlichen Gefahren durch UV-Strahlung. Die Broschüre „Mit heiler Haut durch den Sommer“ informiert Kinder über die Wirkung von UV-Strahlung und zeigt, wie man sich auf einfache Weise vor Sonnenbrand und anderen Haut- und Augenschäden schützen kann. Die Neuauflage im neuen Corporate Design des BfS wurde dort verteilt, wo UV-Strahlen der empfindlichen Kinderhaut besonders schaden können, zum Beispiel in den Urlaubsregionen an Nord- und Ostsee und im Ferienflieger Richtung Süden. Sonnenbrillen sind ein lässiges Accessoire und unerlässlich zum Schutz der Augen vor UV-Strahlung. Doch nicht alle Sonnenbrillen halten die gefährlichen Strahlen gleich gut ab. Auf Messen und anderen Veranstaltungen hat das BfS die UV-Durchlässigkeit von Sonnenbrillen gemessen. Dabei schnitten leider auch teure Brillen nicht immer gut ab. Die BfS-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter erklärten, was eine gute Sonnenbrille auszeichnet und wie man seine Augen richtig schützt.

Doch nicht nur die Sonne birgt Gefahren. Das künstliche „Sonnenlicht“ in Solarien bräunt meist mit wesentlich stärkerer UV-Dosis und ist Strahlenschützern daher ein Dorn im Auge. Die unter Leitung des BfS am „Runden Tisch Solarium“ entwickelte Zertifizierung für Solarien wurde jedoch erst von wenigen Solarienbetrieben in Deutschland durchgeführt. Die erste Zertifizierung, die der Studiobesitzerin aus Neustadt an der Weinstraße überreicht wurde, fand ein breites Medienecho.

Mit einer Checkliste des BfS kann man selbst überprüfen, ob man im Solarienbetrieb gut beraten wird. So sollte zum Beispiel beim Festlegen der Bestrahlungsdauer und -dosis der jeweilige Hauttyp berücksichtigt werden. Diese Checkliste und andere Informationen zum Thema UV stehen im Internet unter [www.bfs.de/uv](http://www.bfs.de/uv).



Pressetermin: Gemeinsam präsentierten Bundesumweltminister Jürgen Trittin und BfS-Präsident Wolfram König im Bundespressehaus die Arbeitsschwerpunkte des BfS im Jahr 2003 und stellten zeitgleich den Jahresbericht 2003 vor

## **Mobilfunk:**

### **Information hilft gegen Verunsicherung**

Mit der Nennung von drei Vorsorgemaßnahmen hat das BfS beim Thema Mobilfunk die Richtung vorgegeben. Neben dem Ziel einer möglichst geringen Belastung durch den Mobilfunk sowie der Klärung offener wissenschaftlicher Fragen durch zielgerichtete Forschung muss auch die Bevölkerung informiert werden, um – meist aus Verunsicherung entstehende – Ängste abzubauen und eine sachliche Grundlage für Diskussionen zu schaffen. Mit Broschüren, auf Veranstaltungen und im Internet sowie durch Presseinformationen und Fernseh-, Hörfunk- und Zeitungsinterviews hat die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des BfS entscheidende Beiträge geleistet, um Bürgerinnen und Bürger kompetent, sachlich und verständlich zu informieren. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Handys selbst gelegt – gibt doch die höhere Belastung beim Telefonieren mehr Anlass zu Vorsorgemaßnahmen als die Belastung durch Mobilfunkanlagen.

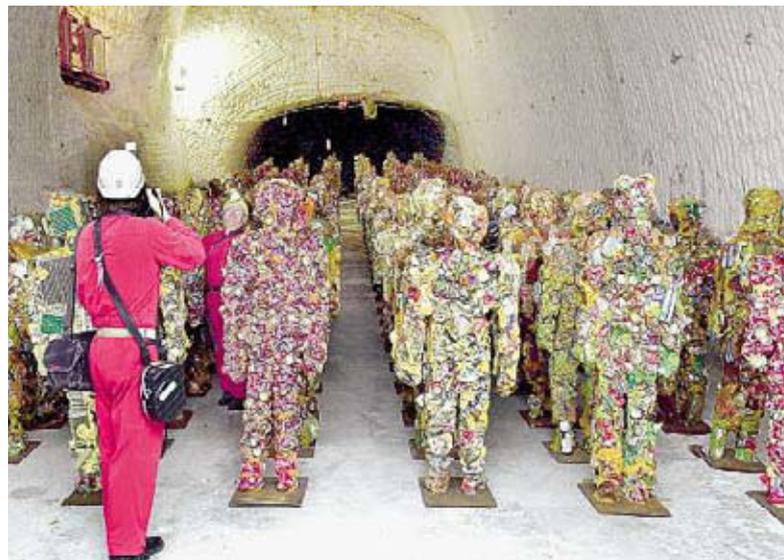
So konnte auf verschiedenen Messen und auf Veranstaltungen der Bundesregierung, des BMU und des BfS den interessierten Bürgerinnen und Bürgern mit Hilfe eines Messkopfs anschaulich gemacht werden, wie viel Energie beim Telefonieren mit dem Handy von ihrem Kopf aufgenommen wird (SAR-Wert). Damit einher ging die Empfehlung, Handys mit einem möglichst niedrigen SAR-Wert zu verwenden, um die persönliche Strahlenbelastung zu verringern. Die hohen Zugriffszahlen auf die Internet-Seite des BfS, auf der die SAR-Werte der Handys aufgelistet sind ([www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html](http://www.bfs.de/elektro/hff/oekolabel.html)), zeigen das gesteigerte Interesse an Handys mit möglichst geringer Belastung – ein deutlicher Hinweis für die Handyhersteller, den SAR-Wert direkt am Gerät anzugeben und für strahlungsarme Handys das Gütesiegel Blauer Engel zu beantragen.

Auch die Informationsschriften des BfS zum Thema Mobilfunk, allen voran die Broschüre „Mobilfunk: Wie funktioniert das eigentlich? Tipps und Informationen rund ums Handy“, wurden in großer Zahl geordert und von den Medien immer wieder empfohlen. Diese Broschüre und weitere Informationen zum Thema Mobilfunk gibt es auch im Internet unter [www.bfs.de/elektro](http://www.bfs.de/elektro).

### **„Stille Tage“ in Gorleben**

Der Aktionskünstler HA SCHULT inszenierte vom 25. September bis zum 2. Oktober die Aktion „Stille Tage in Gorleben“. Mit der Bitte um Unterstützung war er im Frühsommer auf das BfS zugekommen.

1000 „Trash People“, lebensgroße Figuren aus Dosen, Computerschrott und anderen Abfällen unserer In-



**Trash people: 200 lebensgroße Figuren aus Dosen, Computerschrott und anderen Abfällen unserer Industriegesellschaft unter Tage an einer exponierten Stelle im Erkundungsbergwerk des Salzstocks Gorleben**

dustriegesellschaft, die bereits in Paris, auf der Chinesischen Mauer, am Matterhorn, auf dem Roten Platz in Moskau und bei den Pyramiden von Gizeh aufgebaut waren, kamen in die Region Gorleben. 800 von ihnen bevölkerten oberirdisch eine autofreie Allee und 200 unter Tage eine exponierte Stelle im Erkundungsbergwerk des Salzstocks.

Diese Aktion ermöglichte einen neuen Blick auf eine Region, die öffentliches Interesse sonst vor allem aus Anlass jährlicher CASTOR-Transporte in die benachbarte oberirdische Gorlebener Zwischenlagerhalle weckt. Die Inszenierung verband nun Gorleben imaginär mit den bisherigen Aufstellorten der „Trash People“ in anderen Erdteilen und richtete die Aufmerksamkeit auf unsere Verantwortung für den Zustand der Welt und die Lebenswelt der zukünftigen Generationen. Unser heutiges Handeln – hier im Bereich der Produktion, der Zwischenlagerung und der Endlagerung radioaktiver Abfälle – wurde durch die Kunst wiedergespiegelt und provozierte Diskussionen weit über die Region hinaus. Sie thematisierte in fundamentaler Art den Umgang der Industriegesellschaft mit ihren selbst geschaffenen Lebensrisiken und den ethischen Anforderungen an unsere Problemlösungsstrategien. Dies gilt ganz praktisch auch für die anstehende Endlager-Entscheidung und die Überlegungen, wie fachliche und gesellschaftliche Akzeptanz der Endlagerung radioaktiver Abfälle erreicht werden kann.

Da die Endlagerung radioaktiver Abfälle nur gesellschaftlich legitimiert und akzeptiert stattfinden kann, hat das Bundesamt für Strahlenschutz die Kunst-Aktion Stille Tage in Gorleben ermöglicht.

Das Einmischen der Kunst hat in überraschender Weise dazu beigetragen, Distanz zu überwinden und Kommunikation zwischen gesellschaftlichen Gruppen wieder anzuregen, wo bisher Konfrontation herrschte. Bürgerinnen und Bürger aus der Region, Beschäftigte der DBE, Mitglieder der Bürgerinitiative und Gemeindevertreter, Landrat und Bürgermeister kamen miteinander in ungewohnte Gespräche. Von Beteiligten wurde angeregt, solche Anlässe auch zukünftig zu schaffen.

Die Aktion stieß sowohl in den Medien als auch bei den Menschen in Gorleben auf lebhaftes Interesse. In eigenen Pressemitteilungen wurde sie vom Deutschen Atomforum und der Bürgerinitiative Umweltschutz Lüchow Dannenberg gleichermaßen begrüßt.

### Tag der offenen Tür in Freiburg

2004 veranstaltete das BfS erstmals an seinem Standort Freiburg einen Tag der offenen Tür. Das Besondere: Auch die Messstation auf dem Schauinsland war zu besichtigen. Besucher, die sowohl die Dienststelle als auch die Messstation besuchen wollten, konnten auf den angebotenen Shuttle-Service zurückgreifen. Die Besucherinnen und Besucher zeigten großes Interesse an Aufgaben des BfS und speziell an den Aufgaben dieses Standortes. Zu den Gästen des BfS zählte der Oberbürgermeister der Stadt Freiburg,



Freiburgs Oberbürgermeister Dr. Salomon lässt sein Handy messen.



Zeitungsartikel zum Thema „Absichtlich herbeigeführter Flugzeugabsturz auf kerntechnische Anlagen“ - ein Beispiel für die gute Resonanz auf die Pressearbeit des BfS.

Dr. Dieter Salomon, der zusammen mit BfS-Präsident Wolfram König die Veranstaltung eröffnete.

In der Dienststelle Rosastraße wurde neben unterhaltsamen Spielen und Musik geballte Wissenschaft zum Thema Umweltradioaktivitätsüberwachung geboten. Um das breite Aufgabenspektrum des BfS aufzuzeigen, bot das Amt auch Messungen von Handy-Werten, der UV-Durchlässigkeit von Sonnenbrillen und Informationen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle an. Wo es möglich war, wurde praktisch und damit für die Besucherinnen und Besucher anschaulich gearbeitet.

In der Messstation Schauinsland konnten Messeinrichtungen zur Ortsdosisleistungsmessung, Anlagen zur Überwachung des internationalen Kernwaffenteststoppabkommens und Anlagen zur Messung von aerosolgebundenen Radionukliden in der Luft besichtigt werden. Auch auf dem Schauinsland war für das leibliche Wohl der Besucher gesorgt.

# PUBLIKATIONEN

## BfS-Berichte

BfS-SCHR-30/04

*Lennartz HA, Mussel Ch, Thieme M.*

Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle  
Abschlussbericht

Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

*Weiß D, Bönigke G, Spoden E, Warnecke E.*

Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004

Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

*Bergler I, Bernhard C, Gödde R, Löbke-Reinl A, Schmitt-Hannig A.*

Strahlenschutzforschung Programmreport 2003  
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SE-02/04

*Brennecke P, Kugel K.*

Anfall radioaktiver Abfälle in Deutschland.  
– Abfallerhebung für das Jahr 2000 –.

Salzgitter, April 2004

BfS-SE-03/04

*Brennecke P, Kugel K.*

Radioactive Waste Arising in the Federal Republic of Germany

– 2000 Waste Inquiry –

Salzgitter, Mai 2004

BfS-SE-04/04

*Börst FM, Fasten C.*

Empfehlung für die sichere Beförderung von radioaktiven Stoffen

Ausgabe 1996 (in der Fassung 2003)

Deutsche Übersetzung der Abschnitte I bis VIII der „IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1“

Salzgitter, Dezember 2004

BfS-SG-03/04

*Frasch G, Almer E, Fritzsche E, Kammerer L, Karofsky R, Kragh P, Spiesl J.*

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2002  
Bericht der Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Februar 2004

BfS-SG-04/04

*Bergler I, Bernhard C, Gödde R, Löbke-Reinl A, Schmitt-Hannig A.*

Strahlenschutzforschung Programmreport 2002

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und verwaltete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums

Salzgitter, März 2004

BfS-SK-04/04

*Philippczyk F, Hutter J, Rehs B, Schneider M.*

Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2003

Salzgitter, August 2004

Die Schriften und Berichte des BfS sind im Wirtschaftsverlag NW erschienen und über den Buchhandel oder direkt beim Verlag erhältlich.  
Anschrift des Wirtschaftsverlages NW:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven

Telefon: 0471/945440  
Telefax: 0471/9454488  
eMail: [vertrieb@NW-Verlag.de](mailto:vertrieb@NW-Verlag.de)

## Ausgewählte Beiträge in externen Fachzeitschriften

*Auer M, Axelsson A, Blanchard X, Bowyer TW, Brachet G, Bulowski I, Dubasov Y, Elmgren K, Fontaine JP, Harms W, Hayes JC, Heimbigner TR, McIntyre JJ, Panisko ME, Popov Y, Ringbom A, Sartorius H, Schmid S, Schulze J, Schlosser C, Taffary T, Weiss W, Wernsperger B.*

Intercomparison Experiments of Systems for the Measurement of Xenon Radionuclides in the Atmosphere.

Applied Radiation and Isotopes 2004; 60: 863–877

*Barquintero J F, Stephan G, Schmid E.*

Effect of Americium-241  $\alpha$ -Particles on the Dose-Response of Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes Analysed by Fluorescence in Situ Hybridization.

Int. J. Radiat. Biol. 80 (2004) 155–164

*Bieringer J, Schlosser C.*

Monitoring Ground-level Air for Trace Analysis: Methods and Results.

Analytical and Bioanalytical Chemistry 379, 2; 234–241, 2004.

*Brix G, Lechel U, Veit R, Truckenbrodt R, Stamm G, Copenrath EM, Griebel J, Nagel HD.*

Assessment of a Theoretical Formalism for Dose Estimation in CT: An Anthropomorphic Phantom Study. Eur Radiology. 2004; 14: 1275–1284

*Brix G, Kiessling F, Lucht R, Darai S, Wasser K, Delorme S, Griebel J.*

Microcirculation and Microvasculature in Breast Tumors: Pharmacokinetic Analysis of Dynamic MR Image Series.

Magn Reson Med. 2004; 52: 420–429

*Buchholz W, Dalheimer A, Hartmann M, König K.*

Ergebnisse der Ringversuche der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS.

Strahlenschutzpraxis 2004; 10. Jg, 3: 22–24

*Doll J, Henze M, Bublitz O, Werling A, Adam LE, Haberkorn U, Semmler W, Brix G.*

Auflösungsverbessernde Bildrekonstruktion von PET-Daten mit dem iterativen OSEM-Algorithmus. Nuklearmedizin. 2004; 43: 72–78

*Gering F, Weiss W, Wirth E, Stapel R, Jacob P, Müller H, Pröhl G.*

Assessment and Evaluation of the Radiological Situation of the Late Phase of a Nuclear Accident.

Radiation Protection Dosimetry 2004; Vol. 109, 1–2: 25–29

*Gomolka M, Rössler U, Hornhard S, Walsh L, Panzer W, Schmid E.*

Measurement of the Initial Levels of DNA Damage in Human Lymphocytes Induced by 29 kV X Rays (Mammography X-Rays) Relative to 220 kV X Rays and Gamma Rays.

Radiation Research, submitted 2004

*Grosche B, Hall P, Laurier D.*

Les Agrégats de Leucémie à Proximité des Installations Nucléaires: Résultats et Débats Récents.

Contrôle. Épidémiologie et Rayonnements Ionisants 2004; 156: 83–94;

*Höbler C, Hable K, Baig S, Zähringer M.*

International Data and Information Exchange for Off-site Emergency Management – Where to go? Radiation Protection Dosimetry 109 (1–2); 59–62; Juni 2004

*Kalinowski MB, Sartorius H, Uhl S, Weiss W,*

Conclusions on Plutonium Separation from Atmospheric Krypton-85 Measured at Various Distances from the Karlsruhe Reprocessing Plant.

Journal of Environmental Radioactivity 2004; 73/2: 203–222

*Kelly GN, Jones R, Crick MJ, Weiss W, Morrey M, Lochard J, French S.*

Off-Site Nuclear Emergency Management – Summary and Conclusions: Capabilities and Challenges Radiation Protection Dosimetry 2004; Vol. 109, 1–2: 155–164

*Kreuzer M.*

Epidemiologie des Bronchialkarzinoms bei lebenslangen Nichtrauchern. Habilitationsschrift, Medizinische Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 2004.

*Levin I, Kromer B, Schmidt M, Sartorius H.*

A Novel Approach for Independent Budgeting of Fossil Fuel CO<sub>2</sub> over Europe by <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> Observations. Geophysical Research Letters 30, (23), 2194–2198; December 2003

*Little MP, Blettner M, Boice JD Jr, Bridges BA, Cardis E, Charles MW, de Vathaire F, Doll R, Fujimoto K, Goodhead DT, Grosche B, Hall P, Heidenreich WF, Jacob P, Moolgavkar SH, Muirhead CR, Niwa O, Paretzke HG, Richardson RB, Samet JM, Sasaki Y, Shore RE, Straume T, Wakeford R.*

Funding Crisis at the Radiation Effects Research Foundation (Editorial).

J Radiol Prot 2004; 24: 195–197

Little MP, Blettner M, Boice JD Jr, Bridges BA, Cardis E, Charles MW, de Vathaire F, Doll R, Fujimoto K, Goodhead D, Grosche B, Hall P, Heidenreich WF, Jacob P, Moolgavkar SH, Muirhead CR, Niwa O, Paretzke HG, Richardson RB, Samet JM, Sasaki Y, Shore RE, Straume T, Wakeford R.

Potential Funding Crisis for the Radiation Effects Research Foundation (Comment).

The Lancet 32004; 64 (9434): 557–588

Mestres M, Caballin MR, Schmid E, Stephan G, Sachs R, Barrios L, Barquinero JF.

Analysis of  $\alpha$ -Particle Induced Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes Using Pan-centromeric and Pan-telomeric Probes.

International Journal of Radiation Biology 2004; 10

Nagel HD, Blobel J, Brix G, Ewen K, Galanski M, Höfs P, Loose R, Prokop M, Schneider K, Stamm G, Stender HS, Süß C, Türkay S, Vogel H, Wucherer M.

5 Jahre „Konzertierte Aktion Dosisreduktion CT“ – Was wurde erreicht, was ist noch zu tun?

Fortschr Röntgenstr. 2004; 176: 1683–1694

Nikolaou K, Schoenberg SO, Brix G, Goldman JP, Attenberger U, Kuehn B, Dietrich O, Reiser M.

Quantification of Pulmonary Blood Flow and Volume in Healthy Volunteers by Dynamic Contrast-Enhanced MRI Using a Parallel Imaging Technique.

Invest Radiology. 2004; 39: 537–545

Noßke D, Minkov V, Brix G.

Festlegung und Anwendung diagnostischer Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen.

Nuklearmedizin. 2004; 43: 79–84

Oestreicher U, Braselmann H, Stephan G.

Cytogenetic Analyses in Peripheral Lymphocytes of Persons Living in Houses with Increased Levels of Indoor Radon Concentrations.

Cytogenet Genome 2004; 104: 232–236

Romm H, Stephan G.

Dose Dependency of FISH-Detected Translocations in Stable and Unstable Cells after  $^{137}\text{Cs}$ - $\gamma$ -Irradiation of Human Lymphocytes in Vitro.

Cytogen Genome 2004; 104: 162–167

Schnell-Inderst P, Hacker M, Noßke D, Weiss M, Stamm-Meyer A, Brix G, Hahn K.

Erfassung alters- und geschlechtsbezogener Daten nuklearmedizinischer Untersuchungen zur Berechnung der jährlichen Strahlenexposition in der BRD: Eine Pilotstudie.

Nuklearmedizin. 2004; 43: 45–56

Tapio S, Danescu-Mayer I, Asmuss M, Posch A, Gomolka M, Hornhardt S.

Combined Effects of Gamma Radiation and Arsenite on TK6 Cell Proteome;

Mut Res, submitted 2004

Voisin P, Roy L, Hone PA, Edwards AA, Lloyd DC, Stephan G, Romm H, Groer PG, Brame R.

Criticality Accident Dosimetry by Chromosomal Analysis.

Radiation Protection Dosimetry 2004; 110: 443–447

Weiss W.

Maintaining Competence in Radiological Protection in Emergency Situations: a Challenge for the 21<sup>st</sup> Century.

Radiation Protection Dosimetry 2004;

Vol. 109,1–2: 151–154

Wernsperger B, Schlosser C.

Noble Gas Monitoring within the International Monitoring System of the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty.

Radiation Physics and Chemistry 2004; 71, 775–779

Wichmann HE, Schaffrath Rosario A, Heid I, Kreuzer M, Heinrich J, Kreienbrock L.

Increased Lung Cancer Risk due to Residential Radon in a Pooled and Extended Analysis of Studies in Germany.

Health Phys 2004, in press

Wojcik A, Gregoire E, Hayata I, Roy L, Sommer S, Stephan G, Voisin P.

Cytogenetic Damage in Lymphocytes for the Purpose of Dose Reconstruction: A Review of Three Recent Radiation Accidents.

Cytogenet. Genome 2004; 104: 200–205

## Beiträge in Tagungsbänden / Broschüren

### In:

*Medizinische Physik 2004. Wolf U und Wilke W (Hrsg)  
Leipzig: DGMP 2004*

*Veit R, Lechel U, Truckenbrodt R, Brix G.  
Ermittlung der effektiven Dosis von Spiral-CT-Unter-  
suchungen: Effekt des „Overranging“, S. 70–71*

*Griebel J, Eichhorn M, Becker, Michaelis, Ruhrsdorfer,  
Delian, Brix G.*

Monitoring der Effektivität einer antivaskulären  
Tumorthherapie durch Paclitaxel enkapsuliert in  
kationische Lipidkomplexe, S. 248–249

*Brix G, Lechel U, Veit R, Truckenbrodt R, Griebel J,  
Stamm G, Coppenrath E, Nagel HD.*

Experimentelle Evaluierung eines theoretischen Kon-  
zeptes zur Dosisabschätzung in der CT, S. 280–281

*Brix G, Lechel U, Beyer Th, Glatting G, Münzing W,  
Ziegler S.*

Exposition von Patienten bei Ganzkörper-Untersu-  
chungen an PET/CT-Systemen, S. 282–283

### In:

*Tagungsbericht des 2. Fachgesprächs, Bundesamt für  
Strahlenschutz, SG-IB-01/04, Neuherberg: Februar 2004*

*Kreuzer M, Matthes R, Pölzl C, Weiss W, Ziegelberger G.  
Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagneti-  
scher Felder des Mobilfunks*

### In:

*Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on high  
levels of natural radiation, Osaka, Japan, 2004*

*Wichmann HE, Schaffrath Rosario A, Heid IM,  
Kreuzer M, Heinrich J, Kreienbrock L.*

Lung Cancer Risk due to Radon in Dwellings –  
Evaluation of the Epidemiological Knowledge

### In:

*Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Radiation Protec-  
tion Association Conference in Madrid, 2004,  
www.irpa11.com*

*Kreuzer M, Schnelzer M, Tschense A, Grosche B.  
Risk of Lung Cancer and other Cancer in the German  
Uranium Miners Cohort Study.*

*Mestres M, Schmid E, Stephan G, Barrios L, Caballin MR,  
Barquinero JF.*

Analysis of Alpha-particle Induced Incomplete  
Chromosome Aberrations using Pan-centromeric and  
Pan-telomeric DNA Probes.

*Schmid E, Schlegel D, Krumrey M, Stephan G.*

RBE of Neutrons at Energies of 36 keV – 15 MeV and  
Photons at Energies of 1.8 keV for Induction of  
Dicentrics in Human Lymphocytes.

*Wojcik A, Cosset JM, Clough K, Gourmelon P, Bottlitr JF,  
Trompier F, Stephan G, Sommer S, Wiczorek A,  
Sluszniaik J, Kulakowski A, Gozdz S, Michalik J,  
Stachowicz W, Sadlo J, Bulski W, Izewska J.*

The Radiological Accident at the Bialystok Oncology  
Centre: Cause, Dose Estimation and Patient Treat-  
ment.

### In:

*9<sup>th</sup> International Conference on Harmonisation  
within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory  
Purposes, Garmisch-Partenkirchen, 2004*

*Walter H.*

Comparison of Results from Dispersion Models for  
Regulatory Purposes Based on Gaussian- and Lagran-  
gian-Algorithms: An Evaluating Literature Study,  
S. 167–171

### In:

*Waste Management 2004 Proceedings, Feb. 29. – March  
4, 2004, Tuscon, Arizona, WM Symposia, Inc., 2004*

*Hund W, Laumert G, Preuss J, Eilers G, Mauke R,  
Köster R, Fischer H, Oppitz J, Schrimpf C, Kreienmeyer M,  
Müller-Hoeppe N.*

Stabilization of the Central Part of the Morsleben  
Repository (bGZ)

### In:

*International Conference on Radioactive Waste Disposal,  
April 26 – 28, 2004, Berlin – Germany; Conference Pro-  
ceedings*

*Kunze V, Westphal W, Wittwer Ch, Ibach TM, et al  
Measurements and Modellings of the Radon Flow in  
a Disposal Mine:  
Decommissioning Operation of the Morsleben Repo-  
sitory (ERAM), Page 356*

Lorenz S, Müller W, Wollrath J.  
Long Term Safety Analyses for the Near Field of the  
ERAM Repository Using Two-Phase Flow Modelling,  
In: S. Jakusz (Ed.), pp. 364–373

Storck R, Hirsekorn P, Preuss J, Wollrath J.  
The Safety Case of the Morsleben Repository,  
pp. 292–302

**In:**  
*Proc. Int Conf. Probabilistic Safety Assessment and Ma-  
nagement PSAM 7/ESREL '04, Berlin, 14–18 June 2004*

Resele G, Niemeyer M, Jaquet O, Wollrath J.  
Morsleben Nuclear Waste Repository Probabilistic  
Safety Assessment of the Long-Term Safety,  
pp. 3116–3122

**In:**  
*Nagra – National Cooperative for the Disposal of  
Radioactive Waste, Wettingen/Ch, 2004*

Niemeyer M, Noseck U, Becker D, Rübél A, Wollrath J.  
Treatment of <sup>14</sup>C Release and Transport in the Long-  
Term Safety Assessment in the Final Repository in  
Morsleben, In: Johnson, L.H.; Schwyn, B. (Eds.): Pro-  
ceedings of a Workshop on the Release and Trans-  
port of C-14 in Repository Environments, Interner Be-  
richt 04-03, pp. 9–19

**In:**  
*Engineered Barrier Systems (EBS): Workshop on Process  
Issues, Workshop Proceedings, Las Vegas, NV/USA,  
14–17 September 2004, Paris: OECD/NEA*

Herbert H J, Becker D, Hagemann S, Meyer T, Noseck U,  
Rübél A, Mauke R, Wollrath J.  
Alteration of Non-Metallic Barriers and Evolution of  
Solution Chemistry in Salt Formations in Germany

**In:**  
*PATRAM 2004, 20.–24.09.2004 in Berlin*

Kunze V, Brücher W, Röwekamp M.  
FDS3 Simulations of Indoor Hydrocarbon Fires Engul-  
fing Radioactive Waste Packages

**In:**  
*A.Roth (Ed.): Proc. DisTec 2004 – Disposal Technologies  
and Concepts. Int. Conf. on Radioactive Waste Disposal,  
Berlin, 26 – 28 September 2004, Hamburg: Kontec,*

Müller-Hoeppe N, Kreienmeyer M, Eilers G, Köster R.  
Stabilization of the Central Part of the Morsleben  
Repository (bGZ) -Safety of Transient Situations  
During the Stabilization Process -, pp. 333–338

Niemeyer M, Resele G, Preuss J, Wollrath J.  
Probabilistic Safety Assessment for the Morsleben  
Repository, pp. 374–378





**Kontakt:**

**Bundesamt für Strahlenschutz**

Postfach 10 01 49

D - 38201 Salzgitter

Telefon: +49 (0) 1888 - 3 33 - 0

Telefax: +49 (0) 1888 - 3 33 - 18 85

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

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

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



**Bundesamt für Strahlenschutz**