



**BfS** Bundesamt für  
Strahlenschutz



**Jahresbericht 1999**

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter  
Tel.: 05341/8 85 - 0  
Fax.: 05341/8 85 - 8 85  
Internet: <http://www.bfs.de>

Redaktion: Lutz Ebermann

Fotos: BfS - Melanie Quandt, Klaus Menkhaus  
Kernkraftwerk Philippsburg  
Christian Kruppa Photographie

Grafik: BfS - Uwe Schöppler  
Atelier Waltmann  
Geologisches Institut Universität Bonn

Satz und Druck: Schlütersche GmbH & Co. KG  
Verlag und Druckerei  
Hans-Böckler-Allee 7  
30173 Hannover

© 2000 Bundesamt für Strahlenschutz

Gedruckt auf Recyclingpapier

# Bundesamt für Strahlenschutz

Hauptsitz/Postanschrift:  
Willy - Brandt - Straße 5  
38226 Salzgitter  
Tel.: 05341/8 85 - 0  
Fax: 05341/8 85 - 8 85  
Internet: <http://www.bfs.de>

Fachbereich Angewandter  
Strahlenschutz  
Institut für Angewandten  
Strahlenschutz:  
Köpenicker Allee 120 - 130  
10318 Berlin  
Tel.: 030/5 09 22 - 0  
Fax: 030/5 09 22 - 1 00

Fachbereich Strahlenhygiene  
Institut für Strahlenhygiene:  
Ingolstädter Landstraße 1  
85764 Oberschleißheim  
(Neuherberg)  
Tel.: 089/3 16 03 - 0  
Fax: 089/3 16 03 - 1 11

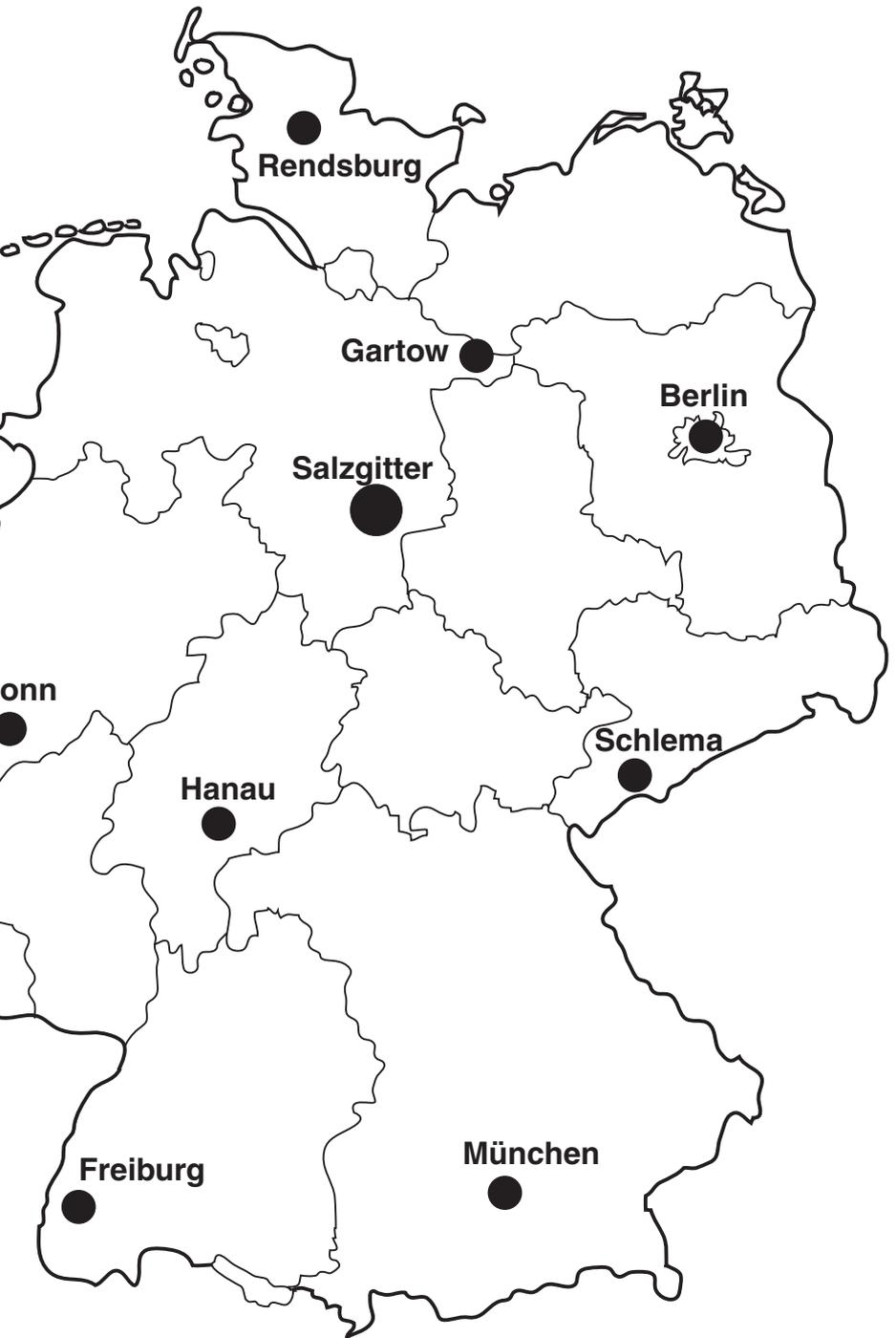
Fachbereich Strahlenhygiene  
Institut für Atmosphärische  
Radioaktivität:  
Rosastraße 9  
79098 Freiburg  
Tel.: 0761/3 86 67 - 0  
Fax: 0761/38 24 59

SSK - Geschäftsstelle:  
Hermann - Ehlers - Straße 10  
53113 Bonn  
Tel.: 0228/3 05 - 37 31  
Fax: 0228/67 64 59

RSK - Geschäftsstelle:  
Hermann - Ehlers - Straße 10  
53113 Bonn  
Tel.: 0228/3 05 - 37 25  
Fax: 0228/67 03 88

Informationsstelle zur  
nuklearen Entsorgung:  
Hauptstraße 15  
29471 Gartow  
Tel.: 05846/16 31  
Fax: 05846/15 50

Informationsstelle zur radiologischen  
Situation in Bergbaugebieten:  
Joliot - Curie - Straße 3  
08301 Schlema  
Tel.: 03772/2 27 00  
Fax: 03772/2 24 37



ODL - Stabsstelle Bonn:  
Deutschherrenstraße 93 - 95  
53177 Bonn  
Tel.: 0228/9 40 - 14 11  
Fax: 0228/9 40 - 14 15

Messnetzknotten Rendsburg:  
Graf - von - Stauffenberg - Straße 13  
24768 Rendsburg  
Tel.: 04331/1 32 20  
Fax: 04331/13 22 28

Messnetzknotten Bonn:  
Deutschherrenstraße 93 - 95  
53177 Bonn  
Tel.: 0228/9 40 - 0  
Fax: 0228/9 40 - 14 15

Staatliche Verwahrung von  
Kernbrennstoffen:  
Rodenbacher Chaussee 6  
63457 Hanau  
Tel.: 06181/58 - 01  
Fax: 06181/58 - 43 30

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort des Präsidenten</b> .....	3
<b>Aufbau und Organisation des BfS</b> .....	5
<b>Ausgewählte Arbeitsschwerpunkte des BfS</b> .....	7
<b>Wirkung kleiner Strahlendosen</b> .....	7
– Definition des Begriffs „niedrige Strahlendosis“ .....	7
– Epidemiologische Erkenntnisse bei Krebserkrankungen strahlenexponierter Personen .....	7
– Strahlenbiologische Befunde zur Klärung der Wirkung kleiner Strahlendosen .....	7
– Berücksichtigung von epidemiologischen und strahlenbiologischen Erkenntnissen zur Risikoabschätzung .....	8
– Die Kontroverse zur Wirkung kleiner Strahlendosen .....	8
<b>Strahlenrisiko und Risikodiskussion</b> .....	9
<b>Schutz vor nichtionisierenden Strahlen</b> .....	10
– Niederfrequente Felder .....	10
– Hochfrequente Felder .....	11
– Wirkungsmechanismen hochfrequenter Felder .....	11
– Grenzwerte für Mobilfunk .....	11
– Gesundheitliche Wirkungen von solarer UV-Strahlung .....	13
– UV-Messungen in Deutschland .....	13
<b>Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Quellen</b> .....	15
– Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon .....	15
– Die Datenbank „Radon in Gebäuden“ .....	16
– Schutzmaßnahmen gegen Radon in Gebäuden .....	16
– Bewertung von Baumaterialien .....	16
– Strahlenexposition der Bevölkerung durch bergbauliche Hinterlassenschaften .....	16
– Leitstelle zur Ermittlung und Überwachung der natürlichen und bergbaubedingten Umweltradioaktivität .....	17
<b>Medizinische Strahlenhygiene</b> .....	18
– Strahlenexposition der Bevölkerung durch Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin .....	18
– Begutachtung in der medizinischen Forschung .....	19
– Interne und externe Dosimetrie .....	19
– Methodische Entwicklungen zur Reduktion der Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik .....	19
<b>Das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität im Wandel</b> .....	21
<b>Überwachung der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens</b> .....	23

<b>Radioaktivität und Umwelt – Radioökologie</b>	24
– Strahlenexposition von Säuglingen durch kontaminierte Muttermilch	24
– Radioökologische Modelle zur Abschätzung von Kontaminationen und Strahlenexpositionen bei unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen	24
– Komplexe meteorologische Modelle zur Berechnung der Ausbreitung von Radionukliden in der Atmosphäre	25
– Freigabe von radioaktiven Abfällen und radioaktivem Bauschutt	26
– Entwicklung von Konzepten zum Schutz der Umwelt vor ionisierenden Strahlen	26
<b>Berufliche Strahlenexposition</b>	27
– Überwachungsziele	27
– Überwachung der äußeren und inneren Strahlenexposition	27
– Ausgewählte Überwachungsergebnisse des Strahlenschutzregisters	28
– Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS	28
– Berufliche Strahlenexposition durch Radon und Radonzerfallsprodukte	29
<b>Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen</b>	30
– Ermittlung der Strahlenexpositionen	30
– Überwachungsergebnisse	30
– Qualitätssicherung und Kontrolle der Eigenüberwachung von Kernanlagen	30
<b>Übereinkommen über nukleare Sicherheit</b>	32
<b>Forschung für mehr Sicherheit und Strahlenschutz</b>	33
– Schwerpunkt Strahlenschutz	33
– Schwerpunkt Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen	34
– Internationale Zusammenarbeit	35
<b>Die Störfallmeldestelle des Bundesamtes für Strahlenschutz</b>	36
<b>Nationaler Entsorgungsplan</b>	38
– Endlagerung	38
– Arbeitskreis „Auswahlverfahren Endlagerstandorte“	38
– Das Ein-Endlager-Konzept	38
<b>Abfallerhebung</b>	39
<b>Das Bergwerk zur Erkundung des Salzstocks Gorleben</b>	40
<b>Das geplante Endlager Schacht Konrad</b>	41
<b>Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)</b>	42
<b>Transport und Zwischenlagerung</b>	43
– Transport radioaktiver Stoffe – Atomrechtliche Beförderungsgenehmigungen und verkehrsrechtliche Zulassungen	43
– Aufbewahrung von Kernbrennstoffen	44
– Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord	44
– Standortzwischenlager Lingen	45
<b>Publikationen</b>	46

## Vorwort des Präsidenten

Im Jahr 1999 konnte das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auf ein zehnjähriges Bestehen zurückblicken. Mit der Gründung 1989 erhielt das BfS den Auftrag, das drei Jahre zuvor in Folge der Reaktor-katastrophe von Tschernobyl eingerichtete Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fachlich und durch wissenschaftliche Forschung in Fragen des gesundheitlichen und physikalisch-technischen Strahlenschutzes zu beraten und zu unterstützen. Diese Arbeit hat dem BfS national und international Geltung verschafft.

Ohne Zweifel waren die Aufgaben des BfS in 1999 besonders geprägt durch den erklärten Willen der im Herbst 1998 gewählten Bundesregierung, aus der Nutzung der Atomenergie auszusteigen. Mit dem Atomausstieg sollen radioaktive Emissionen und mögliche unfallbedingte Freisetzungen weiter minimiert oder ganz ausgeschlossen werden. Die Menge zu entsorgender radioaktiver Abfälle wird begrenzt. Angesichts dieser politischen Zielvorgaben sind Fragen der Entsorgung und damit verbundene neue Lösungsansätze Gegenstand umfangreicher öffentlicher und fachwissenschaftlicher Diskussionen.

Die Erkundung des Salzstockes Gorleben wird aufgrund von Zweifeln an seiner Eignung zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle unterbrochen. Das BfS hat Konzepte erarbeitet, um die Überführung des Erkundungsbergwerkes in den Offenhaltungsbetrieb zu ermöglichen.

Das Planfeststellungsverfahren für Schacht Konrad, das geplante Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, steht nach Aussagen der Planfeststellungsbehörde, dem Niedersächsischen Umweltministerium, kurz vor einem Abschluss.

Eine besondere Herausforderung ist die Erarbeitung eines Stilllegungskonzeptes für das Endlager Morsleben. Dabei ist zur Stabilisierung von Teilen des Bergwerkes eine vorgezogene Verfüllung des Zentralteils der Schachanlage Bartensleben vorgesehen. Gegenwärtig werden zwei mögliche Stilllegungsvarianten untersucht.

Nach dem Bekanntwerden jahrelanger Überschreitungen von Kontaminationsgrenzwerten an Behältern und Transportmitteln galt während des ganzen Jahres 1999 ein Beförderungsstopp für bestrahlte Brennelemente. Ab Juni gingen beim BfS 13 Transportanträge ein. Die Bearbeitung der Anträge für innerdeutsche Transporte in das Zwischenlager Ahaus war am Jahresende am weitesten



fortgeschritten. Diese Anträge konnten im Januar 2000 nach Erfüllung umfangreicher Auflagen genehmigt werden.

Zusätzliche Aufgaben in erheblichem Umfang kommen auf das BfS durch die Beantragung von 14 standortgebundenen Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente zu. Dieser Weg soll einerseits die Zahl der Transporte in die Behälterlager Ahaus und Gorleben minimieren und bildet andererseits die Voraussetzung für den Verzicht auf die umweltbelastende Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente. Für das erste bereits 1998 beantragte Zwischenlager in Lingen konnten im Sommer der Sicherheitsbericht und weitere Unterlagen öffentlich ausgelegt werden. Die Erörterung der Einwendungen fand im Dezember statt.

Im November 1999 wurde die Betriebsgenehmigung für das Zwischenlager in Lubmin erteilt, das künftig alle radioaktiven Abfälle aus der Stilllegung und dem Abriss der Atomkraftwerke in Greifswald und Rheinsberg aufnehmen soll.

An die mit der Nutzung der Atomenergie verbundenen Risiken mahnte der schwere Unfall in der japanischen Uranverarbeitungsanlage in Tokaimura. Das BfS beteiligte sich an der Aufklärung der Ursachen und informierte die Öffentlichkeit.

Angesichts der Kontroversen um die Modalitäten des Atomausstiegs geriet der gesundheitliche und angewandte Strahlenschutz in der öffentlichen Wahrnehmung leider in den Hintergrund. Dabei sind auch hier wichtige

Entwicklungen zu verzeichnen. Zur Begrenzung von Ingestionsdosen wurden im Rahmen der anstehenden Novellierung der Strahlenschutzverordnung die Dosiskonversionsfaktoren für rund 800 Radionuklide neu berechnet. Außerdem wurden – unter Berücksichtigung der EU-Vorgaben – maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen in der Abluft kerntechnischer Anlagen bestimmt. Nicht nur für die Strahlenschutznovelle, sondern auch für die anstehende Überarbeitung der Röntgenverordnung wurden Richtlinien im medizinischen Strahlenschutz erarbeitet. Die Bundesregierung beabsichtigt, dem BfS die Zuständigkeit für die Genehmigung von Strahlenanwendungen am Menschen in der medizinischen Forschung zu übertragen.

Mit der Zulassung eines Messlabors für Radon und Radon-Zerfallsprodukte durch den Deutschen Kalibrierdienst hat das BfS die Basis für eine Reihe von Aufgaben auf der Grundlage der novellierten Strahlenschutzverordnung geschaffen. Es übernimmt z. B. bei Kontrollen einer beruflichen Strahlenexposition durch Radon-Zerfallsprodukte sowie bei der Bewertung von Ableitungen aus Sanierungsbetrieben des Uranerzbergbaus und der Bewertung von Sanierungsmaßnahmen in Bergbaugebieten eine wichtige Aufgabe.

Erfolg versprechend ist die Datenerhebung der deutschen Uranbergarbeiter-Studie angelaufen. Dabei wird der Vital-

status oder die Todesursache ehemaliger Wismut-Beschäftigter ermittelt, die in der epidemiologischen Studie des BfS erfasst sind. Erste Ergebnisse der Auswertung der Daten sind bereits in 2000 zu erwarten.

Wichtig ist mir, dass bei den anstehenden Aufgaben konsequent dem Gedanken des Umwelt- und Gesundheitsschutzes Rechnung getragen wird. Die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des BfS werden sich mit der erforderlichen Professionalität, wissenschaftlichem Sachverstand, gesellschaftlichem Weitblick und Offenheit für die Anliegen der Bevölkerung den kommenden Herausforderungen stellen.

Der vorliegende Jahresbericht informiert über einige wichtige Arbeitsschwerpunkte und die erzielten Ergebnisse. Ich bin zuversichtlich, dass er die Grundlage für eine Diskussion wichtiger Fragen auf den Gebieten des Strahlenschutzes, der kerntechnischen Sicherheit sowie der Entsorgung und des Transportes radioaktiver Abfälle bietet.

Sofern Sie weitergehende Einblicke in die Arbeit des Bundesamtes für Strahlenschutz wünschen, möchte ich Sie auf unser Internetangebot unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de) verweisen.

Wolfram König

# Aufbau und Organisation des BfS

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ist eine selbstständige Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), die am 01.11.1989 gegründet wurde. Aufgabe des BfS ist es, das BMU fachlich und durch eigene wissenschaftliche Forschung im gesundheitlichen und physikalisch-technischen Strahlenschutz, bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle, der staatlichen Verwahrung von Kernbrennstoffen, beim Transport radioaktiver Stoffe, der kerntechnischen Sicherheit sowie der Durchführung der Bundesaufsicht über kerntechnische Einrichtungen zu unterstützen.

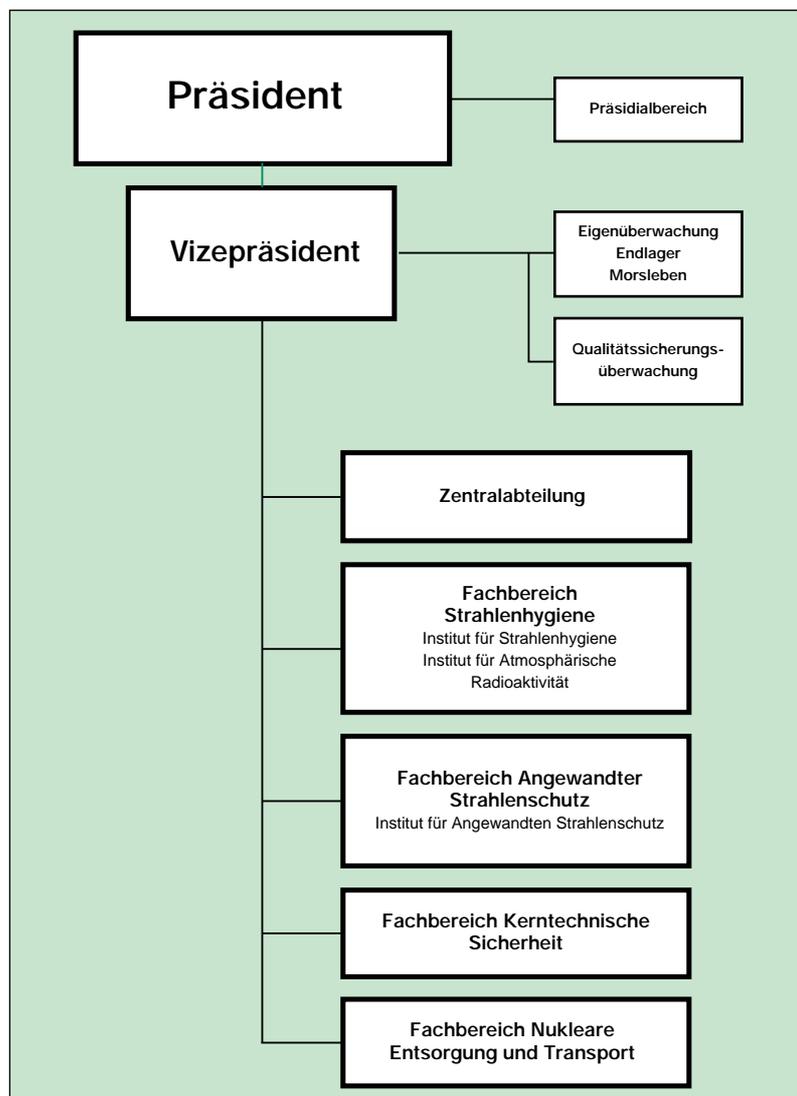
Das BfS erfüllt Aufgaben des Bundes auf den Gebieten des Strahlenschutzes einschließlich der Strahlenschutzvorsorge sowie der kerntechnischen Sicherheit, der Beförderung radioaktiver Stoffe und der Entsorgung radioaktiver Abfälle einschließlich der Errichtung und des Betriebes von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung, die ihm durch das Atomgesetz, das Strahlenschutzvorsorgegesetz, andere Bundesgesetze oder durch Verordnungen zugewiesen sind. Es befasst sich u.a. mit Fragen des Strahlenschutzes in der medizinischen Diagnostik und Therapie, Auswirkungen der UV-Strahlung, der

natürlichen Radon-Strahlung und der elektromagnetischen Strahlung. 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 Amt gliedert sich unter der Leitung des Präsidenten und Vizepräsidenten in eine Zentralabteilung sowie in vier Fachbereiche, in denen die Amtsaufgaben, anwendungsorientierte Forschung und wissenschaftlichen Aufgaben mit administrativem Bezug in Abteilungen und Fachgebieten/Referaten bearbeitet werden.

Präsident des BfS ist seit April 1999 Dipl.-Ing. Wolfram König, Staatssekretär a. D., der die Nachfolge seines in den Ruhestand getretenen Vorgängers, Professor Dr. Alexander Kaul, angetreten hat.

Das BfS hat seinen Hauptsitz in Salzgitter-Lebenstedt. Weitere Standorte und Außenstellen befinden sich in Oberschleißheim (Neuherberg) bei München, Berlin, Freiburg, Hanau, Bonn, Rendsburg, Gartow und Schlema (siehe zweite Umschlagseite).



Organisationsplan  
des Bundesamtes für  
Strahlenschutz

Das BfS hat zurzeit 659 Beschäftigte. Die Verteilung der Beschäftigten auf die Dienstorte und die Zuordnung zu den Laufbahnen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Dienstort	Höherer Dienst	Gehobener Dienst	Mittlerer Dienst	Einfacher Dienst	Auszubildende	Gesamt
Salzgitter	133	52	79	14	2	280
Berlin	47	17	45	12	–	121
Oberschleißheim (Neuherberg)	71	49	37	9	3	169
Freiburg	10	1	11	3	–	25
Hanau	2	2	5	–	–	9
Bonn	21	6	13	2	–	42
Schlema	1	–	–	1	–	2
Gartow	1	1	1	–	–	3
Rendsburg	1	1	5	2	–	8
	287 (44 %)	129 (19 %)	196 (29 %)	43 (7 %)	5 (1 %)	659 (100 %)

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

Dem BfS standen 1999 zur Erfüllung seiner Aufgaben 392,6 Millionen DM zur Verfügung, die sich wie folgt verteilen:

<b>Stammhaushalt:</b>	74,980 Mio. DM
Anteil an Gesamtausgaben	19,1%
Refinanzierter Bereich*):	303,840 Mio. DM
<b>Endlagerprojekte</b>	
Anteil an Gesamtausgaben	77,4%
Refinanzierter Bereich:	13,808 Mio. DM
<b>Staatliche Verwahrung von Kernbrennstoffen</b>	
Anteil an Gesamtausgaben	3,5%

\*) Zur Deckung des notwendigen Aufwandes des Bundes werden, z. B. von Energieversorgungsunternehmen, Vorausleistungen erhoben.

Ausgaben 1999 (Haushaltssoll)

Auf dem Gebiet der Ressortforschung (Untersuchungen, Studien, Gutachten, die als Entscheidungshilfen zu anstehenden Fragestellungen des BMU dienen) standen dem BfS im Haushaltsjahr 1999 Mittel für folgende Bereiche zur Verfügung.

Reaktorsicherheit	43,000
Strahlenschutz	8,458
Internationale Zusammenarbeit	8,000

Ressortforschungsmittel (in Mio. DM) und ihre sachliche Verteilung

Weiterhin standen dem BfS für Forschungsvorhaben, die z.B. von der EU oder von Bundesländern finanziert werden (Drittmittelforschung) 3,949 Mio. DM zur Verfügung.

# Ausgewählte Arbeitsschwerpunkte des BfS

## Wirkung kleiner Strahlendosen

Die Wirkung niedriger Strahlendosen wird sowohl in der Fachwelt als auch in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Diese Kontroverse wird häufig kaum verstanden und als verwirrend erfahren. Es wird daher versucht, den wissenschaftlichen Kenntnisstand kurz darzustellen, Unsicherheiten zu benennen und Gründe für die kontroverse Diskussion aufzuzeigen.

### Definition des Begriffs „niedrige Strahlendosis“

Unter niedrigen Strahlendosen werden in der Regel Dosen bis zu etwa 200 Millisievert (mSv) verstanden. Diese Größenordnung entspricht etwa der durchschnittlichen lebenslangen, persönlichen Strahlenexposition durch natürliche Quellen. Diese beträgt in Deutschland etwa 2,4 mSv pro Jahr. Aus der Medizin, der Kerntechnik und anderen Anwendungen ionisierender Strahlen kommen zur natürlichen Exposition noch bis zu 2 mSv pro Jahr hinzu.

Unterhalb dieser an der natürlichen durchschnittlichen Strahlenexposition orientierten Dosis von 200 mSv, bei einer angenommenen mittleren Lebenserwartung von 80 Jahren, treten auch bei akuter Exposition keine deterministischen Strahlenwirkungen wie Hautrötungen, Blutarmut oder Trübung der Augenlinse auf. Dies gilt nicht für die sogenannten stochastischen – zufallsabhängigen – Strahlenwirkungen. Darunter werden zusätzliche Leukämie- und Krebserkrankungen, die erst viele Jahre oder Jahrzehnte nach der Bestrahlung auftreten, sowie zusätzliche genetische Schäden bei den Nachkommen bestrahlter Personen verstanden. Grundsätzliche strahlenbiologische Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass es keine Strahlendosis ohne Wirkung gibt.

### Epidemiologische Erkenntnisse bei Krebserkrankungen strahlenexponierter Personen

Krebserkrankungen als Folge stochastischer Strahlenwirkung lassen sich bei strahlenexponierten Personengruppen nur mit Hilfe epidemiologisch-statistischer Methoden dadurch nachweisen, dass sie in einer bestrahlten Personengruppe häufiger auftreten als in einer vergleichbaren, jedoch unbestrahlten Kontrollgruppe. In ihrem klinischen Erscheinungsbild lassen sich spontane, durch Strahlen bedingte Krebserkrankungen und genetische Schäden nicht unterscheiden. Abschätzungen zum stochastischen Strahlenrisiko wurden für verschiedene Personengruppen vorgenommen, die in der Vergangenheit aus medizinischen Gründen (radiologische und nuklearmedizinische Diagnostik, Strahlentherapie), durch ihre Berufstätigkeit

(Radiologen, Bergleute, Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen etc.) oder durch Atombombenexplosionen (Hiroshima und Nagasaki, Marshall-Inseln, Semipalatinsk) einer erhöhten Strahlung ausgesetzt waren und bei denen vermehrt Krebsfälle aufgetreten sind.

Für die Ableitung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen für stochastische Strahlenwirkungen haben sich die Studien über japanische Atombomben-Überlebende als am besten geeignet erwiesen. Hier war eine Bevölkerung betroffen, die alle Altersklassen und Personengruppen mit sehr unterschiedlichen Dosisbelastungen umfasst. Zudem blickt man mittlerweile auf einen langen Beobachtungszeitraum zur Krebsauslösung zurück.

Die Daten der Überlebenden der Atomexplosionen weisen auf eine mit der Dosis zunehmende Leukämie- und Krebshäufigkeit hin. Während die durch Krebs verursachten Todesfälle für einzelne Krebsarten und Krebs insgesamt durch eine lineare Dosis-Effekt-Beziehung dargestellt werden können, gilt für Leukämien eher eine linear-quadratische, d.h. eine überproportionale Abhängigkeit. Mit kleiner werdender Dosis verringert sich die Krebshäufigkeit. Epidemiologische Studien erfordern dann einen zunehmenden Größenumfang, um diesen Effekt noch vor dem Hintergrund der spontanen Erkrankungshäufigkeit statistisch zeigen zu können. Zur Bestimmung des allgemeinen strahlenbedingten Krebsrisikos liegt die untere Nachweisgrenze auch bei den sehr großen Studien an den Atombombenopfern in Japan zwischen 50 und 100 mSv. Für einige wenige Tumore konnte in anderen Studien wegen der relativ niedrigen spontanen Erkrankungsrate ein strahlenbedingtes Risiko zwischen 20 und 100 mSv nachgewiesen werden. Hierzu zählen Schilddrüsenkrebs und Leukämien bei Kindern sowie die Krebsinduktion bei Kindern nach einer Bestrahlung während der Schwangerschaft. Wegen der relativ geringen Zahl erkrankter Personen in den Gruppen mit niedriger Exposition ist die Abschätzung des Risikos im Bereich kleiner Dosen mit großen Unsicherheiten behaftet.

### Strahlenbiologische Befunde zur Klärung der Wirkung kleiner Strahlendosen

Bei Dosen unter 20 mSv lässt sich durch epidemiologische Studien eine Strahlenwirkung nicht nachweisen, weil der Unterschied in den Erkrankungshäufigkeiten bei bestrahlten und unbestrahlten Personengruppen sehr klein wird. Um plausible Aussagen zum Verlauf der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Dosis Null und der epidemiologischen Nachweisgrenze vornehmen zu können, muss auf strahlen- und molekularbiologische Befunde zur Krebsauslösung zurückgegriffen werden. Von

großer Bedeutung für die Krebsauslösung sind die zellbiologischen Erkenntnisse, wie Körperzellen Strahlenschäden erkennen und gegebenenfalls reparieren können. Wird eine Schädigung nicht richtig erkannt und/oder schlägt die Reparatur fehl und kann eine Zelle trotz dieser Fehler überleben, so kann aus dieser nun genetisch veränderten Zelle potenziell eine Krebserkrankung entstehen. Im weiteren Verlauf der Krebsentstehung sind dann weitere Mutationen in diesen veränderten Zellen notwendig, die von der ersten mutierten Zelle zum klinischen Krankheitsbild Krebs führen. Die Zahl der notwendigen genetischen Veränderungen bis zur vollständigen Bösartigkeit eines Krebses ist von Tumor zu Tumor unterschiedlich. Strahleninduzierte Tumore können von spontan entstandenen Tumoren nicht anhand zellulärer Veränderungen unterschieden werden. Dieses Ansammeln genetischer Veränderungen kann sowohl spontan als auch durch Strahlung oder durch Chemikalien ausgelöst werden.

Der Ursprung einer Krebserkrankung aus einer geschädigten Zelle spricht für eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis. Die Mehrstufigkeit der Krebsentstehung und zelluläre Reaktionsmechanismen – wie die mögliche Reparatur von Strahlenschäden – sprechen dagegen eher für eine nach oben gekrümmte Dosis-Wirkungs-Beziehung.

Aus Tier- und Zellkulturversuchen liegen Ergebnisse vor, die von der linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung abweichen. Es wurden sowohl relativ stärkere Effekte bei kleinen Dosen im Vergleich zu hohen Dosen, als auch relativ schwächere Effekte beschrieben. Die überwiegende Mehrzahl der experimentellen Erkenntnisse ist aber mit der linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung vereinbar.

## **Berücksichtigung von epidemiologischen und strahlenbiologischen Erkenntnissen zur Risikoabschätzung**

Das international abgestimmte Strahlenschutzkonzept geht davon aus, dass jede Strahlendosis das Risiko für Krebs und genetische Schäden erhöht. Die Krebshäufigkeit und die Häufigkeit genetischer Schäden nimmt proportional mit der Dosis zu; eine Schwellendosis kann nicht unterstellt werden.

Diese lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung wird jedoch nicht von allen Strahlenschutz-Experten getragen. Es werden so-

wohl Schwellendosis-Konzepte als auch stärkere Wirkungen kleiner Strahlendosen diskutiert. Die bisher vorliegenden biomedizinischen Erkenntnisse sind jedoch nicht ausreichend, um diese Frage abschließend beantworten zu können. Die überwiegende Mehrzahl aller epidemiologischen sowie experimentellen Untersuchungen stimmen mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung überein. Im Strahlenschutz wird daher weiterhin von der linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung als der plausibelsten Hypothese ausgegangen. Unterstützung findet diese Hypothese in der Einfachheit des linearen Prinzips und der Praktikabilität in der Anwendung. Vom linearen Dosis-Wirkungs-Prinzip für kleine Strahlendosen abweichende Hypothesen implizieren eine Sicherheit der Erkenntnis, die derzeit nicht gegeben ist.

## **Die Kontroverse zur Wirkung kleiner Strahlendosen**

Im streng naturwissenschaftlichen Sinn können sichere Aussagen zur Strahlenwirkung nur für den Dosisbereich gemacht werden, in dem Strahlenwirkungen beobachtet werden können. Der Strahlenschutz erfordert aber Aussagen auch für den Dosisbereich zwischen der Dosis „Null“ und den ersten Beobachtungswerten. Um strahlenschutzrelevante Aussagen für diesen Dosisbereich machen zu können, müssen – auf plausible Modellannahmen gestützte – näherungsweise Bestimmungen vom Beobachtungsbereich zum Nullpunkt vorgenommen werden. Der Grad der Unsicherheit der Risikoabschätzung im Beobachtungsbereich und der Grad der Unsicherheit in den Modellannahmen muss sich im konservativen Charakter dieser Extrapolation niederschlagen.

Der Umgang mit Unsicherheiten in der wissenschaftlichen Erkenntnis und der Modellbildung sowie die Frage, wie konservativ die Risikoabschätzung sein muss, um ausreichende Sicherheit zu gewährleisten, ist der eigentliche Gegenstand der wissenschaftlichen Kontroverse. Damit ist die in der Öffentlichkeit oft als verwirrend wahrgenommene Auseinandersetzung zwischen Experten vom Grundsatz her nicht ein Streit um wissenschaftliche Erkenntnisse und Modelle, sondern vielmehr einer über den Umgang mit Unsicherheiten und Nichtwissen. Die wissenschaftliche Kontroverse spiegelt den gesellschaftlichen Konflikt des Umgangs mit Risiken wider und verdeutlicht damit die Vielfalt der auch in wissenschaftlichen Diskursen zutage tretenden subjektiven Wahrnehmungen von Risiken.

Vor dem Hintergrund des Ringens um gegenseitiges Verständnis fand 1999 das zweite Fachgespräch mit Vertretern der Gesellschaft für Strahlenschutz über die Wirkung kleiner Strahlendosen statt.

# Strahlenrisiko und Risikodiskussion

Das Konzept des Strahlenschutzes basiert auf den drei Grundpfeilern „Rechtfertigung“, „Begrenzung“ und „Minimierung“. Die Anwendung von Strahlung bzw. die Belastung Dritter durch Strahlung muss nach Abwägung von Nutzen und Risiko gerechtfertigt sein. Diese Abwägung kann sich auf einzelne Personen beziehen, wie dies bei der individuellen Nutzen-Risiko-Abwägung bei medizinischen Anwendungen – beispielsweise in der Röntgendiagnostik – erfolgt, oder aber auf die ganze Gesellschaft. Die Energiegewinnung aus der Atomkraft, die bis Anfang der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wenig in Frage gestellt wurde, wird jetzt mehrheitlich kritisch beurteilt. Das mit der Nutzung der Atomenergie verbundene Risiko hat im Laufe der Jahrzehnte eine andere Bewertung erfahren. Bei der Rechtfertigung müssen neben Fragen der natur- und technikwissenschaftlichen Risikoabschätzung immer auch soziale und ökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Für Strahlenexpositionen wird, auch wenn sie als gerechtfertigt angesehen werden, durch Grenzwerte nach oben grundsätzlich eine Schranke gesetzt. Eine Differenzierung in der Höhe erfolgt nach Art der betroffenen Personengruppe. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der überwachten Gruppe der beruflich strahlenexponierten Personen und der allgemeinen Bevölkerung. Die effektive Jahresdosis aus natürlichen Strahlenquellen liegt, gemittelt über die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, bei ca. 2,4 mSv pro Jahr. Je nach Region kann die Dosis im Mittel um ca. 1 mSv nach oben (an exponierten Orten bis 10 mSv) oder unten schwanken. Die Grenzwerte für die Belastung der Bevölkerung orientieren sich an einer Schwankungsbreite von 1 mSv. Es herrscht in der Fachwelt die Meinung vor, dass die aus einem Wechsel des Wohnortes – zum Beispiel von Nord- nach Süddeutschland – resultierende zusätzliche Belastung durch natürliche Strahlung keinen Abwägungsgrund darstellen sollte. Als Ausnahme kann hier das natürliche radioaktive Edelgas Radon in Häusern gelten, das – bedingt durch die geologischen Gegebenheiten – in einigen Landesteilen (z.B. in Teilen des Erzgebirges, des Bayerischen Waldes und der Oberpfalz, des Schwarzwaldes und des Hunsrück) verstärkt auftritt.

Für beruflich strahlenexponierte Personen gelten höhere Grenzwerte von 50 mSv pro Kalenderjahr entsprechend der geltenden Strahlenschutzverordnung. Die mit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung geplante Absenkung des Grenzwertes auf 20 mSv hat ihre Begründung in einer Neubewertung des gesundheitlichen Strahlenrisikos durch internationale Strahlenschutzgremien.

Der dritte Grundpfeiler des Strahlenschutzes ist die Minimierung. Auch rechtlich zulässige Strahlenexpositionen sind unterhalb der Grenzwerte weiter zu senken. Diese Minimierung muss unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Randbedingungen erfolgen.

Die gesundheitlichen Risiken durch Strahlung sind in der Bevölkerung Gegenstand kontroverser Auseinandersetzungen. Ein Grund dafür ist, dass das gesundheitliche Strahlenrisiko häufig im Zusammenhang mit der Frage der großtechnischen Energiegewinnung in Atomkraftwerken diskutiert wird. Auch die bis heute nicht abschließend geklärte Frage der Entsorgung radioaktiver Abfälle ist hier von Bedeutung.

Im Unterschied zu Atomkraftwerken gibt es aber auch Anwendungen ionisierender Strahlen, unter anderem in der Medizin, der biomedizinischen Forschung, in der Materialwissenschaft und Materialprüfung, die nicht oder teilweise nur mit erheblichen Zusatzrisiken durch alternative Anwendungen ersetzt werden können. Die Rechtfertigung, ob für eine bestimmte Anwendung ionisierende Strahlung oder alternative Verfahren zum Einsatz kommen sollen, bedarf einer spezifischen Abwägung des Nutzens und der jeweiligen Risiken, die einen Vergleich oft sehr unterschiedlicher Risiken der alternativen Verfahren beinhaltet.

Die auf der Bewertung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Daten basierende Abschätzung von Strahlenrisiken wird weitgehend als naturwissenschaftliche Aufgabe betrachtet. Dabei werden aber auch Aufgaben der Standardsetzung und damit die Frage der Akzeptanz von Strahlenrisiken in den Verantwortungsbereich der Naturwissenschaften verlagert. Was in einer demokratisch verfassten Gesellschaft als akzeptierbares Risiko gesehen wird, ist aber nicht zuerst oder gar allein eine Frage der Naturwissenschaften, sondern kann nur in einem öffentlichen Diskurs unter Einbeziehung aller relevanten gesellschaftlichen Kreise beantwortet werden. Um der Standardsetzung eine demokratische Legitimation zu verschaffen, müssen neue Verfahren der öffentlichen Beteiligung für den Prozess der Standardisierung im gesundheitlichen Umweltschutz in Deutschland eingeführt werden. Aufgabe der Naturwissenschaften in diesen Verfahren muss sein, die Ergebnisse der quantitativen Risikoabschätzung mit Hilfe der Risikokommunikation zu einer wesentlichen Grundlage der Risikobewertung und Standardsetzung zu machen.

Im Rahmen des im Sommer 1999 vom Bundesministerium für Gesundheit und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gemeinsam gestarteten Aktionsprogramms 'Umwelt und Gesundheit' wird eine Kommission von Experten aus Behörden, Nicht-Regierungsorganisationen und externen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen damit beauftragt, innerhalb der nächsten zwei Jahre hierzu Vorschläge zu unterbreiten. Die Kommission wird ihren Sitz beim Bundesamt für Strahlenschutz – Außenstelle Oberschleißheim (Neuherberg) bei München – haben.

# Schutz vor nichtionisierenden Strahlen

Elektrische und magnetische bzw. elektromagnetische Felder sowie die optische Strahlung, zu der die Infrarotstrahlung (IR) und die ultraviolette Strahlung (UV) gehören, bilden den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR).

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationssysteme ausgesetzt. Das heutige Freizeitverhalten in der Sonne und der zunehmend in Mode kommende „Wellness“-Bereich mit ansteigender Solariennutzung führen darüber hinaus zu einem Anstieg der UV-Belastung. Um den Schutz der Bevölkerung vor negativen Auswirkungen dieser Einflüsse zu gewährleisten, werden vom BfS Strahlenschutzempfehlungen und Informationen für die Bevölkerung erarbeitet. Diese beruhen auf gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen über gesundheitliche Beeinträchtigungen oder Schädigungen, die infolge der Wirkung nichtionisierender Strahlung auftreten. Daneben ist weiter abzuklären, ob gesundheitlich bedeutsame Langzeiteffekte aufgrund chronischer schwacher Expositionen zu erwarten sind.

Nichtionisierende Strahlung umfasst ein Frequenzspektrum, das vom natürlichen Erdmagnetfeld bis zum ultravioletten Licht reicht.

Da noch nicht alle Fragen wissenschaftlich zufriedenstellend beantwortet werden können, wurden in den geltenden Grenzwertempfehlungen zum Teil erhebliche Reduktionsfaktoren berücksichtigt. Gleichzeitig werden Anstrengungen unternommen, um durch Forschung die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erweitern. Aufbauend auf einem ständigen nationalen wie internationalen Wissensaustausch, werden im internationalen Konsens Grenzwertempfehlungen geprüft, an die wissenschaftlichen Erkenntnisse angepasst und ausgesprochen.

## Niederfrequente Felder

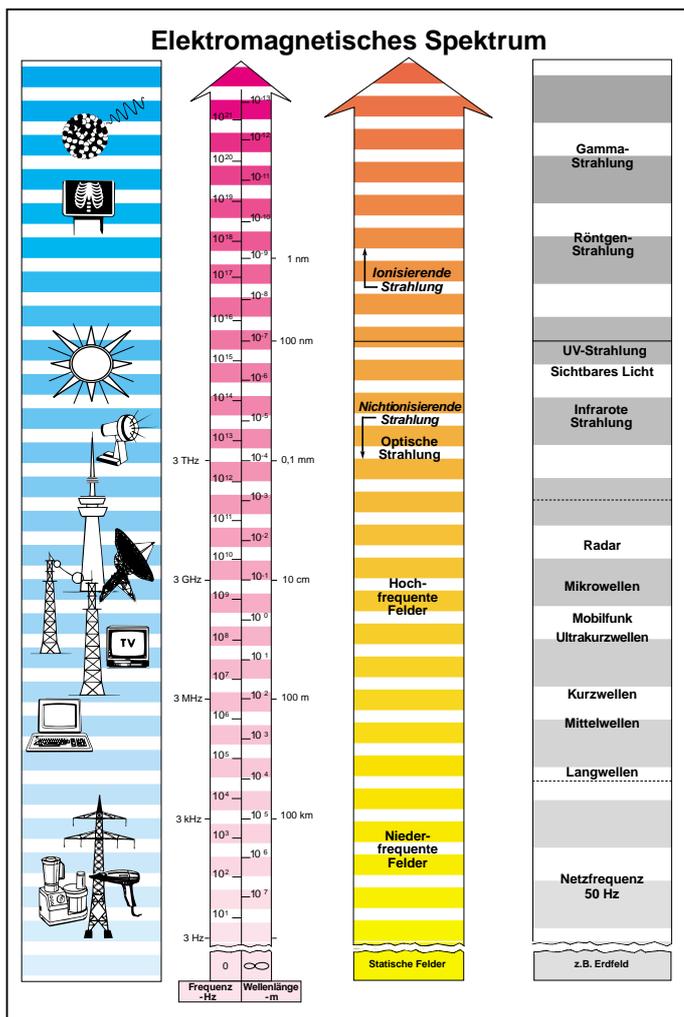
Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch Stromversorgung und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen entstehen. Kenntnisse über akute Effekte und ihre gesundheitlichen Auswirkungen bilden die Basis des Grenzwertkonzepts.

Ob Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen, wird kontrovers diskutiert. Eine Voraussetzung für die Entstehung von Krebs ist die Schädigung des Erbguts, der DNS. Substanzen, die solche Schäden bewirken können, bezeichnet man als genotoxisch. Nach dem derzeitigen Stand des Wissens sind niederfrequente Felder nichtgenotoxisch.

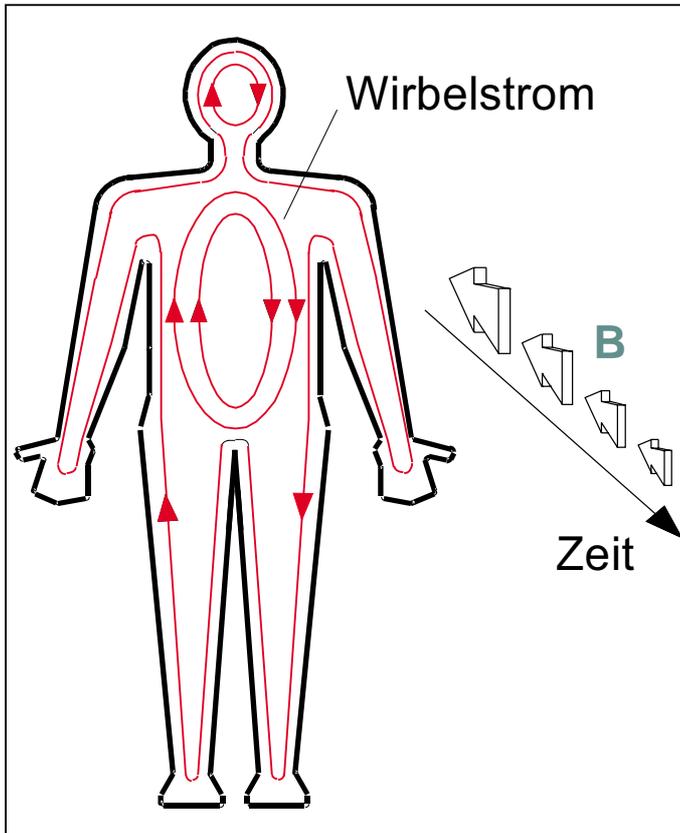
In zahlreichen Zell- und Tierstudien wurde untersucht, ob niederfrequente Magnetfelder einen indirekten Einfluss auf den Verlauf von Krebserkrankungen haben, indem sie Schädigungen der DNS begünstigen oder die Entwicklung der Krankheit beschleunigen. Die Bewertung der Studien ergibt, dass bislang kein solcher Einfluss nachgewiesen werden konnte.

Die Ergebnisse einzelner Untersuchungen sind häufig widersprüchlich. Eine unabhängige Reproduktion der Ergebnisse ist aber für eine strahlenhygienische Bewertung notwendig. Einzeleffekte können aus wissenschaftlicher Sicht keine Basis für Expositionsgrenzwerte darstellen.

Neben den Laboruntersuchungen wurden zahlreiche epidemiologische Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen Krebs und einer Magnetfeldexposition durchgeführt. Während die Bestimmung der elektromagnetischen Strahlung im häuslichen Umfeld in früheren Studien zumeist indirekt erfolgte, z.B. über Abstandsmessungen zu Hochspannungsleitungen, wurden die Magnetfelder im Wohnbereich der Studienteilnehmer in jüngeren Untersuchungen meistens direkt gemessen. Insbesondere die Ergebnisse dieser neueren, technisch verbesserten Studien sprechen insgesamt eher gegen eine Beziehung zwischen Magnetfeldern und z.B. Leukämie bei Kindern.



Spektrum mit Feldquellen



Mensch mit induzierten Wirbelströmen.

Eine noch nicht abgeschlossene epidemiologische Studie in Deutschland, die über den Umweltforschungsplan des BMU gefördert wird (Studienergebnisse werden Mitte 2000 erwartet), und Studien in anderen europäischen Ländern werden unser Wissen über mögliche Risiken weiter verbessern.

Wechselnde Magnetfelder (in der Abbildung oben: „B“) induzieren Wirbelströme im elektrisch leitenden Gewebe. Solche Ströme können, je nach Höhe, zur Reizung von Nerven und Muskeln bis hin zu Herzkammerflimmern führen. Die zulässige Stromdichte von  $2 \text{ mA/m}^2$  liegt weit unterhalb der Schwellenwerte für akute Gesundheitsgefährdungen.

## Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder in unserem Alltag kommen hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Fernsehen oder Funk verwendet werden.

Eine der großen technischen Veränderungen unserer Zeit ist die Einführung mobiler Telekommunikationssysteme. Angesichts der großen Verbreitung dieser Systeme wächst die Besorgnis in der Bevölkerung über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die hochfrequente Strahlung sowohl der Handys als auch vor allem der Basisstationen.

## Wirkungsmechanismen hochfrequenter Felder

Die Energie der Hochfrequenzstrahlung wird im Gewebe absorbiert und verursacht eine Erwärmung. Während diese Wärmewirkung gut untersucht und unumstritten ist, werden die sogenannten nichtthermischen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Bisher wurden diese Effekte überwiegend im Labor beobachtet. Im Vordergrund stehen hier modulierte Hochfrequenzfelder, wie sie auch bei der Mobilfunkkommunikation eingesetzt werden. Die berichteten Effekte, z.B. auf Zellmembranen, und das Wachstumsverhalten von Zellkulturen sind teilweise widersprüchlich und lassen sich häufig nicht reproduzieren. Eine Einschätzung, ob gesundheitsschädigende Wirkungen durch nichtthermische Effekte zu erwarten sind, kann daher nicht aufgrund einzelner Studienergebnisse erfolgen, sondern, wie bei niederfrequenter Strahlung, auf einer Übersicht und Bewertung aller bisherigen Forschungsergebnisse. Eine solche Bewertung wird u.a. von der Strahlenschutzkommission (SSK) und von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) vorgenommen. Gefahren durch nichtthermische Effekte sind nach Einschätzung dieser Institutionen nach derzeitigem Kenntnisstand und bei Einhaltung der Grenzwerte nicht zu erwarten.

## Grenzwerte für Mobilfunk

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als  $1^\circ\text{C}$  konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen gezeigt werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe aufgrund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm ( $\text{W/kg}$ ) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung.

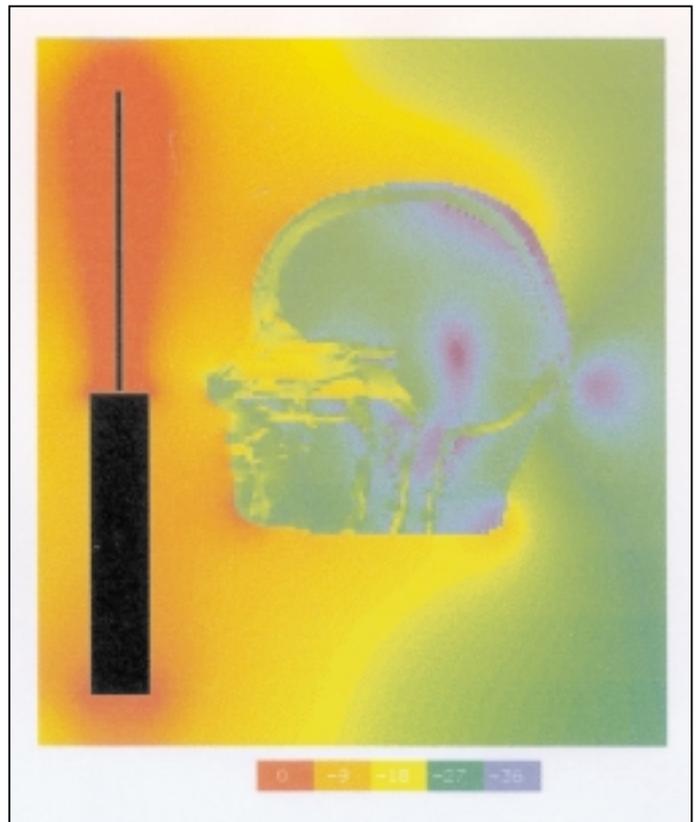
International wird empfohlen, die zulässige Belastung für die Bevölkerung auf maximal  $0,08 \text{ W/kg}$  (gemittelt über den ganzen Körper) zu begrenzen. Damit werden nach dem heutigen Wissensstand gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen. Von diesem Wert ausgehend können die maximal zugelassenen Feldstärkewerte, z.B. in der Umgebung von Basisstationen, bestimmt werden. Die hierfür in Deutschland gültigen Regelungen basieren auf Empfehlungen der ICNIRP.

In vielen Situationen werden vor allem einzelne Körperteile elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Beim Telefonieren mit Handys ist z.B. der Kopfbereich betroffen (Abb. Seite 12 oben). Da bei einer solchen Teilkörperexposition

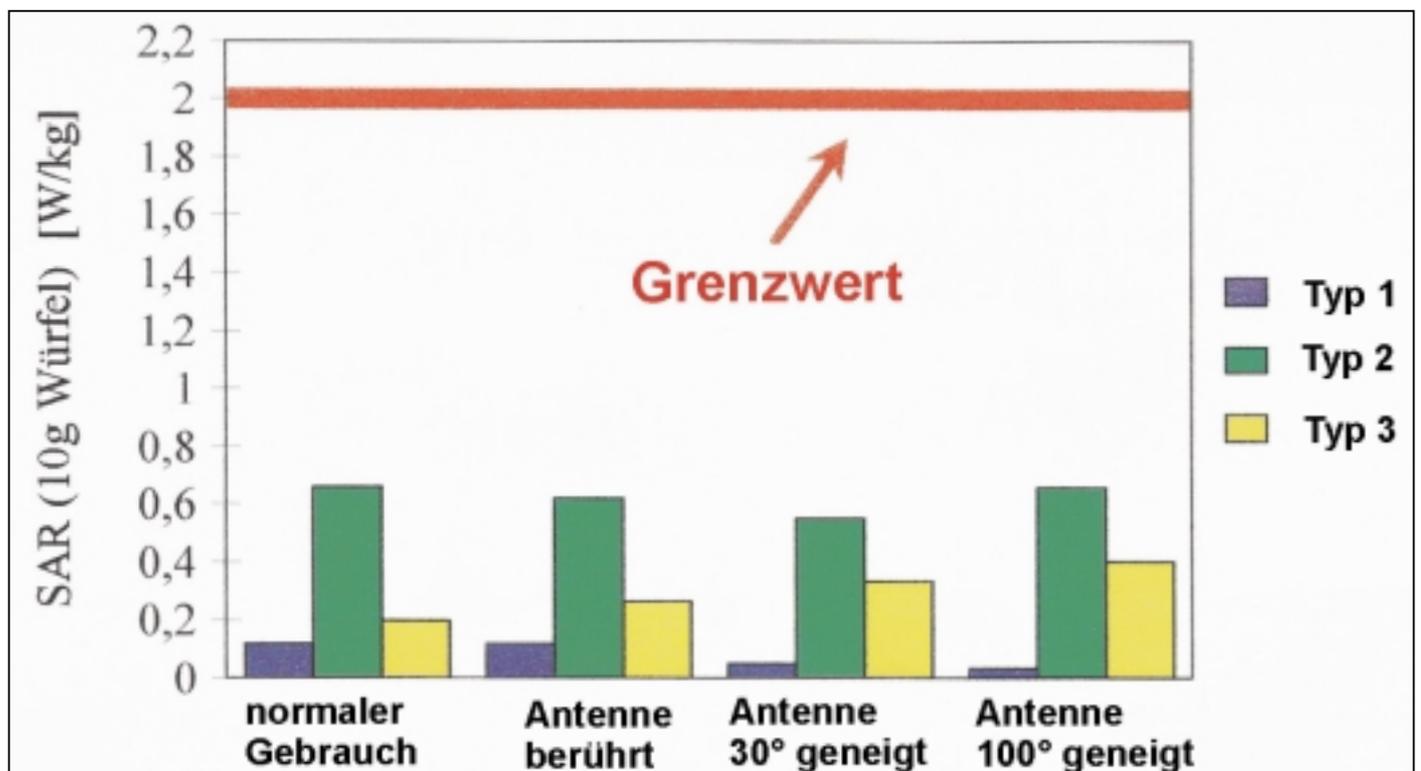
hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Bei den Teilkörpergrenzwerten wird berücksichtigt, dass v.a. die Blutzirkulation zu einem raschen Temperatenausgleich zwischen den Geweben führt. Der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf beträgt 2 W/kg und muss über jeweils 10 Gramm Körpergewebe – das entspricht ungefähr der Masse des Auges – gemittelt werden.

Hinsichtlich der Mobilfunkkommunikation ist festzustellen, dass die Sendeleistungen von Basisstationen so gering sind, dass keine gesundheitlichen Gefahren für die Anwohner durch thermische Effekte bestehen. Die beim Telefonieren mit einem Handy absorbierte Leistung ist zu meist um ein Vielfaches größer. Messungen und Berechnungen an marktüblichen Handytypen, die vom BfS 1998 veranlasst wurden, haben gezeigt, dass die von ICNIRP und der Strahlenschutzkommission empfohlenen Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung eingehalten werden (Abb. unten). Es konnten auch hier bisher keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei der Nutzung dieser Geräte nachgewiesen werden.

Die festgelegten Grenzwerte entsprechen dem aktuellen Stand gesicherter und anerkannter Forschung. Weiterentwicklungen in der biophysikalischen Analytik ebenso wie neu aufkommende Anwendungen in der Technik machen es aber erforderlich, den Wissensstand ständig zu prüfen und gegebenenfalls auf eine Änderung der Grenzwerte hinzuwirken.



Verteilung der Energieabsorption im Kopf bei Nutzung eines Mobiltelefons. (rot = hohe Absorption; blau = geringe Absorption)



Maximale Energieabsorption bei Nutzung von drei unterschiedlichen Mobiltelefonen, abhängig von der Gebrauchshaltung.

## Gesundheitliche Wirkungen von solarer UV-Strahlung

Die Sonne als wichtigste natürliche UV-Strahlenquelle hat großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen. Wegen der geringen Eindringtiefe der UV-Strahlung sind vor allem das Auge, die Haut und das Immunsystem betroffen. Zu den akuten Wirkungen zählen die Bindehautentzündung und das Erythem (Sonnenbrand), zu den chronischen, d.h. langzeitigen Wirkungen, die Linsentrübung (Grauer Star), frühzeitige Hautalterung, Hautkrebs, aber auch häufigere Infektionskrankheiten.

Das Auge ist durch seine anatomische Lage und den Lidverschluss bei grellem Sonnenlicht relativ gut vor zu hoher UV-Strahlung geschützt. Die Haut ist der solaren UV-Strahlung direkt ausgesetzt und kann sich nur in gewissen Grenzen schützen. Als Schutz dienen dabei die innerhalb von ca. 2 Wochen voll ausgeprägte Hornschichtverdickung („Lichtschwiele“) und Pigmentierung („Bräunung“). Unterschiedliche Hauttypen und das Alter der Haut beeinflussen ebenfalls die UV-Empfindlichkeit.

Vor allem durch das geänderte Freizeit- und Sozialverhalten hat sich in den letzten Jahrzehnten die UV-Exposition anhaltend erhöht. Die natürlichen Schutzmechanismen der Haut reichen nicht mehr aus. Seit Jahren ist eine stark steigende Rate bei Hautkrebs Erkrankungen zu beobachten. Dabei hängt das individuelle Risiko hauptsächlich von den persönlichen Gewohnheiten ab, ob und wie lange die ungeschützte Haut der Sonne ausgesetzt wird. Daher muss verstärkt über die Risiken der UV-Bestrahlung aufgeklärt werden, um längerfristig eine Verhaltensänderung zur verbesserten Strahlenschutzvorsorge zu erreichen.

## UV-Messungen in Deutschland

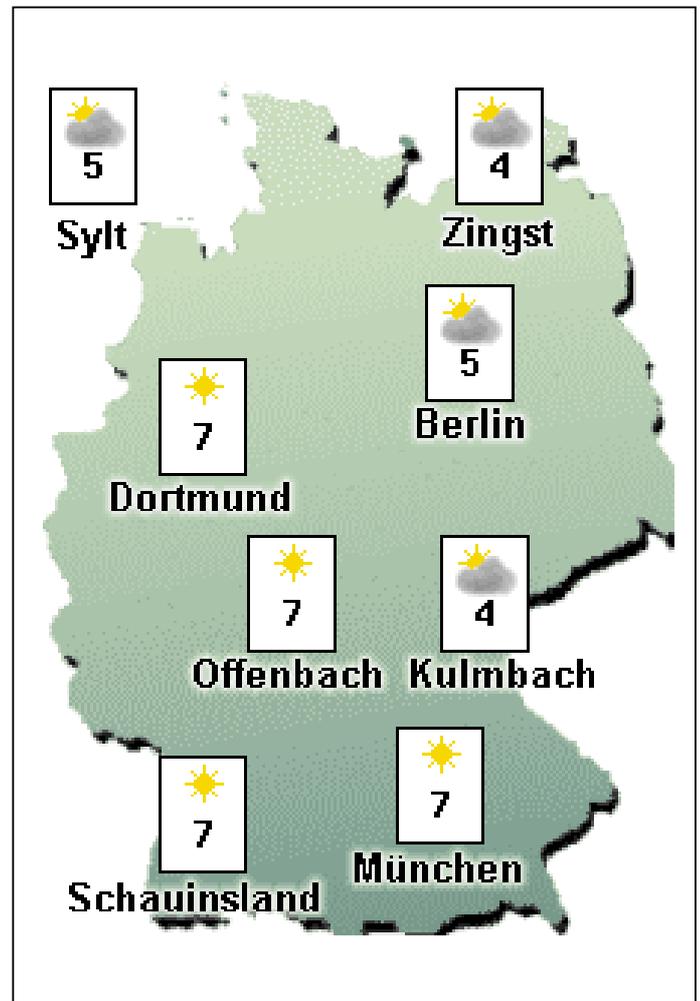
Eine in den 80er Jahren beobachtete Abnahme des Gesamtzongehaltes und eine damit verbundene Zunahme der solaren UV-Strahlung waren der Anlass, auch in Deutschland ein UV-Messnetz einzurichten. Seit 1994 überwacht das Bundesamt für Strahlenschutz gemeinsam mit dem Umweltbundesamt (UBA) kontinuierlich die bodennahe solare UV-Strahlung und bewertet diese aus strahlenhygienischer und ökologischer Sicht.

Das UV-Messnetz besteht aus den 4 Messstationen Zingst an der Ostsee, Langen bei Frankfurt, Schauinsland im Schwarzwald und Oberschleißheim (Neuherberg) bei München (Messnetz zentrale). Über eine Assoziation mit vier weiteren Stationen der Christian-Albrechts-Universität in Kiel, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit in Dortmund, des Landesamtes für Umweltschutz Bayern in Kulmbach und des Deutschen Wetterdienstes in Potsdam sind alle bedeutsamen UV-strahlenklimatologischen Gebiete in Deutschland abgedeckt.

Täglich wird alle 6 Minuten der gesamte UV-Wellenlängenbereich von 290 bis 400 Nanometer (nm) gemessen und nachts der Messzentrale für die Auswertung zugeführt. Als Basis für die gesundheitliche Bewertung der solaren UV-Strahlung dient das Erythem, weil es die am ehesten bemerkbare akute UV-Strahlenwirkung ist.

Für die Öffentlichkeit wurden 1999 auf dieser Grundlage auf der Internet-Seite des BfS aktuelle UV-Messwerte und UV-Prognosen bereitgestellt (siehe Abbildung unten). Dazu wurde das Maß *UV-Index* verwendet, das den Tageshöchstwert der „sonnenbrandwirksamen“ UV-Strahlung beschreibt.

In wissenschaftlichen Dokumentationen wird als Maßeinheit die erythemwirksame Halbstunden-Dosis (hED) bevorzugt. Sie gibt an, welche „sonnenbrandwirksame“ UV-Energie in einer halben Stunde auf den Erdboden auftrifft. Dabei entspricht einem UV-Index von 1 eine hED von knapp 50 Joule pro Quadratmeter ( $J/m^2$ ). Wird ein Wert von  $250 J/m^2$  (UV-Index=5) überschritten, kann bei einem Hauttyp II (hellhäutiger europäischer Typ) innerhalb einer halben Stunde ein Sonnenbrand auftreten. Das bedeutet



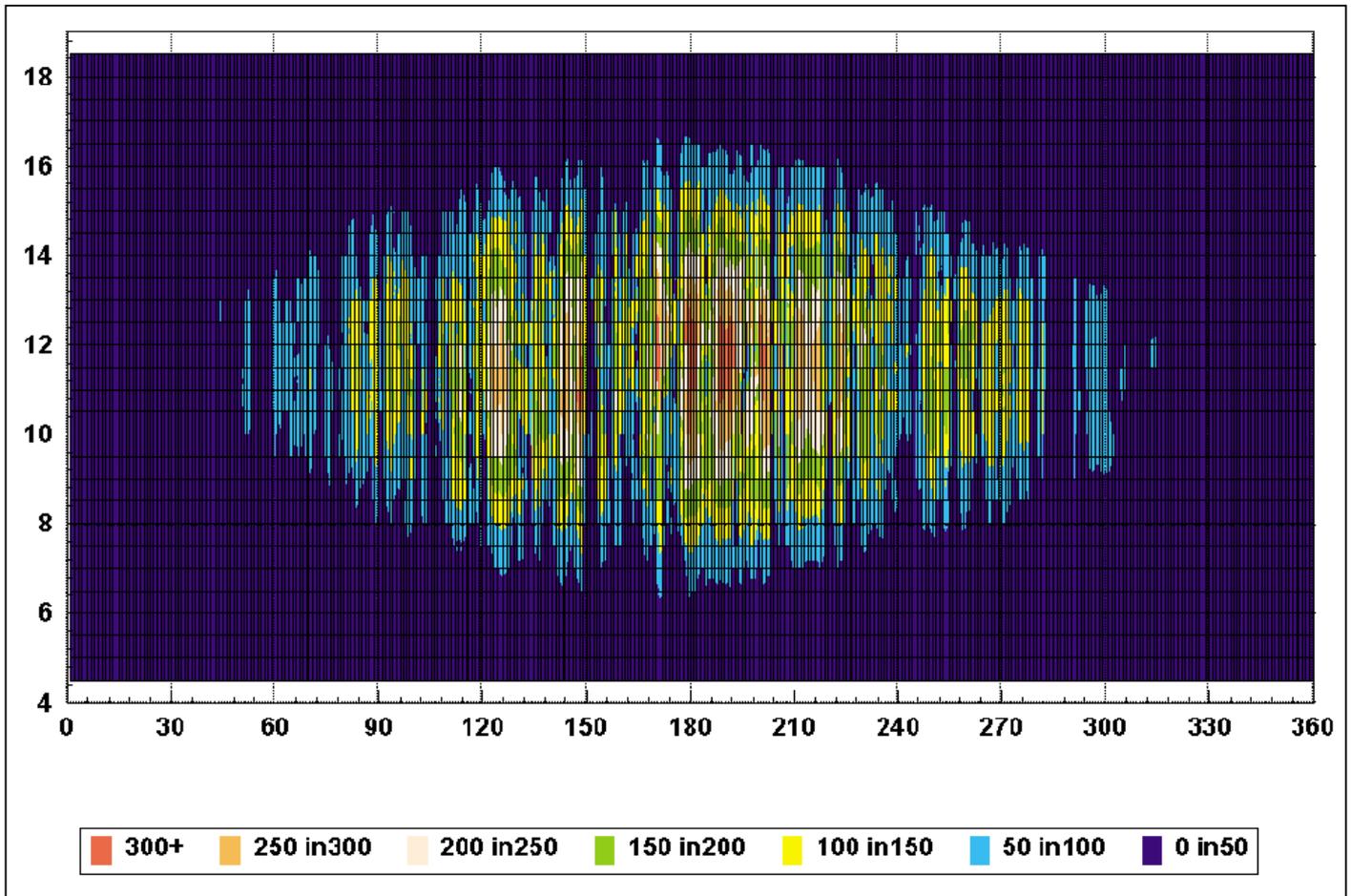
Tägliche Internet-Darstellung ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)) der an den 8 Stationen aktuell gemessenen UV-Strahlung in Form von UVI-Werten und Wettersymbolen (sonnig, wolkig, bedeckt, Regen)

eine hohe UV-Belastung. Nach Ansicht des BfS sind Maßnahmen zum Schutz vor der Strahlung erforderlich. In der Abbildung unten sind für die Messstation München alle hED-Werte eines Jahres in einem Farbflächenplot dargestellt. Anhand der Farben kann die halbstündliche UV-Belastung für das gesamte Jahr abgelesen werden.

Im Sommer werden Werte von bis zu 360 J/m<sup>2</sup> erreicht, d.h. innerhalb von ca. 20 Minuten kann ein Sonnenbrand hervorgerufen werden. Unregelmäßigkeiten im ovalen Verlauf sind vor allem auf bedeckten Himmel zurückzuführen. Bewölkung kann bis zu 80 Prozent der UV-Strahlung

zurückhalten. Die Verringerung der Ozonschicht in der Atmosphäre führt dagegen (noch) nicht zu einer deutlichen Zunahme der UV-Strahlung am Boden.

Die Abbildung zeigt, dass auch in unseren Breitengraden im Sommer hohe UV-Belastungen auftreten können. Daher ist es angebracht, sich im Sommer um die Mittagszeit im Schatten aufzuhalten. Wenn dies nicht möglich ist, sollte zumindest geeignete Kleidung zum Abdecken der Haut getragen werden. Kleinkinder müssen zu dieser Zeit vor direkter Sonne geschützt werden. Weitere Hinweise sind unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de) nachzulesen.



Sonnenbrandwirksame Halbstunden-Dosiswerte für München. Horizontal: Tage des Jahres, vertikal: Uhrzeit

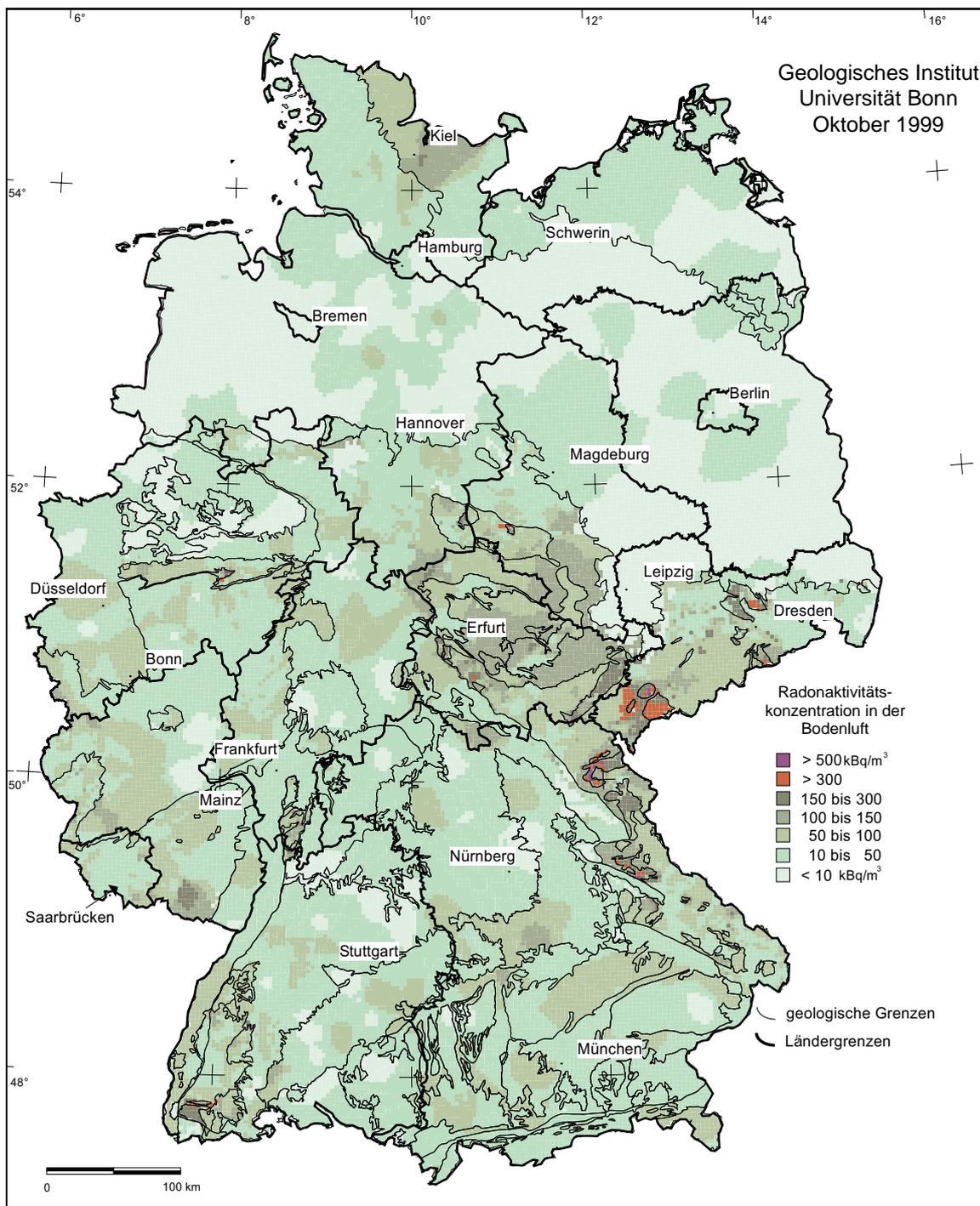
# Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Quellen

## Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon, insbesondere beim Aufenthalt in Gebäuden, ist eine Hauptkomponente der natürlichen Strahlenbelastung. Untersuchungen zur Ermittlung der Radonkonzentration in Gebäuden sind eine Schwerpunktaufgabe des BfS.

Ziel ist die Erstellung von Übersichten über Radonkonzentrationen in Gebäuden, über regionale Verteilungen und

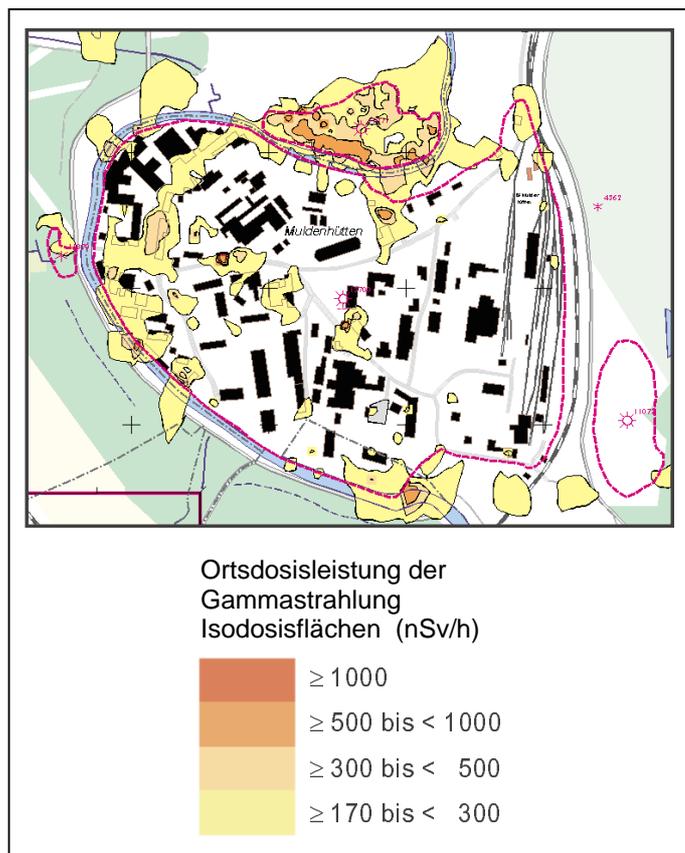
Besonderheiten sowie die Ermittlung von Ursachen, insbesondere für erhöhte Konzentrationen. Erhöhte Konzentrationen in Gebäuden lassen sich meist auf den Radon-gehalt des Gebäudeuntergrundes zurückführen. Auch im Jahr 1999 konzentrierten sich die Untersuchungen des BfS auf die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen dem Radonpotenzial, das dem Gebäudeuntergrund zugeordnet werden kann, und der Radonkonzentration in Gebäuden. Näherungsweise kann das Radonpotenzial durch die Radonkonzentration in der Bodenluft (Luft in den Porenräumen zwischen den Bodenpartikeln) beschrieben werden.



Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen wurden Karten entwickelt, die einen Überblick über die regionale Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft in Deutschland geben. Daraus können Informationen abgeleitet werden, in welchen Gebieten mit erhöhter Radonkonzentration in Gebäuden zu rechnen ist.

## Die Datenbank „Radon in Gebäuden“

Die gemessenen Radonkonzentrationen und alle weiteren für eine umfassende Bewertung erforderlichen Informationen werden in einer Datenbank erfasst. Kombiniert mit einem geographischen Informationssystem (GIS), sind vielfältige Auswertungen und Darstellungen, auch kartographischer Art, möglich. Im Laufe der nächsten Jahre wird die Datenbasis noch verbreitert und die Leistungsfähigkeit des gesamten Systems weiter erhöht. Es ermöglicht dann auf vielfältige Weise Bewertungen zum Problem Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden, aber auch Bewertungen des Radonpotenzials für andere Fragestellungen. So können unter Bezug auf geologische Bedingungen oder Gebiete Bereiche identifiziert werden, in denen Maßnahmen zum Schutz vor Radon aus dem Baugrund angezeigt sind. Bei Neubauten können entsprechende Vorsorgemaßnahmen gleich mit eingeplant werden. Für bestehende Gebäude werden flächendeckend Radonmessungen möglich, um Gebäude zu identifizieren, in denen Sanierungsmaßnahmen notwendig sind.



Isodosisflächen aus dem Altbergbaugbiet um Freiberg

## Schutzmaßnahmen gegen Radon in Gebäuden

Ein wirksamer Schutz gegen Radon kann nur durch bautechnische Maßnahmen erreicht werden. Von besonderem Interesse für den Schutz vor Radon aus dem Boden im Neubau und für die Reduzierung erhöhter Radonkonzentrationen in bestehenden Gebäuden sind bautechnische Maßnahmen, die nach den geltenden Baustandards bereits heute durchgeführt werden. So konnte durch Messungen bei Neubauten gezeigt werden, dass Fundamente aus Betonplatten bei Anwendung der gegen Bodenfeuchte üblichen Schutzmaßnahmen im Durchschnitt deutlich dichter gegenüber Bodenradon sind als Fundamente älterer Häuser. Deshalb wird bei Neubauten im Sinne einer Aufwandsminimierung die Radondichtheit konventioneller Baustoffe und Materialverbunde sowie die Wirkung üblicher Maßnahmen zum Gebäudeschutz im erdberührten Bauwerksbereich untersucht.

## Bewertung von Baumaterialien

Neben dem aus dem Baugrund in ein Gebäude gelangenden Radon tragen die in den Baumaterialien vorkommenden natürlichen Radionuklide ebenfalls zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Deshalb wurden die Untersuchungen über natürliche Radionuklide in Baumaterialien fortgesetzt. Industrielle Reststoffe werden in diese Untersuchungen einbezogen, sofern sie als Baumaterial oder bei der Herstellung von Baumaterialien Verwendung finden können. Bis heute liegen Ergebnisse der Untersuchungen von über 1500 Materialien vor. Der Datenbestand soll im Laufe der nächsten Jahre noch erweitert werden. Dazu werden ergänzende Messungen, insbesondere Messungen der Radonfreisetzung aus diesen Materialien, durchgeführt.

Das Bundesamt für Strahlenschutz wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik in die Umweltverträglichkeitsprüfung zur Vorbereitung von Zulassungen im Sinne der Musterbauordnung für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten einbezogen. Ziel ist es, eine Erhöhung der Strahlenexposition der Bevölkerung zu vermeiden.

Darüber hinaus wird angestrebt, auf der Grundlage der Richtlinie „Radiation Protection 112“ der Europäischen Kommission eine europaweit einheitliche radiologische Prüfung von Baumaterialien durchzusetzen.

## Strahlenexposition der Bevölkerung aus bergbaulichen Hinterlassenschaften

In Bergbaugebieten müssen bergbauliche Hinterlassenschaften (z.B. Halden) und die durch bergbauliche Tätigkeiten verursachte Umweltradioaktivität als zusätzliche Quel-

len für Strahlenbelastungen der Bevölkerung in Betracht gezogen werden. Diese Aufgabe wurde von 1991 bis 1999 durch das BfS im Rahmen des Projektes „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten“ bearbeitet. Zielsetzung dieses Projektes war

- die Bewertung der gesamten radiologischen Situation in den Bergbaugebieten Sachsens, Thüringens und Sachsen-Anhalts,
- die Schaffung von Übersichten über Arten und Anzahl bergbaulicher Hinterlassenschaften und bergbaulich beeinflusster Flächen (s. Abb. Seite 16),
- die Schaffung von Übersichten über das Ausmaß der durch bergbauliche Tätigkeiten verursachten Umwelt-radioaktivität,
- die Identifikation der bergbaulichen Hinterlassenschaften, für die aus Gründen des Strahlenschutzes Sanierungsmaßnahmen erwogen werden sollten und
- die Identifikation von möglichen Expositionsschwerpunkten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen und die Bewertungen wurden nach Abschluss der jeweiligen Bearbeitungsetappen in zusammenfassenden Berichten dargestellt und an die Landesbehörden übergeben. Insgesamt führten die Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Anzahl der Hinterlassenschaften, für die Sanierungsmaßnahmen erwogen werden sollten, im Vergleich zur Gesamtzahl bergbaulicher Hinterlassenschaften klein ist und Bergbaugebiete nicht großräumig kontaminiert worden sind.

Im Rahmen des Projektes wurde das Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltradioaktivität (FbU) entwickelt. Dieses DV-System basiert auf einem geographischen Informationssystem und ist ein wichtiges Hilfsmittel bei der effektiven Verwaltung, Darstellung und Auswertung der umfangreichen Daten und Informationen zur bergbaubedingten Umweltradioaktivität. Das FbU wird nicht nur vom BfS für die Bearbeitung seiner Aufgaben genutzt, es steht auch den Bundesländern Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt zur Verfügung.

Über die Notwendigkeit der Sanierung eines Gebietes kann endgültig nur im Einzelfall nach standortspezifischer Prüfung durch die Landesbehörden entschieden werden. Bestandteil



Kalibrierlabor zur Bestimmung von Radon und Radonzerfallsprodukten

derartiger Prüfungen sind Berechnungen der Strahlenexposition. Dafür sind Berechnungsgrundlagen entwickelt worden, die zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität anzuwenden sind.

Diese Berechnungsgrundlagen und alle darüber hinaus für standortspezifische Prüfungen erforderlichen Untersuchungs-, Mess-, und Bewertungsmethoden für bergbauliche Hinterlassenschaften werden in einem Leitfaden zusammengefasst.

## Leitstelle zur Ermittlung und Überwachung der natürlichen und bergbaubedingten Umweltradioaktivität

Untersuchungen zur Strahlenexposition, die durch natürlicherweise vorkommende Radionuklide verursacht wird, erfordern zuverlässige und umfassende Messungen. Gemessen werden Radon und Radonzerfallsprodukte in der Luft, natürliche Radionuklide (insbesondere Uran-238 und seine radioaktiven Zerfallsprodukte) in relevanten Umweltmedien wie Böden, Grund- und Oberflächenwässer und Nahrungsmitteln sowie die terrestrische Strahlung. Unter terrestrischer Strahlung wird die von den natürlichen Radionukliden in Böden und Gesteinen ausgehende Gammastrahlung verstanden.

Die Messung natürlicher Radioaktivität und der durch sie bedingten Expositionen stellt hohe Anforderungen an die Messmethoden und ihre Zuverlässigkeit. Aus diesem Grund wurde im Auftrage des Bundesumweltministeriums eine *Leitstelle zur Radioaktivitätsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten* eingerichtet. Sie hat die Aufgabe, dosimetrische Verfahren im natürlichen Expositionsbereich und unter natürlichen Expositionsbedingungen, aber auch Mess- und Analyseverfahren für die Radionuklide aus den natürlichen Zerfallsreihen in den Umweltmedien auszuarbeiten, die bei Untersuchungen beachtet werden sollten. Ebenso führt die Leitstelle Qualitätskontrollen der Messmethoden der an den Überwachungsmaßnahmen beteiligten Institutionen durch.

Von besonderer Bedeutung für die Überwachung von Strahlenexpositionen aus natürlichen Quellen sind die Methoden zur Messung von Radon und Radonzerfallsprodukten. Im BfS-Labor, das 1999 als Kalibrierlabor des Deutschen Kalibrierdienstes anerkannt worden ist, werden Verfahren, Mittel und Methoden zur Bestimmung von Radon und Radonzerfallsprodukten entwickelt und geprüft. Es werden auch Messmittel kalibriert und Qualitätsüberwachungsprogramme durchgeführt.

Die Arbeiten zur Qualitätsüberwachung bei Radon- oder Radonzerfallsproduktmessungen sind nicht nur für die Umweltüberwachung, sondern auch für die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition von Bedeutung.

# Medizinische Strahlenhygiene

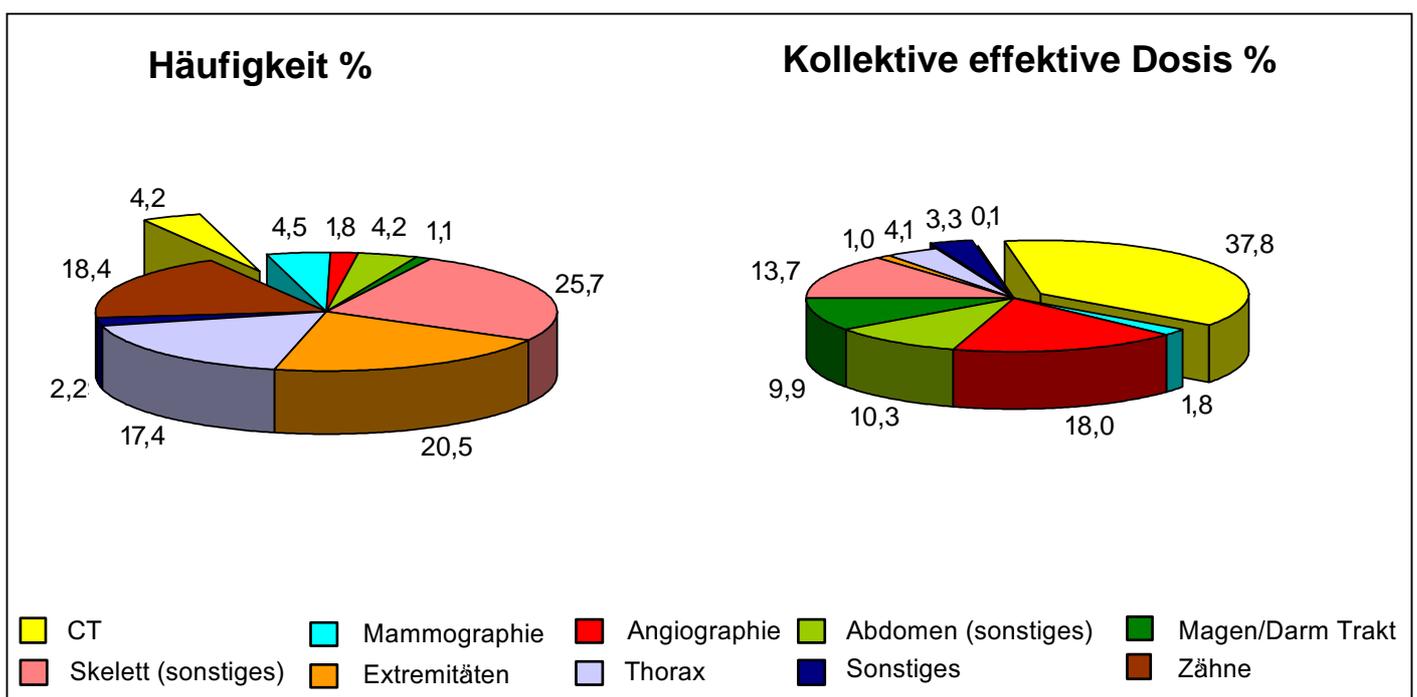
Trotz der erfolgreichen Einführung der Endoskopie, der Ultraschalldiagnostik und insbesondere der Magnet-Resonanz-Tomographie in die klinische Routine konnte die Strahlenexposition der Bevölkerung durch medizinische Anwendungen radioaktiver Stoffe und Röntgenstrahlung nicht reduziert werden. Im Gegenteil: Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung stieg in den letzten Jahren von etwa 1,5 mSv auf etwa 2 mSv pro Jahr und Person an. Sie liegt damit deutlich höher als in den meisten anderen europäischen Ländern. Ursache ist insbesondere eine größere Untersuchungshäufigkeit. Da die medizinische Strahlenexposition den Großteil der zivilisatorischen Strahlenexposition ausmacht, kommt diesem Bereich aus strahlenhygienischer Sicht eine besondere Bedeutung zu. Davon ausgehend verfolgt das BfS im Bereich der medizinischen Strahlenhygiene folgende Ziele:

- Erfassung und Bewertung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Ermittlung der Häufigkeiten röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Untersuchungen sowie von Behandlungen in der Nuklearmedizin und in der Strahlentherapie.
- Abschätzung der Dosis für Patienten in der Röntgendiagnostik und bei der Anwendung von Radiopharmaka sowie der damit verbundenen Strahlenexposition für Angehörige und für Beschäftigte in diagnostischen (insbesondere nuklearmedizinischen) Abteilungen.
- Begutachtung von Forschungsvorhaben, die mit einer Strahlenexposition der Probanden verbunden sind nach § 24 Abs. 2 Röntgenverordnung (RöV) und § 41 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV).

- Weiterentwicklung von Methoden für die interne und externe Personendosimetrie sowie die Entwicklung und Umsetzung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der medizinischen Diagnostik mit ionisierender Strahlung.
- Reduktion der Strahlenexposition bei röntgendiagnostischen und nuklearmedizinischen Untersuchungen durch strengere Indikationsstellung, Optimierung der Untersuchungstechniken und Entwicklung alternativer Untersuchungsverfahren.

## Strahlenexposition der Bevölkerung durch Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin

Die Erfassung der Häufigkeit von röntgendiagnostischen und nuklearmedizinischen Untersuchungen erfolgt einerseits als wesentliche Voraussetzung für die Bewertung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch medizinische Maßnahmen. Andererseits ergeben sich daraus Hinweise, bei welchen Untersuchungsarten deren Indikationsstellung zu überdenken ist. Die Ermittlung der Dosis bei den einzelnen Untersuchungsarten ist die zweite unverzichtbare Größe zur Ermittlung der Strahlenexposition der Patienten. Sie ist Grundlage für die Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung, aber auch für Überlegungen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung. In der Abbildung ist links die relative Häufigkeit der Röntgenuntersuchungen in Deutschland, zu Gruppen zusammengefasst, dargestellt, rechts der Anteil der jeweiligen Untersuchungen an der kollektiven effektiven



Häufigkeitsverteilung der Röntgenuntersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven Dosis in Deutschland 1994

Dosis. Es zeigt sich, dass die beiden dosisintensivsten Verfahren, nämlich die Computertomographie (CT) und die interventionelle Radiologie, die im Sektor „Angiographie“ enthalten ist, nur 6 Prozent der Fälle ausmachen, aber zu über 55 Prozent zur Kollektivdosis beitragen. Umgekehrt haben die sehr häufigen Röntgenuntersuchungen der Zähne und der Extremitäten (Gliedermaßen) nur einen geringen Anteil an der kollektiven Strahlenexposition.

## Begutachtung in der medizinischen Forschung

Die Strahlenschutzverordnung und die Röntgenverordnung sollen Probanden (gesunde Versuchspersonen) und Patienten in der medizinischen Forschung durch eine besondere Genehmigungspflicht nach § 41 StrlSchV bzw. § 24 Abs. 2 RöV schützen. Die Genehmigung setzt eine Begutachtung durch eine gemeinsame Gutachtergruppe des BfS und des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) voraus. Federführend ist das BfS. Durch Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung und den Ländern finden die Grundsätze der StrlSchV (mit Ausnahme der Beteiligung des BfArM) auch für die entsprechende besondere Genehmigung nach der Röntgenverordnung Anwendung. Im Jahre 1999 wurden 94 Gutachten angefertigt. Zu begutachten sind

- die Bedeutung der Studie für die Heilkunde und die medizinische Forschung;
- die Notwendigkeit des Einsatzes radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen einschließlich Röntgenstrahlen;
- eine wissenschaftlich begründete Dosisabschätzung;
- ein angemessenes Verhältnis zwischen dem erwarteten wissenschaftlichen Ergebnis und dem Strahlenrisiko für die Probanden;
- die erforderliche Anzahl sowie geeignete Ein- und Ausschlusskriterien für die Probanden und ggf. die Notwendigkeit und ärztliche Vertretbarkeit der Einbeziehung von Probanden im Alter unter 50 Jahren.

Der Schwerpunkt der Begutachtungen nach § 41 StrlSchV zur diagnostischen Anwendung radioaktiver Stoffe lag im Jahr 1999 bei neurologisch/psychiatrischen Fragestellungen. Der Anteil der Begutachtungen zu therapeutischen Anwendungen stieg auf etwa 25 Prozent, wobei der Schwerpunkt im Bereich der intravasculären Brachytherapie und Radioimmuntherapie lag.

## Interne und externe Dosimetrie

Aufgabe der internen Dosimetrie ist es, die Patientendosis abzuschätzen, die mit einer nuklearmedizinischen Untersuchung oder Behandlung aufgrund der Gabe von radio-

aktiven Substanzen verknüpft ist. Diese Dosis kann nicht direkt gemessen werden, sondern muss auf der Basis von Modellen berechnet werden, mit deren Hilfe die Verteilung der verabreichten Substanzen in den verschiedenen Organen und Geweben des Körpers abgeschätzt werden kann. Zu diesem Zweck beteiligt sich das BfS auf internationaler Ebene an der Modellentwicklung. Zurzeit wird ein neues Modell für den Verdauungstrakt entwickelt, das den Transport sowie die Absorption von radioaktiven Substanzen in den Blutkreislauf sowie die Sekretion in den Magen-Darm-Trakt beschreibt. Die formulierten Modelle werden im BfS in Rechenprogrammen verwendet, so dass die notwendigen Dosisberechnungen schnell und effizient durchgeführt werden können. Zur Qualitätssicherung werden die Ergebnisse dieser Rechnungen im Rahmen internationaler Studien verglichen.

Für Dosismessungen an Röntgeneinrichtungen in Kliniken und Praxen sowie für die externe Patientendosimetrie steht mit der Thermolumineszenzdosimetrie (TLD) eine für den Anwender vor Ort sehr einfach zu handhabende Messmethode zur Verfügung, da die Messsonden auf dem Postweg verschickt werden können. Die Dosisabschätzung für einzelne Röntgenuntersuchungen erfolgt auf der Basis von Monte-Carlo-Programmen, die ständig an neue technische Entwicklungen angepasst werden.

## Methodische Entwicklungen zur Reduktion der Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik

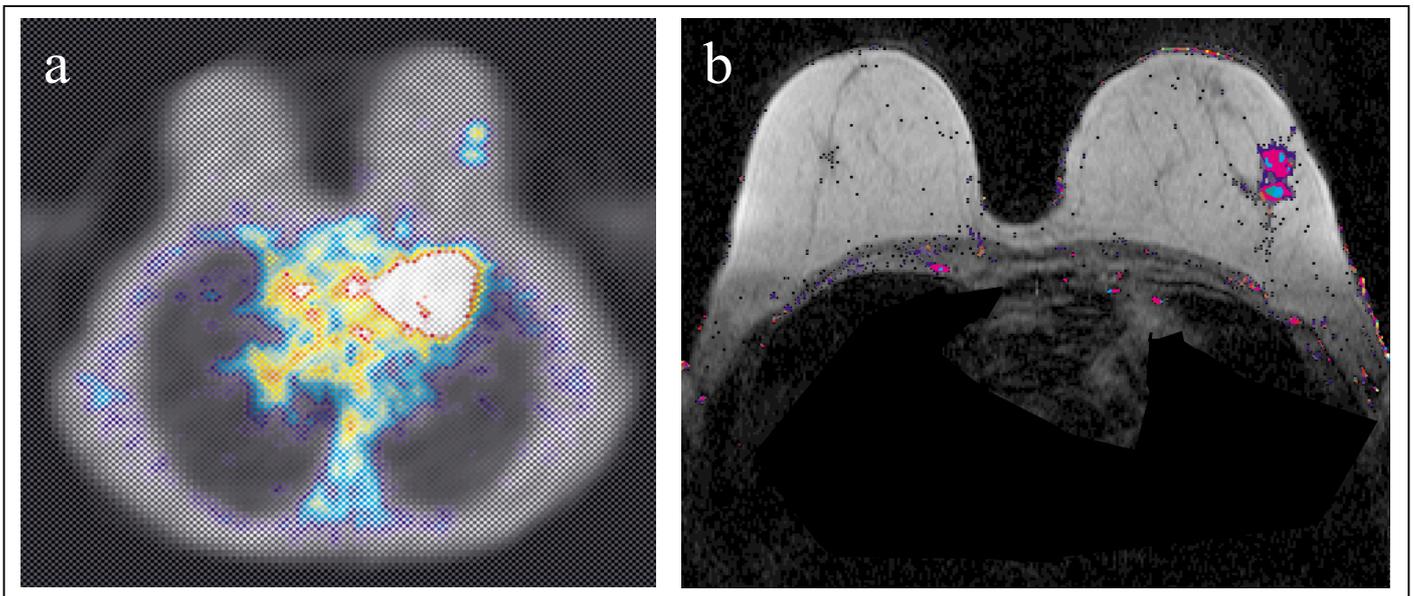
Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ist ein modernes nuklearmedizinisches Untersuchungsverfahren, mit dessen Hilfe die Verteilung von radioaktiv markierten Substanzen im Körper quantitativ erfasst und mit guter räumlicher Auflösung bildlich dargestellt werden kann. Aufgrund der in den letzten Jahren deutlich gestiegenen Anzahl von PET-Untersuchungen in der klinischen Routine gewinnt aber auch bei diesem Diagnoseverfahren die Frage nach der Strahlenexposition des Patienten sowie nach möglichen Ansätzen zur Dosisreduktion zunehmend an Bedeutung. Eine Möglichkeit zur Reduktion der Strahlenexposition von Patienten und Probanden, die in der klinischen Routine und Forschung bislang noch sehr wenig genutzt wird, besteht darin, die Daten im sensitiven 3D-Modus statt wie bisher im 2D-Modus zu erfassen. Die beiden Modi unterscheiden sich in der Art und Weise, wie die Detektoren zum Nachweis der vom Patienten emittierten Strahlung gegeneinander abgeschirmt sind. Anhand von Phantommessungen konnte gezeigt werden, dass durch die Datenerfassung im 3D-Modus die Aktivitätsmenge, die dem Patienten injiziert werden muss, bei gleichzeitiger Verbesserung der Bildqualität im Vergleich zur 2D-Messung etwa halbiert werden kann. Die klinische Anwendbarkeit dieses Ansatzes wurde im Rahmen einer

klinischen Pilotstudie mit guten Ergebnissen am Beispiel der PET-Diagnostik von Mammakarzinomen mit dem Radiopharmakon 2-[<sup>18</sup>F]Fluor-2-Desoxyglukose ([<sup>18</sup>F]FDG) erprobt (siehe Abbildung „a“).

Von besonderer Bedeutung für die Reduktion der Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik ist die Entwicklung neuer Untersuchungstechniken der Magnet-Resonanztomographie (MRT) mit dem Ziel des Ersatzes röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren. In Kooperation mit Universitätskliniken und Forschungszentren wurden neue Mess- und Auswer-

teverfahren für die MR-Mammographie entwickelt und klinisch erprobt (siehe Abbildung „b“). Die Anwendung dieses Verfahrens ist insbesondere für die Untersuchung von jüngeren Frauen mit dichtem Drüsengewebe sowie zur Abklärung auffälliger röntgenmammographischer Befunde geeignet.

Darüber hinaus bietet die dynamische MR-Mammographie die Möglichkeit, Hochrisiko-Patientinnen mit einer genetischen Veranlagung für die Entstehung eines Mammakarzinoms regelmäßig ohne Anwendung ionisierender Strahlen zu untersuchen.



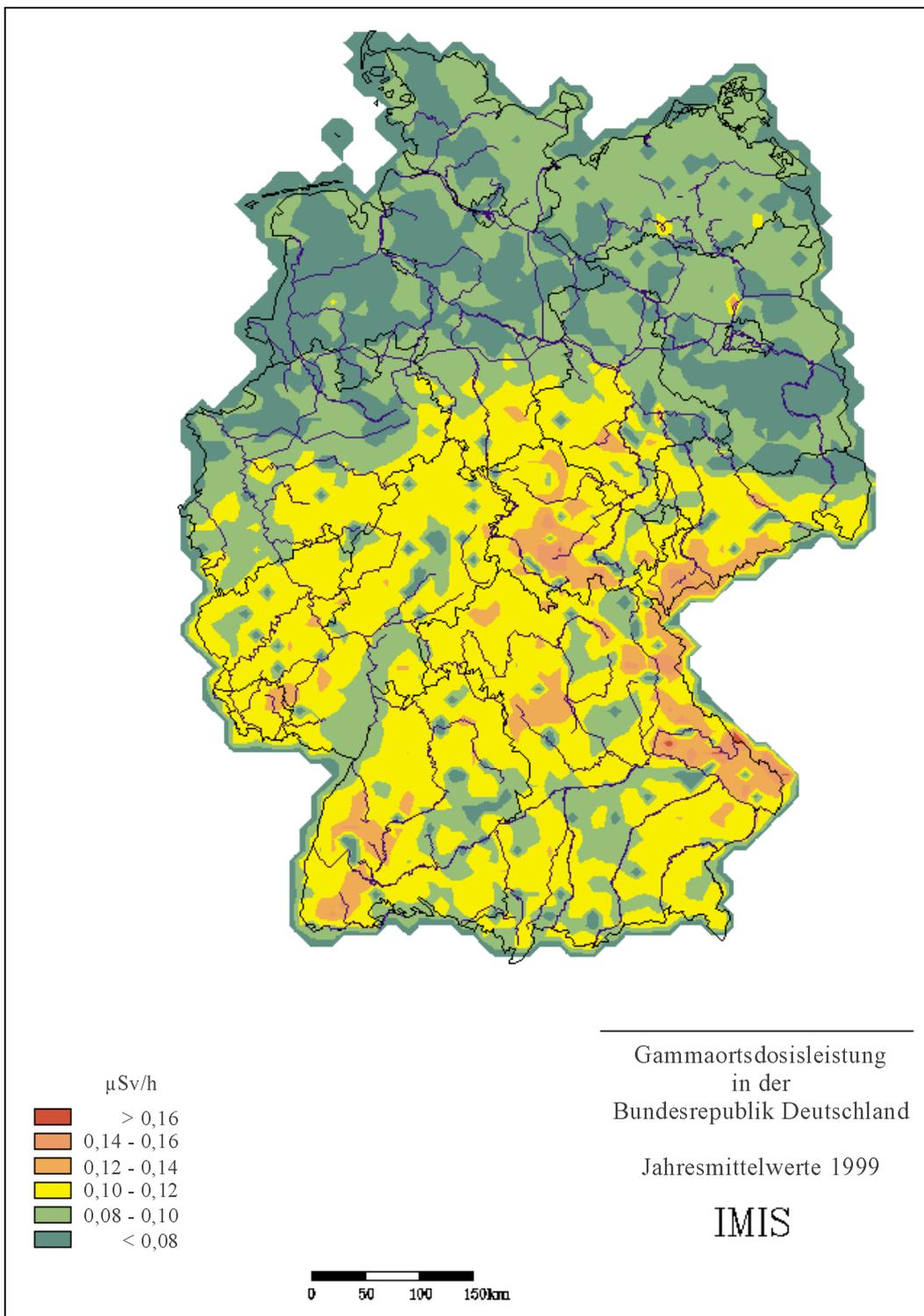
*PET- und MR-Diagnostik bei einer Patientin mit einem bifokalen Mammakarzinom. (a) Im 3D-Modus akquirierte PET-Aufnahme nach Gabe von [<sup>18</sup>F]FDG. Trotz der im Vergleich zur herkömmlichen Mammadiagnostik mit PET halbierten Dosis (und damit der Strahlenexposition) wird eine sehr gute Darstellung des Karzinoms erreicht. (b) Auf dem korrespondierenden MR-Bild ist die Kontrastmittelanreicherung im Gewebe farbkodiert dargestellt. Der Tumor zeigt eine im Vergleich zum Normalgewebe schnellere und stärkere Kontrastmittelanreicherung*

# Das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität im Wandel

Mit dem Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) wird die Radioaktivität in der Umwelt überwacht. Die Strahlenexposition der Menschen und die radioaktive Kontamination der Umwelt sollen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich gehalten werden, falls es zu Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen kommt.

Zur Erreichung dieses Ziels werden bundesweite Messnetze mit mehr als 2000 Messstellen betrieben. Der Bund ermittelt die Radioaktivität in der Luft und in Niederschlägen sowie in Bundeswasserstraßen und der Nord- und Ostsee. Ebenso wird die Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) erfasst. (s. Abb.)

Aufgabe der Länder ist die Ermittlung der Radioaktivität in Lebensmitteln, Futtermitteln, Trinkwasser, Grundwasser



*Jahresmittelwerte der Gammaortsdosisleistung (ODL) für das Jahr 1999 in der Bundesrepublik Deutschland*

und in oberirdischen Gewässern (mit Ausnahme der Bundeswasserstraßen), in Abwässern und Abfällen sowie in Böden und Pflanzen. Diese Aufgaben werden durch zertifizierte Messlabors erledigt.

Im BfS wird die Zusammenfassung, Aufbereitung und Dokumentation der vom Bund und den Ländern ermittelten Daten sowie die Bewertung der Daten der Umweltradioaktivität vorgenommen.

Der Aufbau des IMIS wurde Anfang der 90er Jahre abgeschlossen. Seither wird die Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik dauerhaft und zuverlässig zur Frühwarnung beim Auftreten künstlicher Radioaktivität überwacht. Nach nahezu 10 Jahren Betriebserfahrung hat sich das System bewährt. Die Erfahrungen mit IMIS waren Vorbild für die Konzeption und den Aufbau vergleichbarer Mess- und Informationssysteme, insbesondere in osteuropäischen Staaten.

In den letzten Jahren wurde zwischen dem Bund und den Ländern eine Intensivierung der Zusammenarbeit bei der Überwachung der Umweltradioaktivität und eine Verstärkung der gemeinsamen Nutzung aller technischen und personellen Ressourcen vereinbart. So wurden insbesondere im Rahmen der Umsetzung der Beschlüsse der Umweltministerkonferenz (UMK) und des Hauptausschusses des Länderausschusses Atomkernenergie (LAA-HA) fachliche Erweiterungen der bisherigen Aufgabenstellung empfohlen. Das sind u.a. die IMIS-kompatible Erfassung von Daten, welche nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) erhoben werden, der Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems RODOS (Real-time On-line Decision Support System), die Nutzung der Hubschraubermesssysteme des BfS für die Zwecke des Katastrophenschutzes und der standardisierte Datenaustausch von ODL-Daten aus dem IMIS und aus den Systemen zur Kernkraftwerksfernüberwachung (KFÜ) der Länder. Außerdem ergaben sich in Beratungen mit der EU-Kommission zu Fragen des grenzüberschreitenden Informationsaustausches, insbesondere in Notfallsituationen, neue fachliche Gesichtspunkte.

Die Umsetzung dieser Beschlüsse und Erkenntnisse wird durch zwei Umstände erleichtert. Zum einen wurde dem BfS in den letzten Jahren vom Bundesumweltministerium die Gesamtverantwortung für das IMIS sowie für den Betrieb des ODL-Messnetzes und des Luftmessnetzes des Umweltbundesamtes (UBA) übertragen. Zum anderen ergab sich aufgrund des Alters des Informationssystems IMIS-IT die Notwendigkeit für dessen technische Erneuerung (Migration).

Bei der technischen und organisatorischen Eingliederung der Messnetzaufgaben in das BfS in den Jahren 1998/1999 konnten insbesondere die Anforderungen an den standardisierten Datenaustausch mit den KFÜ-Systemen konzeptionell berücksichtigt werden. Im Rahmen der Neukonzeption der Messdatenerfassung im ODL-Messnetz wurden außerdem alternative Möglichkeiten zum Direktzugriff auf ODL-Messdaten durch KFÜ-Betreiber erfolgreich untersucht.

Die umfangreichen konzeptionellen Überlegungen und Vorbereitungen zur Migration von IMIS-IT wurden im BfS 1998 begonnen. Sie wurden 1999 mit der Auftragserteilung abgeschlossen. Im Rahmen der Migration werden sowohl technische Verbesserungen des bestehenden Systems als auch funktionale Erweiterungen im Sinne der Beschlüsse der UMK verfolgt. Die Schaffung standardisierter Schnittstellen zum Austausch von Daten mit externen Stellen wird u.a. die Einbindung von Entscheidungsunterstützungssystemen wie dem RODOS oder den grenzüberschreitenden Datenaustausch in Zukunft technisch vereinfachen.

Die Migration von IMIS-IT wird voraussichtlich bis Ende des Jahres 2002 abgeschlossen sein. Im Rahmen des anstehenden Erneuerungsprozesses werden auch Fragen beantwortet, die sich aus den veränderten Bedingungen des Telekommunikationsmarkts ergeben. Es bietet sich hier die Fortsetzung der intensiven Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) an, der für seine Zwecke ein bundesweites Netzwerk aufgebaut hat. Außerdem gewinnt die Frage der Einbindung der IMIS-Systeme in die DV-Systeme der beteiligten Behörden zunehmend an Bedeutung. Dies erfordert auch in den kommenden Jahren eine intensive Abstimmung und Koordinierung mit der großen Zahl der IMIS-Nutzer bei Bund und Ländern.

# Überwachung der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens

Der Kernwaffenteststoppvertrag wurde im September 1996 unterzeichnet. Er verbietet jede Art von Versuchsexplosionen von Kernwaffen und stellt ein wichtiges Instrument der nuklearen Rüstungskontrolle dar. Der Vertrag tritt in Kraft, wenn 44 im Vertrag festgeschriebene Staaten ihn unterzeichnet und ratifiziert haben. Zu diesem Kreis gehören die Kernwaffenstaaten USA, Russland, China, Frankreich und Großbritannien sowie Nicht-Kernwaffenstaaten wie z. B. Deutschland. Bisher haben 41 Staaten den Vertrag unterzeichnet; 26 Staaten, darunter auch Deutschland, haben ihn ratifiziert. Die Umsetzung der vertraglichen Regelungen wird seit 1997 mit Priorität vorangetrieben. Wichtiger Bestandteil ist ein globales Verifikationssystem, das die Einhaltung des Verbotstatbestandes lückenlos überwachen soll. Kernbereich der Verifikation ist das Internationale Überwachungssystem IMS (International Monitoring System) mit insgesamt 321 Messstationen (siehe Abbildung).

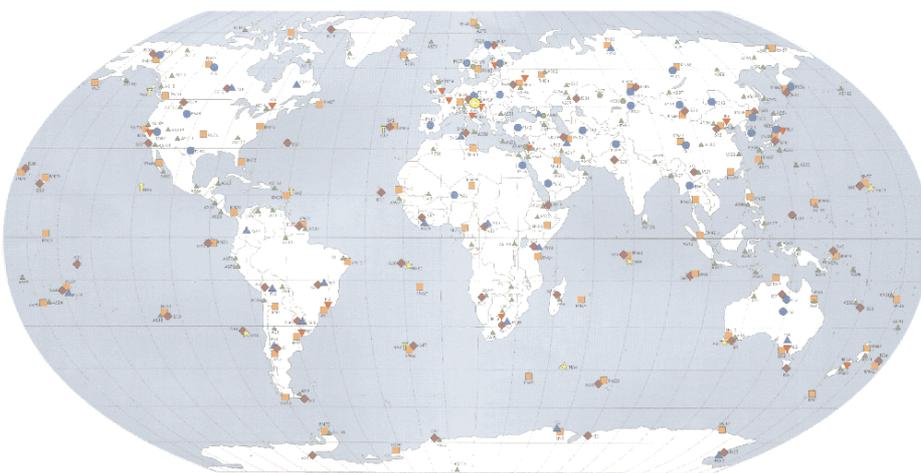
Das Bundesamt für Strahlenschutz unterstützt das Auswärtige Amt (AA) und die internationale Vertragsorganisation in Wien (Comprehensive Test Ban Treaty Organisation, CTBTO) beim Aufbau des Verifikationssystems, insbesondere durch den Aufbau der Radionuklidstation Schauinsland als Teil des IMS sowie die Schulung von Betreibern von Radionuklidstationen des IMS. Außerdem wurde ein Vergleichsexperiment für Xenon-Messsysteme des IMS durchgeführt sowie die Vertragsorganisation in messtechnischen Fragen bei Vor-Ort-Inspektionen sowie durch Qualifikation von BfS-Mitarbeitern zu Inspektoren unterstützt.

Die Messausstattung der Station Schauinsland war Vorbild für die Ausstattung der 80 weltweiten Radionuklid-

stationen des IMS. Die Station Schauinsland ist die einzige Radionuklidstation des IMS in Mitteleuropa. Im Jahr 1999 wurden alle wesentlichen fachlichen, technischen, infrastrukturellen und vertraglichen Voraussetzungen geschaffen für die Einrichtung und Ausstattung der Station zur Überwachung der aerosolförmig in der Luft vorhandenen Radioaktivität gemäss IMS-Standard. Mit der Aufnahme des Messbetriebs und der Zertifizierung der Station wird im Jahr 2000 gerechnet.

Die Station Schauinsland wird, wie jede zweite Radionuklidstation, zusätzlich mit einem Edelgasmesssystem ausgestattet werden. Die Edelgasmessstechnik wird bisher – im Gegensatz zur Aerosolmesstechnik – nur in wenigen Speziallabors routinemäßig eingesetzt. Eines dieser Speziallabors wird vom Institut für Atmosphärische Radioaktivität (IAR) des BfS betrieben. Für den Einsatz der Edelgasmessstechnik im IMS wurden in den letzten Jahren von vier Institutionen in Frankreich, Russland, Schweden und den USA Geräte entwickelt und Prototypen aufgebaut. Auf Wunsch der CTBTO bereitete das IAR im Jahr 1999 ein methodisches Vergleichsexperiment vor. Es dient dem Nachweis, dass die vier Prototypen den fachlichen Anforderungen des IMS gerecht werden. Im Rahmen eines Vor-experiments, bestehend aus dem US-Prototypsystem ARSA (Automatic Radionuclide Sampler and Analyser) und dem Edelgaslabor des IAR, wurden bereits ab Oktober 1999 Vergleichsmessungen durchgeführt. Die bisher vorliegenden experimentellen Ergebnisse und die Erfahrungen der drei anderen Entwicklergruppen lassen erwarten, dass die gestellten Anforderungen während des im Jahr 2000 in den Labors des IAR durchgeführten Vergleichsexperiments erreicht werden können.

## INTERNATIONALES ÜBERWACHUNGSSYSTEM



- |   |   |
|---|---|
| ● Seismische Primärstation (PS)               | ▽ Hydroakustik (T-Phase) Station (HA)               |
| ▲ Seismische 3-Komponenten Primärstation (PS) | ◆ Infraschall Station (IS)                          |
| ● Seismische Hilfsstation (AS)                | ◆ Radionuklid Laboratorium (RL)                     |
| ▲ Seismische 3-Komponenten Hilfsstation (PS)  | ■ Radionuklid Station (RN)                          |
| ★ Hydroakustik (Hydrophon) Station (HA)       | ● Internationales Datenzentrum, CTBTO PrepCom, Wien |

*Die Messstationen des Internationalen Überwachungssystems (IMS)*

# Radioaktivität und Umwelt – Radioökologie

Die Radioökologie befasst sich mit dem Verhalten von radioaktiven Stoffen in der Umwelt. Eine wesentliche Aufgabe ist es, kritische Expositionspfade zu erkennen und daraus resultierende Strahlenexpositionen des Menschen möglichst zuverlässig abzuschätzen. Fundierte radioökologische Kenntnisse sind die Grundlage für die Bewertung von Kontaminationen der Umwelt, für Prognosen und für Maßnahmen im Falle von unfallbedingten Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Sie sind die Basis für die Ableitung von Referenzwerten für Abluft und Abwasser, für Nahrungsmittel und für Abfälle und Reststoffe. Im Folgenden wird ein Überblick über wichtige aktuelle Fragestellungen gegeben.

## Strahlenexposition von Säuglingen durch kontaminierte Muttermilch

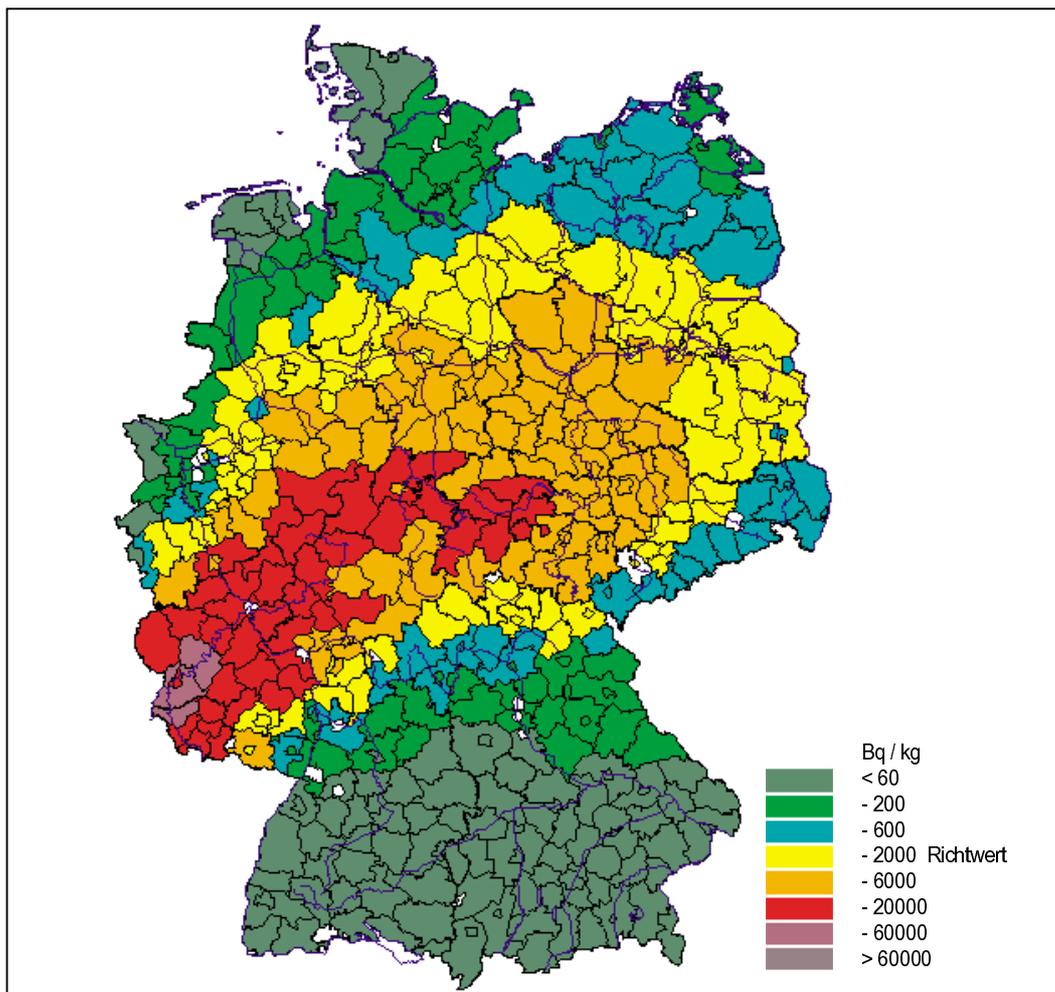
Im Rahmen der Novellierung der „Strahlenschutzverordnung“ (StrlSchV) wurde die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ überarbeitet. Als eine wesentliche Neuerung wurde die mögliche Exposition von Säuglingen

durch kontaminierte Muttermilch betrachtet. Dieser Expositionspfad wurde bisher auch international noch nicht berücksichtigt, so dass weder geeignete Modelle noch entsprechende Parameter zur Verfügung standen.

Im BfS wurde daher ein spezielles Modell entwickelt, mit dessen Hilfe der Übergang von Radionukliden, die von der Mutter mit der Atemluft und der Nahrung aufgenommen werden, in die Muttermilch quantitativ abgeschätzt werden kann. Die dazu notwendigen Parameter wurden in einer umfangreichen Literaturstudie zusammengestellt. Durch diese Arbeiten soll sichergestellt werden, dass auch Säuglinge in ausreichendem Maße vor ionisierenden Strahlen geschützt werden.

## Radioökologische Modelle zur Abschätzung von Kontaminationen und Strahlenexpositionen bei unfallbedingten Radionuklidfreisetzungen

Tritt nach einem Unfall Radioaktivität aus einer kerntechnischen Anlage aus, werden Entscheidungshilfesysteme



Beispiel einer durch PARK prognostizierten Iod-Kontamination ( $^{131}\text{I}$ ) von Blattgemüse nach einer Radionuklidfreisetzung als Folge eines fiktiven Reaktorunfalls (hier angenommen: Kernkraftwerk Cattenom/Frankreich). Die Farbe „Orange“ markiert das Überschreiten der EU-Grenzwerte für die Vermarktung von Lebensmitteln. Im Ereignisfall dient diese Information der Entscheidungsfindung.

benötigt, die eine rasche und zuverlässige Abschätzung der zu erwartenden radioaktiven Kontamination der Umwelt und der daraus resultierenden Strahlenbelastung des Menschen ermöglichen. Als Folge der Katastrophe von Tschernobyl wurde das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) verabschiedet und das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) eingerichtet. Das zugehörige Entscheidungshilfesystem PARK (Programm zur Abschätzung radiologischer Konsequenzen) verwendet die durch IMIS erfassten Daten für eine radioökologische Situationsanalyse. Mit Hilfe dieses Systems können u.a. folgende Berechnungen für sämtliche Landkreise in Deutschland durchgeführt werden:

- Radionuklidaktivität auf dem Boden,
- Kontamination von Nahrungsmitteln,
- Strahlenexposition der Bevölkerung durch externe Strahlung, Inhalation und Ingestion.

Die Berechnungen bilden die Basis für Maßnahmen und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung im Fall eines großen Unfalls.

Ein Vorteil von PARK ist, dass die Ergebnisse der Modellrechnungen mit Hilfe von Messdaten, die im Verlauf des Ereignisses erhoben werden, überprüft und entsprechend korrigiert werden können.

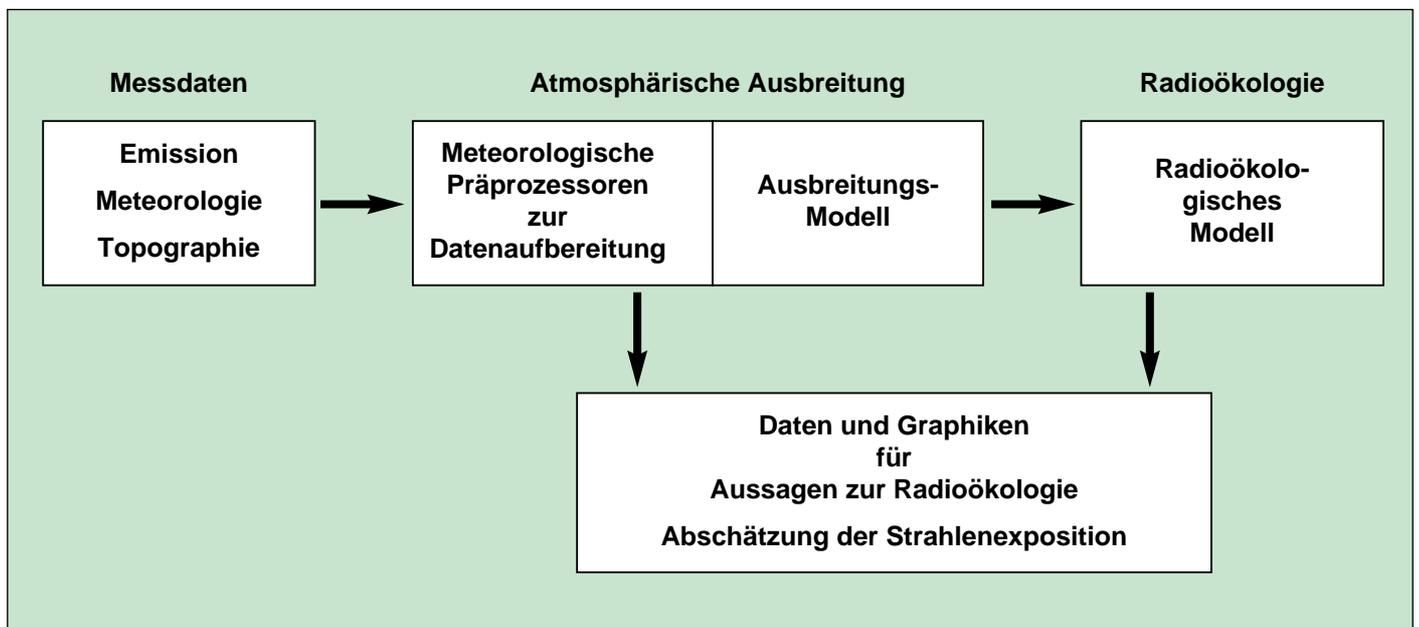
Darüber hinaus wurde eine Schnittstelle zum Entscheidungshilfesystem RODOS (Real-time On-line Decision Support System) geschaffen, das auf europäischer Ebene vornehmlich unter dem Aspekt der punktförmigen Quellgeometrie und der kleinräumigen Verteilung radioaktiver Stoffe entwickelt wurde und vom Bund und von den Ländern zukünftig im Rahmen des Katastrophenschutzes und

der Strahlenschutzvorsorge zentral genutzt werden soll. Über diese Schnittstelle kann RODOS mit von PARK flächendeckend abgeschätzten Daten der Luftaktivität und der am Boden abgelagerten Aktivität als Eingangsgrößen versorgt werden. Damit wird erreicht, dass die Modellaussagen von RODOS zuverlässiger werden und die erforderlichen Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung schneller getroffen werden können.

## Komplexe meteorologische Modelle zur Berechnung der Ausbreitung von Radionukliden

Zur Ermittlung der potenziellen Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen werden Modelle herangezogen, welche die Ausbreitung von mit der Fortluft in die Atmosphäre abgeleiteten radioaktiven Stoffen simulieren. Die gesetzliche Aufgabenstellung erfordert insbesondere bei Stör- und Unfällen die Nutzung fortgeschrittener Modelle, um eine möglichst zuverlässige Aussage über die Kontamination der Umwelt zu erhalten. Die Eingangsdaten für die Ausbreitungsmodelle werden durch Aufbereitung meteorologischer Messdaten gewonnen. Dazu müssen aufwendige Rechenverfahren, sogenannte Präprozessoren, vor die eigentlichen Ausbreitungsmodelle geschaltet werden. So können die wichtigsten Eingangsgrößen für ein Ausbreitungsmodell – in erster Linie die in verschiedenen Höhen gemessene Windgeschwindigkeit und Windrichtung – aufbereitet werden. Auch die Turbulenz in der Atmosphäre bzw. die Bodenrauigkeit und -struktur sowie deren Einfluss auf die Strömung können berücksichtigt werden.

Das folgende Schema zeigt die Aneinanderkopplung von Programm-Modulen (Messung, Datenaufbereitung, Berechnung und Auswertung) zur Berechnung der Ausbreitungsvorgänge von Radionukliden in der Atmosphäre.



Eine solche Kette von Modulen ist zum Beispiel in das Expertensystem RODOS/RESY (RESY: Rechnergestütztes Entscheidungshilfesystem) eingebaut, mit dem bei Störfällen mögliche Strahlenbelastungen ermittelt und gegebenenfalls Vorschläge für Gegenmaßnahmen erarbeitet werden können. Im BfS wurden die Anforderungen an die Präprozessoren definiert, die Entwicklung der entsprechenden meteorologischen Berechnungsverfahren initiiert sowie Anwendungsmöglichkeiten geprüft. Weiterhin wird der Einsatz dieser Verfahren in der Praxis unterstützt, zum Beispiel im Rahmen der Fernüberwachung von Kernkraftwerken.

## Freigabe von Abfällen und Bauschutt

Bei der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen fallen größere Mengen Abfälle und Bauschutt an, die nur wenig radioaktiv kontaminiert sind. Es stellt sich die Frage, wie diese Stoffe zu beseitigen sind oder ob sie sogar wiederverwendet werden können.

Es bestehen Bedenken, dass insbesondere durch die Wiederverwendung schwach radioaktiven Bauschutts die Strahlenexposition der Bevölkerung deutlich erhöht werden könnte. Es muss sichergestellt werden, dass die Beseitigung oder Wiederverwendung schwach radioaktiver Stoffe nur zu einer geringfügigen zusätzlichen Strahlenexposition der Bevölkerung führen kann.

Damit eine vorgegebene Strahlenexposition nicht überschritten wird, muss berechnet werden, wie hoch die Konzentration eines Radionuklids im Abfall und Bauschutt sein darf. Dazu werden radioökologische Modelle entwickelt, die beschreiben, auf welchen Expositionspfaden und in welcher Höhe es zu einer Strahlenexposition des Menschen durch Direktstrahlung und Inkorporation von Radionukliden bei der Beseitigung oder Nutzung der schwach kontaminierten Stoffe kommen kann. Mit diesen Modellen werden entsprechende maximal zulässige Aktivitätswerte berechnet. Liegt die Radioaktivität im Bauschutt oder Abfall unter diesen Werten, kann dieser von der zuständigen Behörde als nichtradioaktiver Stoff klassifiziert und aus der atomrechtlichen Aufsicht „freigegeben“ werden.

Das BfS hat entsprechende „Freigabewerte“ hergeleitet. Sie sollen Eingang in die novellierte Strahlenschutzverordnung finden und die bisherige Einzelfallentscheidung der Länderbehörden durch bundesweit einheitliche Regelungen ersetzen.

## Entwicklung von Konzepten zum Schutz der Umwelt vor ionisierenden Strahlen

Im Strahlenschutz steht bisher der Mensch im Mittelpunkt der zu schützenden Güter. Die Biosphäre wurde nicht eigens betrachtet. International war man grundsätzlich der Meinung, dass durch Regelungen zum Schutz des Menschen auch die Biosphäre in ausreichender Weise geschützt sei.

Nicht zuletzt infolge der Rio-Konferenz von 1992 hat sich diese Meinung geändert. Dort wurde die Leitlinie einer nachhaltigen Entwicklung formuliert, die den Schutz der Biosphäre um ihrer selbst willen beinhaltet. Auf internationaler Ebene gibt es zunehmende Bestrebungen, angemessene Kriterien und Regelungen zum Schutz der Umwelt zu erarbeiten und unabhängig vom Menschen anzuwenden. Das BfS hat in einer zusammenfassenden Literaturstudie einen Überblick über den Kenntnisstand bezüglich der Wirkung ionisierender Strahlung auf die Pflanzen- und Tierwelt gegeben. Auf der Basis dieser Kenntnisse sollen allgemein akzeptierte Schutzziele definiert werden. Zur Frage, wie diese Schutzziele in der Praxis gewährleistet werden können, wurden bereits einige Vorschläge erarbeitet und auch international vorgetragen.

Im Einzelnen wurden die Vor- und Nachteile folgender möglicher Strategien diskutiert:

- Festlegung eigener Dosisgrenzwerte für die Umwelt,
- Definition von sogenannten Referenzökosystemen,
- Definition von Indikatorspezies,
- Übertragung von Dosisabschätzungen für den Menschen auf die Umwelt und
- Ableitung von höchstzulässigen Aktivitätskonzentrationen für die Umwelt.

Das BfS ist im Rahmen des fünften Forschungsprogramms der EU an dem internationalen Forschungsprojekt FASSET (Framework for Assessment of Environmental Impact) beteiligt, das im Sommer 2000 beginnt. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von grundlegenden Kriterien zum Schutz der Umwelt vor ionisierenden Strahlen. Neben Deutschland wirken an dem Vorhaben Arbeitsgruppen aus den fünf EU-Ländern Schweden, Norwegen, Finnland, Großbritannien und Spanien mit.

# Berufliche Strahlenexposition

## Überwachungsziele

Ein wesentliches Ziel des beruflichen Strahlenschutzes ist die Gewährleistung sicherer Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten. Neben dem direkten Schutz vor Expositionen durch ionisierende Strahlung sind dabei auch die Minimierung potenzieller Expositionen, die Begrenzung der Auswirkungen von besonderen Vorkommnissen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und die Vermeidung von Unfällen bzw. die Minimierung der Unfallfolgen zu berücksichtigen.

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition kann sowohl durch Überwachung des Arbeitsplatzes mit geeigneten Methoden als auch durch individuelle Überwachung der Personen erfolgen. Zur Ermittlung der Körperdosen bei der individuellen Überwachung kann die zuständige

Genehmigungsbehörde in den Ländern neben der Messung der äußeren Exposition zusätzlich oder, wenn erforderlich, auch allein u. a. die Messung der in den Körper aufgenommenen Radioaktivität, das heißt die Bestimmung der inneren Strahlenexposition, anordnen. Ziel der Überwachung ist die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte und die Minimierung der individuellen Strahlenexposition bei Ausübung des Berufs.

## Überwachung der äußeren und inneren Strahlenexposition

Die Messung der äußeren beruflichen Strahlenexposition wird in Deutschland mit Personendosimetern durchgeführt, die von den sechs nach Landesrecht zuständigen amtlichen Messstellen ausgegeben werden. Gegenwärtig



Messeinrichtung zur direkten Bestimmung der Körperaktivität

werden als amtlich anerkannte Dosimeter für die Ermittlung der Körperdosis Filmplaketten oder Festkörperdosimeter benutzt. Neben der Ermittlung der Ganzkörperdosis kann tätigkeitsbedingt das Tragen weiterer Dosimeter, zum Beispiel von Teilkörperdosimetern, angeordnet werden. Zusätzlich zur amtlichen Personendosimetrie wird in bestimmten Anwendungsbereichen, zum Beispiel in der kerntechnischen Industrie, eine Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen mit betrieblichen Dosimetern durchgeführt.

Die Körperdosis durch Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper (Inkorporation) wird über die Messung der Radionuklidaktivität in Körperorganen oder im Gesamtkörper, in Ausscheidungsproben oder durch Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz ermittelt. In der Abbildung (Seite 27) ist ein Beispiel einer Messeinrichtung zur direkten Bestimmung der Körperaktivität am Menschen dargestellt. Sowohl auf betrieblicher Ebene als auch außerbetrieblich führen bundesweit etwa 40 Messstellen Inkorporationsmessungen zur Bestimmung der inneren Strahlenexposition durch. Von diesen sind bislang mehrere durch die zuständigen Behörden der einzelnen Bundesländer als amtlich anerkannte Messstellen zur Inkorporationsüberwachung nach der Strahlenschutzverordnung bestimmt. Bei Überwachungsmessungen mit dem Ganzkörperzähler an Kontrollpersonen aus den beiden Atomkraftwerken in Greifswald (Mecklenburg-Vorpommern) und Rheinsberg (Brandenburg) konnten für die Tätigkeiten der Stilllegung und des Rückbaus von Kernanlagen nur Inkorporationen weit unterhalb der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr gefunden werden.

## Ausgewählte Überwachungsergebnisse des Strahlenschutzregisters

Die Ergebnisse der Dosiermittlung werden von den Messstellen an den Strahlenschutzbeauftragten des Arbeitgebers der strahlenexponierten Person und an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz gemeldet. Im Strahlenschutzregister werden diese Daten personenbezogen zusammengeführt und ausgewertet. Die meist monatlich berichteten Dosiswerte werden dabei über die Zeit bilanziert und die Ergebnisse mit den Grenzwerten verglichen. Bei einer Grenzwertüberschreitung wird die zuständige Aufsichtsbehörde benachrichtigt. Gegenwärtig laufen Vorbereitungen, zukünftig auch die Dosiswerte, die aus der Inkorporation von Radionukliden resultieren, in das Strahlenschutzregister aufnehmen zu können.

Durch die zentrale personenbezogene Zusammenführung und Bilanzierung der Expositionsdaten kann über lange Zeiträume sichergestellt werden, dass eine Überschreitung der gesetzlich festgelegten Grenzwerte (z.B. Jahresgrenzwert, Grenzwert der Berufslebensdosis) bei einem

Berufstätigen auch dann erkannt wird, wenn die festgestellten Dosiswerte von verschiedenen Messstellen stammen oder wenn längere zeitliche Unterbrechungen in der beruflichen Tätigkeit vorliegen.

Im Jahr 1998 wurden in Deutschland insgesamt 298 882 Personen mit Personendosimetern überwacht. Davon waren 74 Prozent im Bereich der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlen, 7 Prozent im kerntechnischen Bereich einschließlich Transport, Konditionierung und Lagerung, 19 Prozent in sonstigen industriellen Bereichen sowie in Forschung und Entwicklung tätig. Die mittlere Jahres-Personendosis aller überwachten Personen betrug im Jahre 1998 0,2 mSv. Allerdings erhielten nur 14 Prozent dieser überwachten Personen eine messbare Personendosis. Sie betrug im Mittel 1,5 mSv im Jahr. Bei fünf Personen wurde eine Überschreitung des Jahresgrenzwerts von 50 mSv festgestellt.

25 075 beruflich strahlenexponierte Personen arbeiteten als Selbständige oder im Auftrag ihrer jeweiligen Firma in den Kontrollbereichen fremder, meist kerntechnischer Anlagen (z.B. in Atomkraftwerken während der Revision), wo sie Tätigkeiten wie Montage-, Prüf- und Reinigungsarbeiten verrichteten. Von diesen Personen erhielten 10 564 eine messbare Dosis. Mit einer mittleren Personendosis von 2,8 mSv im Jahr liegt diese exponierte Personengruppe bei der beruflichen Strahlenexposition deutlich über dem Durchschnittswert von 1,5 mSv (s. oben).

Eine Aufschlüsselung der Expositionsdaten auf unterschiedliche Tätigkeitsbereiche der beruflich exponierten Personen zeigt, dass die individuelle Exposition im industriellen Bereich der Anwendung radioaktiver Stoffe am höchsten ist (siehe Abbildung Seite 29).

## Leitstelle „Inkorporationsüberwachung“ des BfS

Einige Beispiele und Ergebnisse sollen die Tätigkeit der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz und der sie fachlich unterstützenden Messstellen im System der Inkorporationsüberwachung veranschaulichen.

Jede Messstelle hat durch Eigenkontrolle und Teilnahme an Ringversuchen die Qualität ihrer Messverfahren bezüglich Genauigkeit, Darstellung und zeitlicher Verfügbarkeit der Messergebnisse zu prüfen und zu sichern. Ringversuche werden von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz durchgeführt.

Der nationale Ringversuch zur Beurteilung der Genauigkeit der direkten Aktivitätsmessung der beiden radioaktiven Iodisotope Iod-131 und Iod-125 in der Schilddrüse, an dem Messstellen aus Forschung, Medizin und Atomkraftwerken teilgenommen haben, zeigte, dass einige Messstellen die Kalibrierung ihrer Messeinrichtungen überprü-

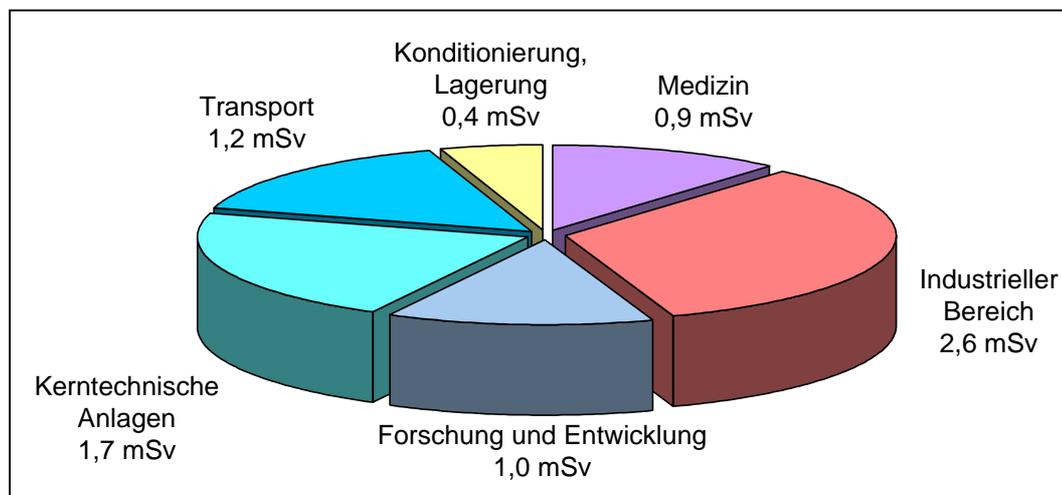
fen müssen. Die 1999 durchgeführten Ringversuche zur Bestimmung von Strontium-90 und Americium-241 in Urinproben zeigten dagegen, dass die teilnehmenden behördlich bestimmten Messstellen die Anforderungen erfüllt haben.

## Berufliche Strahlenexposition durch Radon und Radonzerfallsprodukte

Eine besondere Situation bei der Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland liegt bei Arbeitsplätzen mit Strahlenexpositionen durch Inhalation von Radon und Radonzerfallsprodukten im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten vor. Im Jahr 1999 gab es noch keine bundesweit einheitliche gesetzliche Regelung für die Überwachung dieser Arbeitsplätze. In den neuen Bundesländern gilt deshalb für diese Expositionen die Strahlenschutzverordnung der ehemaligen DDR fort.

1999 wurde diese Überwachung bei etwa 2 000 Personen vorgenommen, von denen ungefähr 80 Prozent Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten. Mehr als ein Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wird seit 1992 mit personengebundenen Geräten zur Messung der Strahlenexposition überwacht. Für alle anderen überwachten Personen werden die Strahlenexpositionen entweder von den individuell ermittelten Expositionen für Personen mit vergleichbaren Arbeiten abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Messungen der Aktivitätskonzentrationen an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten bestimmt.

Im Jahr 1998 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchste individuelle effektive Dosis betrug 12,9 mSv im Jahr, wobei der derzeit noch gültige Grenzwert 50 mSv beträgt. Für das Jahr 1999 ist die Datenerfassung noch nicht abgeschlossen, so dass statistische Aussagen noch nicht möglich sind.



*Mittlere Jahres-Personendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland im Jahre 1998, aufgeschlüsselt auf Tätigkeitsbereiche (Angaben aus dem Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz)*

# Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen

## Ermittlung der Strahlenexpositionen

Die mit Luft und Wasser aus kerntechnischen Anlagen abgeleiteten radioaktiven Stoffe tragen zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Daher sind sämtliche Ableitungen durch geeignete Aktivitätsmessverfahren zu erfassen und nach Art und Aktivität spezifiziert zu bilanzieren. Aus den Ergebnissen dieser Bilanzierungsmessungen wird die jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen berechnet. Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgt auf der Grundlage der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen“. Danach wird die Exposition für eine Referenzperson an den ungünstigen Einwirkungsstellen, unter Berücksichtigung der relevanten Belastungspfade, berechnet. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt durch Aufenthalt oder Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition dieser Referenzperson zu erwarten ist.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung bei der Ableitung über Luft wird maßgeblich durch die Höhe der Freisetzungen von Radionukliden in die Atmosphäre und durch die atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen bestimmt. Diese hängen von meteorologischen Einflussgrößen wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Turbulenz und Niederschlag ab. Daher werden für die Ausbreitungsrechnungen die am Standort als Stunden- oder 10-Minuten-Mittelwerte gemessenen aktuellen meteorologischen Daten verwendet. Zusätzlich wird die Ausbreitung in der Atmosphäre von Standortparametern wie Emissionshöhe, Bebauung und Bewuchs in unmittelbarer Nähe des Emittenten sowie insbesondere durch die Struktur des umgebenden Geländes beeinflusst.

Bei der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Ableitung mit Wasser wird berücksichtigt, dass die radioaktiven Stoffe zunächst in das Kühlwasser und von dort in den Vorfluter der kerntechnischen Anlage abgegeben werden. Für die Strahlenexposition maßgeblich sind die mittlere Abflussmenge des Fließgewässers, das Mischungsverhältnis zwischen dem Abfluss der Anlage und dem Abfluss des Vorfluters am betrachteten Ort, die Fließzeit zwischen der Einleitungsstelle und dem betrachteten Ort sowie die landwirtschaftlichen Nutzungen. Berechnet werden die äußere Strahlenexposition für die drei Expositionspfade „Aufenthalt auf Ufersediment, Überschwemmungsgebiete und Spülfelder“ und die innere Strahlenexposition durch den Verbrauch von Nahrungsmitteln.

## Überwachungsergebnisse

In der Abbildung (Seite 31 oben) sind die für eine erwachsene Referenzperson berechneten Jahreswerte der effektiven Dosis an den Standorten von Atomkraftwerken in den Jahren von 1994 bis 1998 durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der *Abluft* dargestellt. Die Strahlenexposition für Kleinkinder kann hier das Doppelte des Dosiswertes von Erwachsenen erreichen. Der Grund liegt im größeren Dosiskoeffizienten für Kleinkinder für das beim Luftpfad dosisbestimmende Radionuklid Kohlenstoff-14.

Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe und ist ein Maß für das Strahlenrisiko. Der höchste im dargestellten Zeitraum berechnete Wert der jährlichen effektiven Dosis von ca. 0,007 Millisievert (mSv) liegt bei rund 2 Prozent des Grenzwertes von 0,3 mSv pro Jahr für die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft.

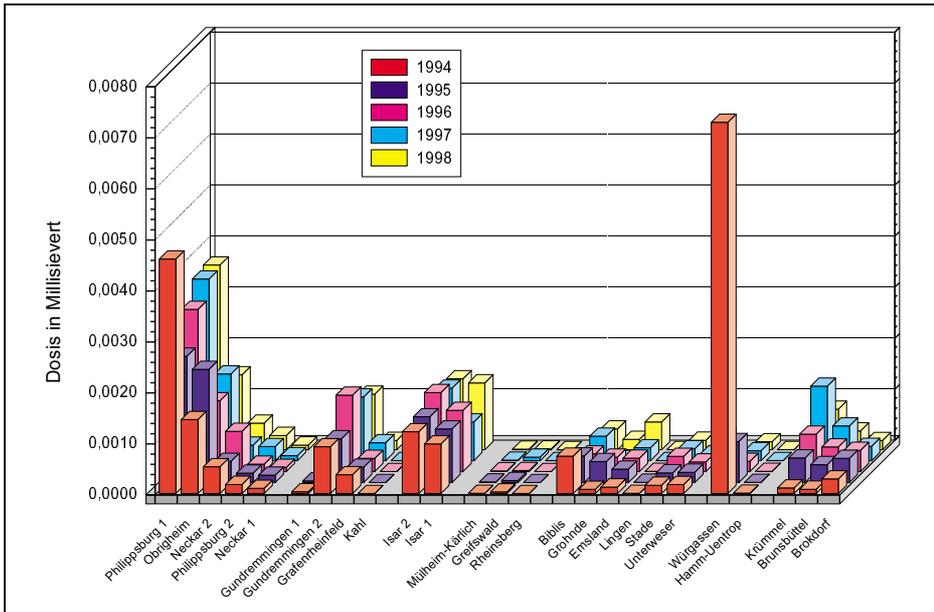
In der folgenden Abbildung (Seite 31 Mitte) wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung von Atomkraftwerken in den Jahren 1994 bis 1998 durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem *Abwasser* dargestellt. Der in diesem Zeitraum bestimmte Maximalwert der jährlichen effektiven Dosis liegt mit 0,0006 mSv bei 0,2 Prozent des Grenzwertes von 0,3 mSv pro Jahr für die Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser. Im Vergleich hierzu beträgt die mittlere effektive Dosis in Deutschland aus natürlichen Strahlenquellen 2,4 mSv pro Jahr.

Die Daten über die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser aus kerntechnischen Anlagen und die daraus resultierende Strahlenexposition werden in den jährlichen Berichten der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ und ausführlicher in den gleichnamigen Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit veröffentlicht.

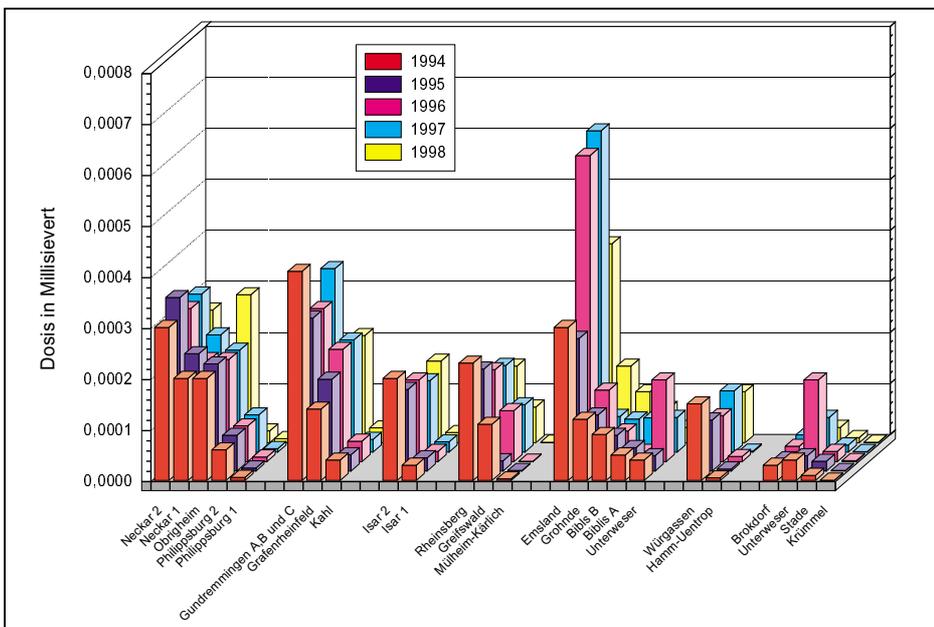
## Qualitätssicherung und Kontrolle der Eigenüberwachung

Voraussetzung für eine richtige und zuverlässige Bestimmung dieser Strahlenexpositionen ist, dass bei den kerntechnischen Anlagen in Deutschland die Radioaktivitätsmessungen in Abluft und Abwasser qualitätsgerecht durchgeführt werden. Eine Reihe bundeseinheitlicher Maßnahmen unter Federführung des BfS haben zu einem technisch hohen Stand der Emissionsüberwachung bei kerntechnischen Anlagen geführt.

Seit 1978 werden im Auftrag der Länder bei Atomkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen im Rahmen einer bundeseinheitlichen Richtlinie entsprechende Kontrollmessungen durchgeführt. Neben den Kontroll-



Strahlenexposition der Bevölkerung (Erwachsene) in der Umgebung von Atomkraftwerken in den Jahren 1994 bis 1998 durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft in Millisievert pro Jahr (mSv/a)



Strahlenexposition der Bevölkerung (Erwachsene) in der Umgebung von Atomkraftwerken in den Jahren 1994 bis 1998 durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in Millisievert pro Jahr (mSv/a)

messungen an Aerosol- und Iodfilterproben zur Aktivitätsbestimmung gammastrahlender und alphastrahlender Radionuklide sowie der reinen Betastrahler Sr-89/Sr-90 in der Abluft werden an Absorptions-, Kondensat- oder Molekularsiebproben Kontrollmessungen zur Bestimmung der Tritium- und Kohlenstoff-14-Aktivität durchgeführt. In den Anlagen werden Vor-Ort-Kontrollmessungen der Emission radioaktiver Edelgase sowie die Kalibrierung integraler und nuklidspezifischer Kaminmessstellen durchgeführt. In Abwasserproben werden die Aktivitätswerte gammastrahlender und alphastrahlender Radionuklide sowie von H-3, Fe-55, Ni-63, Sr-89 und Sr-90 bestimmt. Über die Ergebnisse der Kontrollmessungen wird an die zuständigen Aufsichtsbehörden und die Betreiber der kerntechnischen Anlagen regelmäßig berichtet.

Zur Qualitätssicherung bei der Überwachung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen und der Umwelt-radioaktivität wurden 1999 die Ringversuche „Abluft aus

kerntechnischen Anlagen“, „Abwasser aus kerntechnischen Anlagen“, „Beta- und Gamma-Strahler in Wasser“, „Alpha-Strahler in Wasser“ und „Filterschlamm“ in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) durchgeführt. Hierbei waren die Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen von kernanlagentypischen Radionukliden an flächenhaften Präparaten, Wasserproben sowie an Filterschlamm zu bestimmen. Die Ergebnisse der Ringversuche zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten, dokumentieren somit einen hohen messtechnischen Standard in den teilnehmenden Labors und eine gute Beherrschung der angewandten Messverfahren.

Fachgespräche mit den Betreibern der kerntechnischen Anlagen, Sachverständigen, Ländervertretern und Vertretern von Gutachterorganisationen sowie Weiterbildungsveranstaltungen zu Fragen der Probenentnahme, Aktivitätsmessung und Auswertung von Messergebnissen runden diese Maßnahmen ab.

# Übereinkommen über nukleare Sicherheit

Das Übereinkommen über nukleare Sicherheit (Convention on Nuclear Safety) ist ein völkerrechtlicher Vertrag, der am 24. Oktober 1996 in Kraft trat. Sein Anwendungsbereich erstreckt sich ausschließlich auf die zivile Nutzung der Kernenergie. Mit diesem Vertrag ist erstmals eine rechtlich verbindliche Grundlage für international einheitliche und grundlegende Anforderungen an die Sicherheit der Kernkraftwerke geschaffen worden. Das ist ein guter Schritt auf dem Weg zur Verbesserung des internationalen Reaktorsicherheitsniveaus. Nach dem Übereinkommen verpflichten sich die Vertragsstaaten zur Übernahme international anerkannter Sicherheitsprinzipien. Die nationale Umsetzung wird auf der Grundlage regelmäßiger Berichte der Vertragsstaaten („Nationaler Bericht“) auf Überprüfungskonferenzen im Abstand von höchstens drei Jahren diskutiert. Die Teilnahme an den Konferenzen und die Berichtspflicht sowie die gemeinsame Diskussion der Berichte soll auf die Staaten einwirken, sich vertragsgerecht zu verhalten. Dieses Instrument des „Peer Group Review“ ist nach Überzeugung der Vertragsstaaten geeignet, die Einhaltung der eingegangenen Verpflichtungen zu gewährleisten.

Das Übereinkommen hat die Ziele, einen weltweit hohen Standard in der nuklearen Sicherheit zu erreichen bzw. beizubehalten und wirksame Abwehrmaßnahmen gegen radiologische Gefahren in und durch Kernanlagen zu ergreifen, um Unfälle mit radiologischen Folgen zu vermeiden bzw., falls sie doch eintreten, deren Folgen zu mildern. Das Übereinkommen behandelt den erforderlichen nationalen Rahmen für Gesetzgebung und behördlichen Vollzug und allgemeine Sicherheitsüberlegungen, die sich eng an die „Safety Fundamentals“ der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) anlehnen. Behandelt werden Personalqualifikation, menschliche Faktoren, Qualitätssicherung, Bewertung der Sicherheit, Strahlenschutz, Notfallvorsorge, Standortwahl, Auslegung und Bau sowie Betrieb von Atomkraftwerken.

Im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMU) wurde der deutsche Bericht für die erste Überprüfungsstagung 1997/1998 gemeinsam von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) und dem BfS erarbeitet. Der Bericht wurde im August 1998 vom Bundeskabinett der alten Bundesregierung verabschiedet und veröffentlicht. Die deutsche und die englische Berichtsfassung sind im Internet unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de) zugänglich.

Nach der Verteilung der jeweiligen nationalen Berichte an alle Vertragsparteien durch die IAEO zur Kommentierung bis Februar 1999 haben BfS, GRS und BMU gemeinsam Fragen an 19 Länder ausgearbeitet. Zum deutschen Bericht wurden 116 Fragen von 17 Vertragsparteien gestellt, die schriftlich bis zum Konferenzbeginn beantwortet wurden.

Alle Berichte der Vertragsparteien wurden auf der ersten Überprüfungsstagung vom 12. bis 23. April 1999 in Wien in insgesamt sechs Ländergruppen diskutiert. Über die Ergebnisse der Ländergruppen wurde in der abschließenden Plenarsitzung vorgetragen. Das Plenum verabschiedete einen Ergebnisbericht, der die diskutierten Sachthemen anspricht. Er wurde veröffentlicht und ist unter [www.iaea.org](http://www.iaea.org) zugänglich.

Deutschland war in Ländergruppe 6 eingeteilt, gemeinsam mit Argentinien, China, Mali, Norwegen, Singapur, der Türkei und der Ukraine. Singapur und Mali waren auf der Überprüfungsstagung nicht vertreten. Singapur hatte allerdings einen nationalen Bericht termingerecht abgegeben. Deutschland stellte den Rapporteur und den Koordinator der Gruppe 6, die Ukraine den Chairman und China den Vice-Chairman.

Der nationale Bericht Deutschlands wurde am 14. April einen Tag lang vorgetragen und diskutiert. Die Basis dazu bildete die schriftliche Beantwortung der gestellten Fragen. Ein wichtiges Thema war, ausgehend von der geänderten energiepolitischen Zielsetzung der Bundesregierung, die daraus befürchteten Konsequenzen auch für andere Länder. Dabei wurde zum einen das Ziel des Ausstiegs aus der Atomenergienutzung bekräftigt und im Einzelnen begründet. Zum anderen konnte klargestellt werden, dass die neue deutsche Energiepolitik die Verantwortung und Bemühungen aller zuständigen Behörden um nukleare Sicherheit nicht beeinträchtigt, solange Atomkraftwerke in Deutschland in Betrieb sind. In allen Ländergruppen wurde die notwendige Unabhängigkeit der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden herausgestellt.

Die Vertragsstaaten waren sich einig, dass der Überprüfungsprozess greift und die Ziele des Übereinkommens erreicht werden. Die nächste Überprüfungsstagung wird im April 2002 stattfinden.

# Forschung für mehr Sicherheit und Strahlenschutz

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 nichtionisierender Strahlung zu klären. Für anstehende Entscheidungen sind wissenschaftlich-technische und rechtliche Grundlagen zu schaffen, welche die Einbeziehung externen Sachverständigen erfordern. Dazu stehen dem BMU Haushaltsmittel für die sogenannte *Ressortforschung* zur Verfügung, um Untersuchungen, Gutachten und Studien zur Klärung von Einzelfragen an Universitäten, Forschungsinstitute, Sachverständigenorganisationen oder Firmen zu vergeben.

Das BfS unterstützt das BMU fachlich und wissenschaftlich auf den Gebieten des Strahlenschutzes und der kerntechnischen Sicherheit. Das BfS ist – neben der verwaltungsmäßigen Durchführung der Ressortforschung – 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 Jahre 1999 wurden knapp 160 Untersuchungsvorhaben fachlich und etwa 200 Vorhaben verwaltungsmäßig durch das BfS betreut. Insgesamt standen der BMU-Ressortforschung im Jahre 1999 für den Strahlenschutz ca. 18,5 Millionen DM und für die kerntechnische Sicherheit 47,3 Millionen DM zur Verfügung.

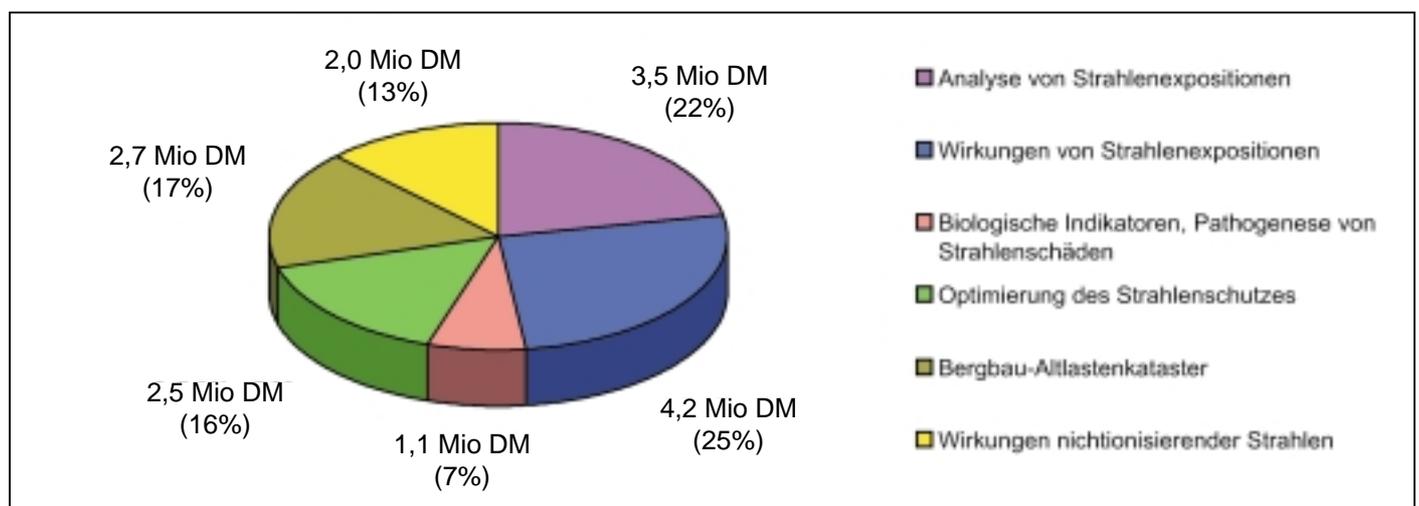
## Schwerpunkt Strahlenschutz

Die für die Strahlenschutzforschung aufgewendeten Mittel verteilen sich im Wesentlichen auf sechs thematische Schwerpunkte, wie in der Abbildung dargestellt.

Eine vordringliche Aufgabe des BMU besteht darin, die natürlichen und zivilisatorischen Strahlenquellen zu erfassen und die daraus resultierenden Strahlenexpositionen zu analysieren. So müssen Anreicherungsprozesse natürlicher radioaktiver Stoffe und Tendenzen bei der zivilisatorischen Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen rechtzeitig erkannt und bewertet werden, um im Vorfeld mit geeigneten Maßnahmen einer Gefährdung des Menschen und der Umwelt entgegenzuwirken. Ein besonderer Schwerpunkt dabei ist die Radonbelastung der Bevölkerung und beruflich tätiger Personen am Arbeitsplatz. Eine Voraussetzung hierfür ist, die entsprechende Messtechnik und Verfahren zur Dosisermittlung verfügbar zu machen sowie radioökologische Daten und Modelle zu entwickeln und zu überprüfen und dem Stand von Wissenschaft und Technik anzugleichen.

Untersuchungen und Bewertungen der Wirkungen von Strahlenexpositionen auf den Menschen haben zum Ziel, zuverlässigere Aussagen zum Strahlenrisiko, insbesondere bei kleinen Dosen, zu gewinnen. Neben Fragestellungen des Lungenkrebsrisikos durch Radon und der Ursachen der kindlichen Leukämie haben die Untersuchungen auch die Entwicklung und Bewertung biologischer Indikatoren zur Ermittlung der Strahlenexposition sowie die Entstehung und Entwicklung von strahlungsbedingten Krankheiten (Pathogenese) einschließlich Diagnose und Therapie zum Gegenstand.

Der praktische Strahlenschutz wird entscheidend durch den Grundsatz bestimmt, die Strahlenexposition soweit unterhalb der Strahlenschutzgrenzwerte zu halten, wie das mit vernünftigem Aufwand möglich ist. Eine Voraussetzung für die Entwicklung von Verfahren und Einrichtungen zur Optimierung des Strahlenschutzes ist die Untersuchung des Risikos von Strahlenexpositionen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen. Ansatzpunkte zur Optimierung des Strahlenschutzes finden sich insbesondere bei medizinischen und industriellen Strahlenanwendungen,



Schwerpunktt Themen der BMU-Ressortforschung zum Strahlenschutz – Im Jahre 1999 aufgewendete Mittel

der Beförderung von radioaktiven Stoffen und Strahlenquellen, der Behandlung und Beseitigung radioaktiver Abfälle sowie bei der Vorsorge gegen Stör- und Unfälle.

Die Ermittlung der bergbaubedingten Umweltradioaktivität wurde durch den deutschen Einigungsvertrag als eine besondere Aufgabe des Bundes aufgenommen. Eine Voraussetzung zur Bewältigung dieser Aufgabe ist die Erstellung eines Bergbau-Altlastenkatasters für die betroffenen Regionen in den neuen Bundesländern. Ziel ist es, die Gesamtsituation einzuschätzen, die Notwendigkeit von Sicherheits- und Sanierungsmaßnahmen zu begründen und eine Eingrenzung auf tatsächlich belastete Flächen und Objekte vorzunehmen.

Durch den ständig zunehmenden Einsatz von elektronischen Geräten ist die Umwelt des Menschen – sowohl im privaten wie im beruflichen Bereich – in steigendem Maße mit „Elektrosmog“ belastet. Dies hat zu einer neuen Aufgabe im Strahlenschutz, dem Schutz vor der Wirkung nichtionisierender Strahlen, geführt. Die Erkenntnisse zu Risiken der nichtionisierenden Strahlen auf den Menschen sind bei weitem noch nicht so fundiert wie für den Bereich der ionisierenden Strahlen und bedürfen einer weiteren systematischen Untersuchung.

## Schwerpunkt Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen

Die Schwerpunkte der Ressortforschung auf dem Gebiet der Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Untersuchungen zur Betriebssicherheit und Auswertung der Betriebserfahrung dienen dem BMU als Entscheidungsgrundlage für die Wahrnehmung der Zweckmäßigkeitssaufsicht über den Betrieb von Atomkraftwerken. Bei-

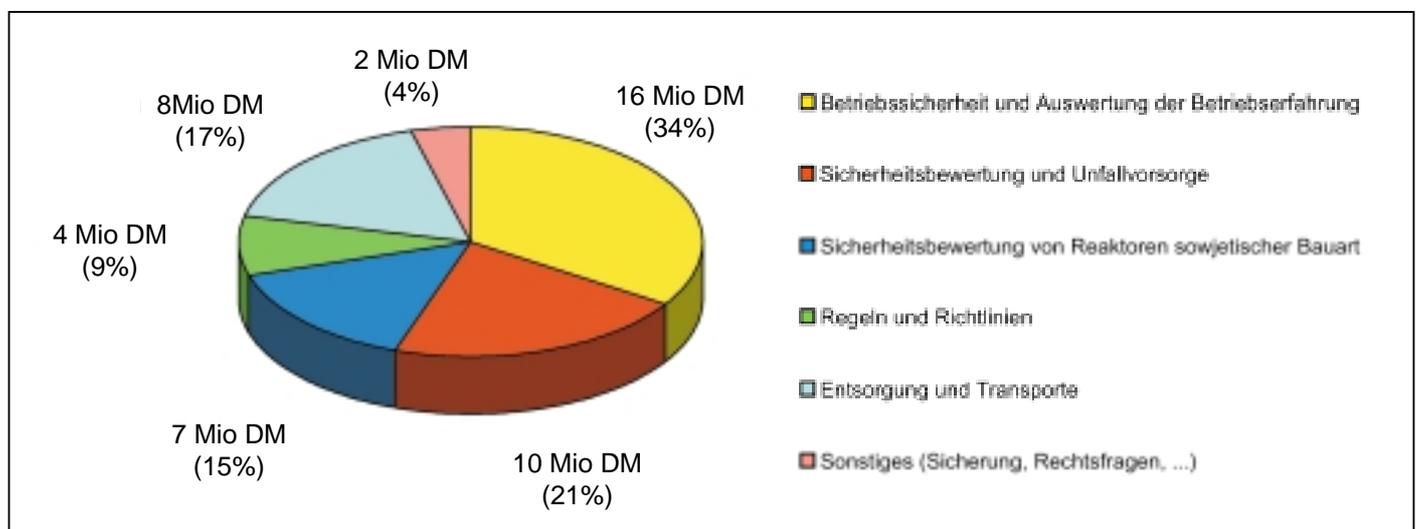
spiele hierfür sind Analysen und Bewertungen von Werkstoffbefunden, die Bewertung der Angemessenheit von Instandhaltungskonzepten und Konzepten für wiederkehrende Prüfungen sowie die Analyse der im In- und Ausland aufgetretenen meldepflichtigen Ereignisse hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung für deutsche Anlagen.

Für eine ganzheitliche Sicherheitsbewertung und Unfallvorsorge werden die methodischen Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Soweit sich aus Sicherheitsüberprüfungen Anforderungen für Sicherheitsverbesserungen ergeben, werden diese in entsprechende Maßnahmen umgesetzt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Verträglichkeit mit dem jeweiligen Anlagenkonzept bewertet.

Sicherheitsbewertungen von Reaktoren sowjetischer Bauart dienen dem BMU als Grundlage für Unterstützungsmaßnahmen für die dort tätigen Sicherheitsbehörden. Untersuchungen zu Regeln und Richtlinien haben zum Gegenstand, fachliche Grundlagen für die Weiterentwicklung des Regelwerks entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu schaffen.

Gleiches gilt für die Fortentwicklung der Anforderungen an die Qualifikation des Personals in kerntechnischen Anlagen, für die u. a. modernste Simulatoren bei der Aus- und Weiterbildung eingesetzt werden. Ein Teil der Ressortforschung betrifft auch Untersuchungen zur Entwicklung von Maßnahmen und Methoden zum Schutz der Bevölkerung vor dem Missbrauch von radioaktivem/spaltbarem Material (nuklearspezifische Gefahrenabwehr).

Im Bereich Entsorgung und Transport von radioaktiven Abfällen liegt der Schwerpunkt der Tätigkeiten auf der Schaffung eines neuen nationalen Entsorgungskonzeptes. Hierzu ist ein akzeptiertes Verfahren zu erarbeiten,



Schwerpunktt Themen der BMU-Ressortforschung zur Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen – Im Jahre 1999 aufgewendete Mittel

welches die Untersuchung der Eignung eines Endlagerstandorts anhand von nachprüfbaren Kriterien unter Einbeziehung des heutigen nationalen und internationalen Kenntnisstandes ermöglicht.

Die im Rahmen von Ressortforschungsvorhaben erarbeiteten Ergebnisse werden in der BMU-Schriftenreihe „Reaktorsicherheit und Strahlenschutz“ veröffentlicht bzw. in BfS-Berichten zusammenfassend dargestellt.

## **Internationale Zusammenarbeit**

Neben der eigentlichen Ressortforschung standen dem BMU/BfS im Jahre 1999 Ressortmittel in Höhe von etwa

9,8 Mio. DM für die internationale Zusammenarbeit auf den Gebieten des Strahlenschutzes und der kerntechnischen Sicherheit, einschließlich des physischen Schutzes von Kernmaterial, zur Verfügung. Etwa 6,5 Mio. DM wurden für die Zusammenarbeit mit internationalen Organisationen und den bilateralen Informations- und Erfahrungsaustausch mit Einzelstaaten, insbesondere Nachbarstaaten, aufgewendet. Rund 3,3 Mio. DM standen für Maßnahmen zur Unterstützung des Aufbaus von Sicherheitsbehörden in den Staaten der ehemaligen Sowjetunion und den mittel- und osteuropäischen Staaten sowie zur Durchführung von Seminaren, Workshops und Arbeitstreffen auf dem Gebiet der Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen für Behördenmitarbeiter und Sachverständige aus diesen Ländern zur Verfügung.

# Die Störfallmeldestelle des Bundesamtes für Strahlenschutz

Atomkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen sind komplexe, aus vielen Einzelkomponenten zusammengesetzte technische Systeme. Fehlfunktionen oder Versagen einzelner Komponenten sind bei solchen Anlagen nicht auszuschließen. Jede Abweichung vom normalen Betrieb, die für die Sicherheit von Bedeutung sein kann, ist meldepflichtig. Die Störfallmeldestelle des BfS hat die Aufgabe, alle meldepflichtigen Ereignisse, die in deutschen kerntechnischen Einrichtungen (insbesondere in Atomkraftwerken) auftreten, für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit auszuwerten. Der Anlagenbetreiber ist verpflichtet, diese Abweichung als meldepflichtiges Ereignis direkt an die zuständige Aufsichtsbehörde zu melden. Von den Aufsichtsbehörden werden die Meldungen über meldepflichtige Ereignisse an die Störfallmeldestelle des BfS, an die GRS und an das BMU weitergeleitet. Die Störfallmeldestelle des BfS erfasst und dokumentiert die Ereignisse.

Die Meldung dieser Ereignisse erfolgt nach Kriterien und Meldekategorien, die in der Atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) festgelegt sind. Es gibt vier Meldekategorien (s. oben), wobei sich die Zuordnung zur Meldekategorie nach der Dringlichkeit, mit der die zuständige Aufsichtsbehörde über das Ereignis informiert werden muss, richtet:

<i>Kategorie S:</i>	Sofortmeldung	– Meldefrist: unverzüglich
<i>Kategorie E:</i>	Eilmeldung	– Meldefrist: innerhalb von 24 Stunden
<i>Kategorie N:</i>	Normalmeldung	– Meldefrist: innerhalb von 5 Tagen
<i>Kategorie V:</i>	Vor Beladung des Reaktors mit Brennelementen	– Meldefrist: innerhalb von 10 Tagen

Für das Jahr 1999 wurden 121 Ereignisse aus deutschen Atomkraftwerken gemeldet (Stand: 01.04.2000). Ein Ereignis wurde der Kategorie „E“ zugeordnet. Beim Beizen einer Verdampferanlage zur Aufbereitung radioaktiver Abwässer im stillgelegten Kernkraftwerk Rheinsberg war unbeabsichtigt radioaktives Spülwasser in das sonst aktivitätsfreie Pressluftnetz gefördert worden. Durch sofort ergriffene Maßnahmen wurden eine Verschleppung der Kontamination und unzulässige radioaktive Belastungen des Personals verhindert. Alle anderen Ereignisse des Jahres 1999 wurden in der Kategorie „N“ gemeldet.

Bei sieben Ereignissen wurde der Leistungsbetrieb aufgrund von Schnellabschaltungen des Reaktors unterbrochen. Eine Schnellabschaltung ist nicht mit einem Störfall gleichzusetzen. Vielmehr ist die Reaktorschnellabschaltung (RESA) eine vorsorgliche, sicherheitsgerichtete Maßnahme mit dem Ziel, bei Störungen das Erreichen unzulässiger Betriebswerte zu verhindern und die Anlage in einen sicheren Zustand zu überführen. In der Regel wird eine RESA automatisch ausgelöst, wobei eine Handauslösung durch verantwortliches Betriebspersonal ebenfalls möglich ist. Die Anzahl der Reaktorschnellabschaltungen (gemittelt über alle im Leistungsbetrieb befindlichen Anlagen) im Zeitraum von 1991 bis 1999 ist aus der Abbildung auf Seite 37 ersichtlich.

Jedes meldepflichtige Ereignis wird von der Störfallmeldestelle ausgewertet. In vierteljährlichen bzw. jährlichen Berichten wird die Öffentlichkeit darüber informiert. Diese Berichte sind von der Internet-Homepage des BfS abrufbar ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)).

Neben dem behördlichen deutschen Meldeverfahren nach AtSMV erfolgt die Einstufung der meldepflichtigen Ereignisse nach der achtstufigen Bewertungsskala (0–7) der Internationalen Atomenergie-Organisation, der „International Nuclear Event Scale“ (INES; Abb. Seite 37).

Anhand dieser Bewertungsskala wird die sicherheitstechnische Bedeutung der Ereignisse bestimmt, insbesondere im Hinblick auf radiologische Auswirkungen innerhalb



Kernkraftwerk Philippsburg

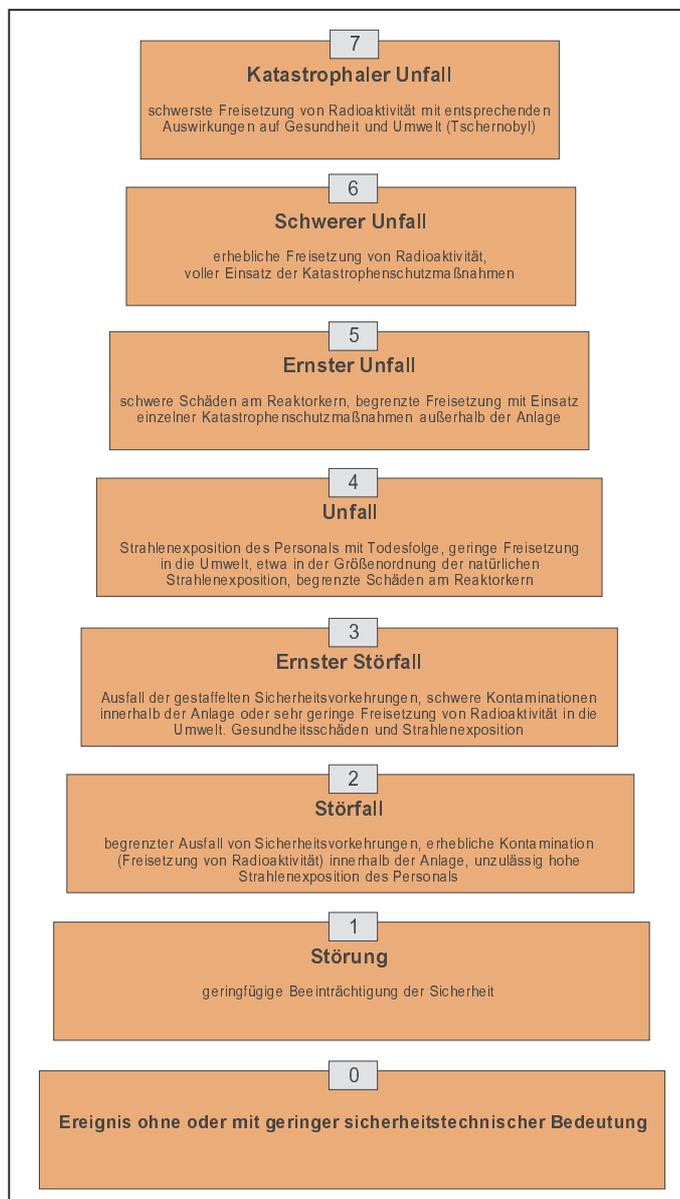
bzw. außerhalb der Anlage. Ereignisse ohne radiologische Bedeutung oder mit keiner oder geringer sicherheitstechnischer Bedeutung werden der Stufe 0 zugeordnet.

Von den 1999 aus deutschen Atomkraftwerken gemeldeten 121 Ereignissen wurde ein Ereignis in die INES-Stufe 1 (Störung) eingeordnet. Während des Revisionsstillstandes im Kernkraftwerk Unterweser löste sich an einer verschlossenen Rohrleitung ein Rohrstopfen. Ein Bereich innerhalb des Reaktorgebäudes wurde mit aus der Rohrleitung ausgetretenem Wasser (nicht radioaktiv) überflutet. Ursache war der Einsatz eines ungeeigneten Verschlussstopfens entgegen dem festgelegten Instandhaltungsplan durch das dafür verantwortliche Personal. Alle anderen Ereignisse wurden der Stufe 0 zugeordnet.

Außerhalb Deutschlands ereignete sich am 30.09.1999 ein Ereignis der INES-Stufe 4 – der Kritikalitätsunfall in der japanischen Uranverarbeitungsanlage Tokaimura.

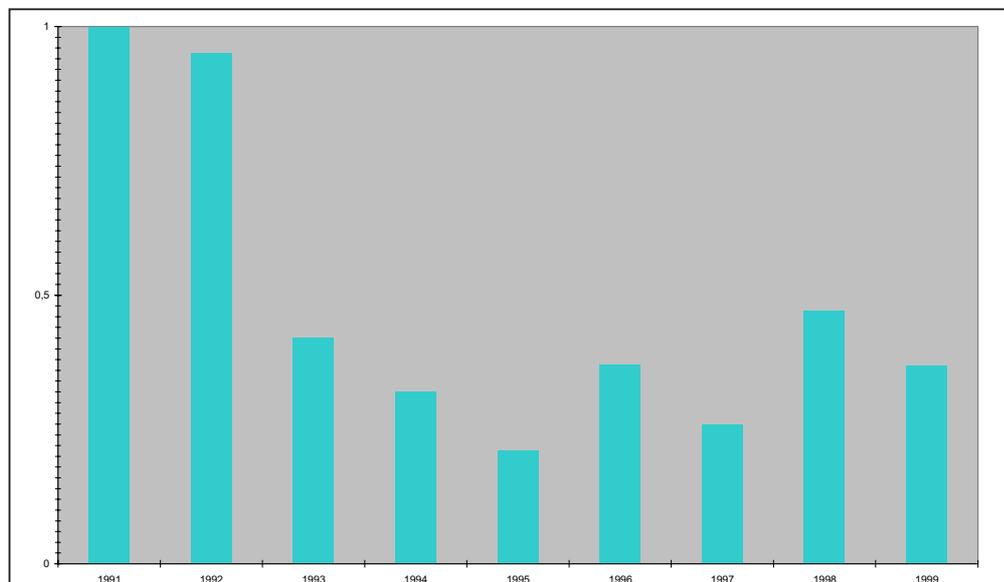
Bei diesem Unfall erhielten 3 Arbeiter, von denen inzwischen zwei verstarben, hohe Strahlendosen. Außer diesen Beschäftigten wurden weitere Firmenangestellte und Personen aus der Bevölkerung einer – allerdings geringeren – Strahlendosis ausgesetzt. Insgesamt wurden 439 Personen auf mögliche Bestrahlungsfolgen untersucht.

Ursache des Ereignisses waren administrative und technische Mängel. Die Störfallmeldestelle des BfS war im Rahmen der Alarmorganisation des BMU in die aktuelle operative Arbeit zur Klärung von technischen Sachverhalten, Aufbereitung und Weitergabe von Informationen zum Unfall in Tokaimura eingebunden. Eine Überprüfung der vergleichbaren deutschen Anlagen zeigte, dass ein Unfallablauf wie in Tokaimura hier nicht möglich ist.



Internationale Bewertungsskala für Ereignisse in kerntechnischen Einrichtungen (Quelle: GRS)

Anzahl Reaktorschnellabschaltungen (RESA) pro Jahr und Anlage (1991: 21 RESA's in 21 im Leistungsbetrieb befindlichen Anlagen)



# Nationaler Entsorgungsplan

Die Bundesregierung will die Nutzung der Atomenergie so schnell wie möglich beenden. Ein wichtiger Grund für den Ausstieg ist die bisher ungelöste Entsorgungsfrage. Tragende Elemente des bisherigen Entsorgungskonzepts sind inhaltlich gescheitert und haben keine sachliche Grundlage mehr. Aus diesem Grund hat die Bundesregierung die Erarbeitung eines nationalen Entsorgungsplanes für alle Arten radioaktiver Abfälle beschlossen. Das BfS unterstützt das Bundesumweltministerium bei der Entwicklung dieses Entsorgungsplanes in Fragen standortnaher Zwischenlagerung, Transportsicherheit und Transportminimierung sowie Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Grundlage der Entwicklung eines neuen Entsorgungskonzepts ist die Vermeidung bzw. mengenmäßige Begrenzung radioaktiver Abfälle durch die Beendigung der Atomenergienutzung.

## Endlagerung

In Deutschland wurde von Anfang an das Konzept verfolgt, radioaktive Abfälle in den tiefen geologischen Untergrund zu verbringen und dort endzulagern. Die oberflächennahe Endlagerung, wie sie in manchen anderen Ländern praktiziert wird, ist in Deutschland nicht vorgesehen.

Bei der Endlagerung wirkt das BfS an folgenden Schwerpunktthemen mit:

## Arbeitskreis „Auswahlverfahren Endlagerstandorte“

Das bisherige Entsorgungskonzept ist in seinen Grundzügen bereits in den 60er Jahren entstanden. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse und deren Bewertung sowie konzeptionelle Überlegungen und Entwicklungen – auch auf internationaler Ebene – werfen zunehmend die Frage nach seiner Belastbarkeit auf.

Für die Auswahl eines Endlagerstandortes muss eine Bewertungsbasis erarbeitet werden, die dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Das Bundesumweltministerium hat deshalb einen Arbeitskreis „Auswahlverfahren Endlagerstandorte“ eingerichtet. Hier beteiligt sich das BfS an der Erarbeitung nachvollziehbarer Auswahlverfahren und wissenschaftlich fundierter Kriterien

für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in unterschiedlichen Wirtsgesteinen. Dem Gesichtspunkt der praktischen Anwendbarkeit misst das BfS besondere Bedeutung zu. Transparenz bei der Erarbeitung der Kriterien sowie öffentliche Akzeptanz gehören zu den wichtigsten Anliegen.

## Das Ein-Endlager-Konzept

Für den heute vorhandenen Bestand und den künftigen Anfall radioaktiver Abfälle reicht ein Endlager aus. Obwohl heute keine Gründe bekannt sind, die die Realisierbarkeit des Ein-Endlager-Konzeptes in Zweifel ziehen, sind doch einige, zum Teil grundsätzliche sicherheitstechnische Fragestellungen zu lösen, die sich beispielsweise an dem zum Zwecke der Endlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle in der Untersuchung befindlichen Salzstock in Gorleben manifestieren.

Sollen in einem Endlager wärmeentwickelnde Abfälle und Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gleichzeitig eingelagert werden, muss neben der Wärme auch die Einwirkung erheblicher, insbesondere korrosionsbedingter Gasmengen auf das Wirtsgestein berücksichtigt werden. Das Verhalten des Gases im Wirtsgestein und seine Ausbreitung durch die natürlichen und technischen Barrieren des Endlagers ist noch nicht hinreichend erforscht. Dies gilt für alle heute weltweit untersuchten Wirtsgesteine. In einem „dichten Salzgestein“ gibt es heute noch keine Lösung für das Problem der Gasbildung. Vor allem der Temperatureinfluss auf das Verhalten zu planender Gasspeicher, einschließlich des umgebenden Wirtsgesteins, ist nicht vollständig erforscht. Beide Effekte bewirken anthropogene Veränderungen des Wirtsgesteins, die die Aussagekraft von Naturbeobachtungen in Frage stellen können. Darüber hinaus haben die eingeschlossenen Gasmengen Einfluss auf die Sicherheitsbewertung eines möglichen Endlagers in Salz, insbesondere wenn die Rückholbarkeit und menschliche Einwirkungen in der Nachbetriebsphase in die Betrachtung einbezogen werden.

Neben dem Untersuchungsbedarf als Folge der vergleichsweise hohen Gasbildungsraten durch Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung sind auch die komplexen Veränderungen des geochemischen Milieus durch die Zusammensetzung und Mengen dieser Abfälle von Bedeutung. Sie beeinflussen das Langzeitverhalten der sicherheitsrelevanten technischen Barrieren. Dieser Einfluss ist heute noch nicht bewertbar.

# Abfallerhebung

Radioaktive Abfälle fallen beim Betrieb kerntechnischer Anlagen, deren Stilllegung und Abbau sowie bei der Herstellung und Anwendung von Radioisotopen an. Sie müssen geordnet und sicher beseitigt werden. Dazu müssen die Rohabfälle und Zwischenprodukte u.a. konditioniert (d.h. verarbeitet und/oder verpackt) werden. Für die endlagergerechte Konditionierung radioaktiver Abfälle stehen verschiedene erprobte Verfahren und Anlagen zur Verfügung.

Radioaktive Abfälle werden in Deutschland in vernachlässigbar wärmeentwickelnde und wärmeentwickelnde Abfälle eingeteilt. Zu ersteren zählen u.a. kontaminierte Metalle und Nichtmetalle, Filter- und Filterhilfsmittel, leicht und schwer brennbare Stoffe, Chemieabwässer, Schlämme/Suspensionen oder Mischabfälle. Wärmeentwickelnde Abfälle sind insbesondere die verglasten hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von abgebrannten Brennelementen sowie die für die direkte Endlagerung vorgesehenen abgebrannten Brennelemente. Sie enthal-

ten den weit überwiegenden Anteil des radioaktiven Inventars, das sicher endgelagert werden muss.

Das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt in jedem Jahr den Bestand an unbehandelten radioaktiven Reststoffen sowie den Anfall, Bestand, die Zwischenlagerung und den im Folgejahr zu erwartenden Anfall an konditionierten radioaktiven Abfällen, mit Ausnahme der abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren. Diese werden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS) ermittelt.

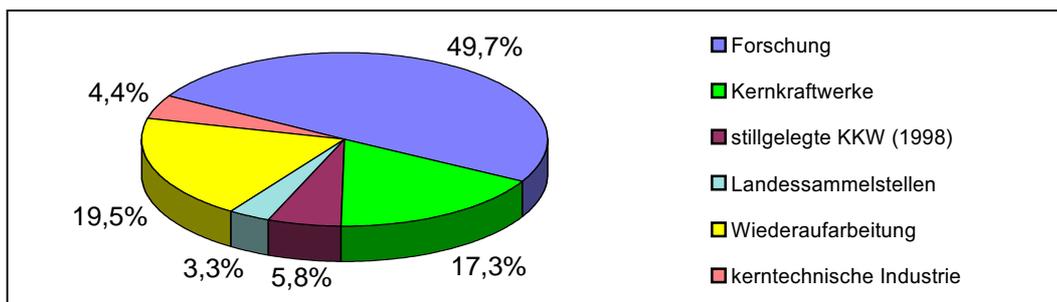
Eine Abfallflusskontrolle wird vom BfS nicht durchgeführt; diese Aufgabe fällt in die Zuständigkeit der atomrechtlichen Behörden der Länder.

Die Abbildung (unten) zeigt die Aufteilung des Bestandes von konditionierten vernachlässigbar wärmeentwickelnden Abfällen (Stand: 31.12.1998) auf die in Gruppen zusammengefassten Abfallverursacher. Der Anfall dieser Abfälle im Jahr 1998 war geringer als im Jahr 1997, jedoch höher als der bisherige durchschnittliche jährliche Anfall von etwa 4 800 m<sup>3</sup>. Die Abfallverursacher hatten sich verstärkt um eine Endlagerung der Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) bemüht. Es wurden mehr Abfälle im ERAM eingelagert als konditioniert. Daher hat sich der Bestand an konditionierten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung verringert. Für 1999 wurde von den Abfallverursachern ein Abfallgebundevolumen für vernachlässigbar wärmeentwickelnde Abfälle von 6 295 m<sup>3</sup> prognostiziert. Die vorhandenen Zwischenlager sind im Mittel zu 37% (ohne Berücksichtigung ZLN) ausgelastet. Für die Zwischenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle steht gegenwärtig eine ausreichende Lagerkapazität zur Verfügung.

Für Endlagerplanungsarbeiten ist es erforderlich, Prognosen über das zukünftige Abfallaufkommen zu erstellen. Dabei sind insbesondere die weitere Nutzung der Atomenergie für die Stromerzeugung, die Brennelementherstellung und auch die Forschung von Bedeutung. Bei einer Betrachtung unterschiedlicher Betriebszeiten von Atomkraftwerken zwischen 25 und 50 Jahren belaufen sich die Schätzungen bis zum Jahr 2080 auf ein kumuliertes Abfallgebundevolumen vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle von ca. 300 000 bis 340 000 m<sup>3</sup> und ein kumuliertes Abfallgebundevolumen wärmeentwickelnder Abfälle von ca. 27 000 bis 48 000 m<sup>3</sup> (einschließlich ausgedienter Brennelemente in POLLUX-Behältern).

Reststoffart	vernachlässigbar wärmeentwickelnd	wärmeentwickelnd
unbehandelte Reststoffe (verwertbare Reststoffe und Rohabfälle) <i>Bestand Ende 1998</i>	33845	454
Zwischenprodukte <i>Bestand Ende 1998</i> <i>Anfall 1998</i>	2550 1184	– –
konditionierte Abfälle <i>Bestand Ende 1998</i> <i>Anfall 1998</i> <i>endgelagert (ERAM) 1998</i>	60895 6236 6533	1428 5 –

Übersicht über die Volumina radioaktiver Reststoffe in der Bundesrepublik Deutschland am 31.12.1998 (Angaben in m<sup>3</sup>, ohne ausgediente Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren)



Aufteilung des Bestandes konditionierter vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland am 31.12.1998 (Gesamtvolumen: 60 895 m<sup>3</sup>)

# Das Bergwerk zur Erkundung des Salzstocks Gorleben

Die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben wurde 1999 in eingeschränktem Umfang fortgesetzt. Das seit 1995 auf der 840-m-Sohle laufende Erkundungsprogramm hat zum Ziel, durch Streckenauffahrungen und Erkundungsbohrungen die für eine standortspezifische Eignungsaussage notwendigen Daten und Kenntnisse des strukturellen Aufbaus der Endlagerformation zu gewinnen. Der erste Erkundungsbereich in nordöstlicher Richtung wurde weiter aufgefahren und mit der Erkundung seines östlichen Grenzbereichs durch Bohrungen begonnen. Begleitend wurde ein umfangreiches geophysikalisches Messprogramm durchgeführt.

Das Bundesumweltministerium hat empfohlen, wegen bestehender Zweifel an der Eignung des Salzstocks Gorle-

ben als Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle die Erkundung zu unterbrechen und weitere Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen auf ihre Eignung als Endlager für radioaktive Abfälle zu untersuchen. Ziel der Bundesregierung ist es, nach Bearbeitung der fachlichen Fragestellungen und Zweifel über das weitere Vorgehen zu entscheiden und in einem Standortvergleich auf Grundlage einer neu zu schaffenden Bewertungsbasis den endgültigen Standort unter Einbeziehung des Standortes Gorleben in transparenter und nachvollziehbarer Weise festzulegen. Gleichzeitig sollen die bisher geltenden Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen, die vom Anfang der 80er Jahre stammen, überprüft und aktualisiert werden.



*Übersichtsaufnahme  
des Erkundungsbergwerkes  
Gorleben*

# Das geplante Endlager Schacht Konrad

Die Schachtanlage Konrad ist das jüngste Eisenerzbergwerk im Raum Salzgitter. Die Eisenerzgewinnung wurde 1976 aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt. Wegen ihrer außergewöhnlichen Trockenheit wurde die Schachtanlage auf ihre grundsätzliche Eignung zur Aufnahme von radioaktiven Abfällen untersucht. Nach positivem Abschluss dieser Untersuchungen stellte die damals zuständige Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 1982 den Antrag auf Einleitung des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens. Der „Plan“ sieht vor, bis zu 650 000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung endzulagern. Diese endzulagernden radioaktiven Abfälle machen etwa 95 % aller radioaktiven Abfälle aus und sollen während einer 40- bis 80-jährigen Betriebszeit eingelagert werden.

Das noch laufende Planfeststellungsverfahren wird bis zu einer Entscheidung fortgesetzt. Mitte 1998 unterbrach

das Niedersächsische Umweltministerium (NMU) als Genehmigungsbehörde das Verfahren. Der Grund waren von den Betreibern der Atomkraftwerke jahrelang verschwiegene Kontaminationen beim Transport abgebrannter Brennelemente. Untersuchungen des BfS, die der Genehmigungsbehörde Ende 1999 vorgelegt wurden, zeigen, dass derartige Vorfälle für das Endlager Konrad nicht von Bedeutung sind und dass das geplante Einlagerungskonzept keiner Änderung bedarf.

Unabhängig vom Verlauf des Genehmigungsverfahrens wurden die erforderlichen Planungsarbeiten fortgesetzt. Die Umrüstphase soll vier Jahre dauern. Darüber hinaus wurden auch im Jahr 1999 auf der bestehenden Schachtanlage Konrad über und unter Tage alle Arbeiten ausgeführt, die der Offenhaltung der Grube und der Aufrechterhaltung der Grubensicherheit dienen.



*Tagesanlagen der  
Schachtanlage Konrad 1*

# Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM)

Die Schachanlage Bartensleben in Morsleben (Sachsen-Anhalt) ist um die Jahrhundertwende zur Salzgewinnung entstanden. Seit 1971 wurde das damals bereits stillgelegte Kali- und Steinsalzbergwerk von der ehemaligen DDR als Endlager für radioaktive Abfälle genutzt. Alle Einlagerungsbereiche liegen in etwa 500 Meter Tiefe und sind von Salzgestein umgeben. Nach der deutschen Wiedervereinigung ist die Sicherheit des ERAM erneut untersucht worden. Damals wurde festgestellt, dass ein Weiterbetrieb sicherheitstechnisch möglich sei. Die Dauer der Nutzung wurde durch eine Übergangsregelung im Atomgesetz zunächst auf den 30.06.2000 (später 30.06.2005) festgelegt.

Die Annahme radioaktiver Abfälle im ERAM wurde vom BfS im September 1998 aufgrund eines Beschlusses des Oberverwaltungsgerichts Magdeburg bis auf weiteres ausgesetzt. Im ERAM sind bis Ende September 1998 insgesamt etwa 37 000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle mit einer Gesamtaktivität von ca.  $1,7 \times 10^{14}$  Bq eingelagert worden. Eine Wiederaufnahme der Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen ist nicht beabsichtigt.

Für die geplante Stilllegung des ERAM hat das BfS die Einleitung des atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens beim Ministerium für Raumordnung und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MU LSA) beantragt. Im Rahmen des Verfahrens prüft das MU LSA auch die Umweltauswirkungen

des Vorhabens. Zu den Auswirkungen der Stilllegungsmaßnahmen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft und Landschaft sowie Kultur- und sonstige Sachgüter wird eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt. Im sogenannten Scoping-Verfahren unter Beteiligung der Fachbehörden und Umweltverbände ist erörtert und festgelegt worden, welche Umweltuntersuchungen durchzuführen sind. Die untere Naturschutzbehörde hat in einer gutachterlichen Stellungnahme die voraussichtlichen Auswirkungen bewertet und Lösungsmöglichkeiten dargestellt.

Die Schwerpunkte der Arbeiten für das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung lagen 1999 bei der Erarbeitung von Stilllegungskonzepten und Sicherheitsanalysen. Nach Abschluss dieser Arbeiten folgt die konkrete Betriebsplanung der für die Stilllegung benötigten übertägigen und untertägigen Anlagen.

Im Rahmen der umfangreichen Verfüll- und Verschleißmaßnahmen für die Stilllegung des ERAM sind Maßnahmen zur Stabilisierung und Abdichtung von Teilen des Grubengebäudes geplant.

Die Stilllegungsmaßnahmen werden so konzipiert und umgesetzt, dass die Einhaltung der gesetzlichen Schutzziele nachgewiesen werden kann.



Endlager für radioaktive Abfälle  
Morsleben (ERAM)

# Transport und Zwischenlagerung

Bei der Neuorientierung der Energiepolitik und bei der Erarbeitung des nationalen Entsorgungsplans spielen die Transporte und die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente eine wichtige Rolle. Aufgabe des BfS als Genehmigungsbehörde ist insbesondere die Gewährleistung der Sicherheit bei Transport und Lagerung von Kernbrennstoffen.

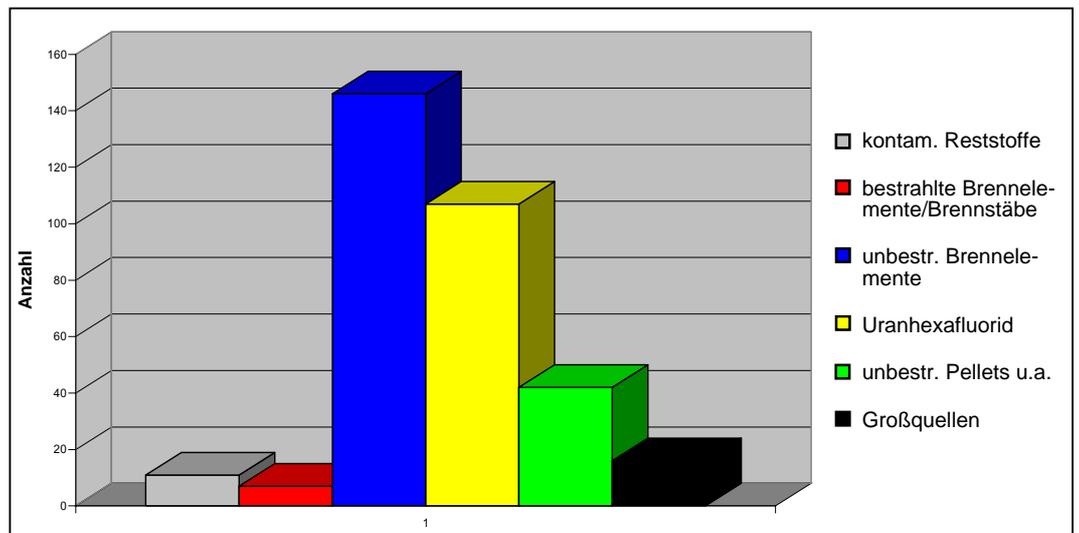
Für den Transport radioaktiver Stoffe hat der Gesetzgeber, sowohl im Rahmen des Atomrechts als auch im Rahmen des Gefahrgutrechts, entsprechende Vorschriften erlassen. Zweck der verkehrs- und atomrechtlichen Vorschriften ist es, die mit der Beförderung radioaktiver Stoffe verbundenen Gefahren und schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung für Leben, Gesundheit und Sachgüter auszuschließen bzw. auf ein vertretbares Maß zu reduzieren.

Bis zum Jahresende 1999 wurden beim BfS neue Anträge für die Errichtung standortnaher Zwischenlager an den Kraftwerksstandorten Biblis, Brokdorf, Brunsbüttel, Grohnde, Krümmel, Neckarwestheim, Philippsburg, Stade und Unterweser gestellt. Die Anträge auf standortnahe

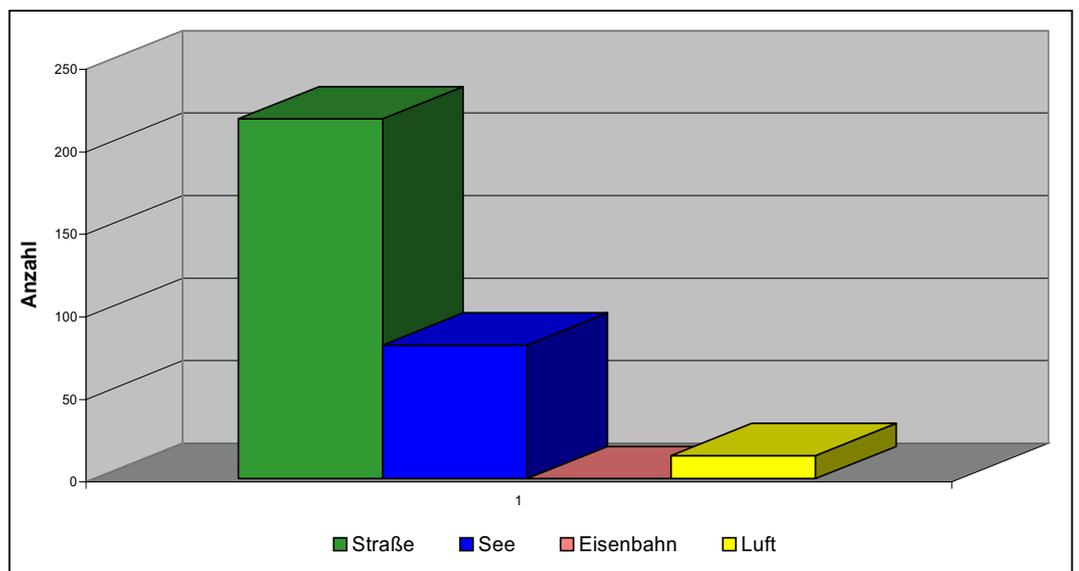
Zwischenlager dienen der Vorbereitung der direkten Endlagerung der abgebrannten Brennelemente. Durch die beiden Entsorgungsschritte standortnahe Zwischenlagerung und direkte Endlagerung werden die mit der Wiederaufarbeitung verbundenen Gefahren und radioaktiven Belastungen der Umgebung vermieden sowie die Zahl der notwendigen Transporte minimiert.

## Transport radioaktiver Stoffe – Atomrechtliche Beförderungsgenehmigungen und verkehrsrechtliche Zulassungen

Gemäß § 23 AtG ist das BfS zuständige Genehmigungsbehörde für die Erteilung von Beförderungsgenehmigungen für Kernbrennstoffe (§ 4 AtG) und für Großquellen (§ 8 StrlSchV). Im Jahr 1999 wurden insgesamt 137 Genehmigungen zum Transport von Kernbrennstoffen und 15 Genehmigungen für Großquellen erteilt. Durch-



Kernbrennstoff- und Großquellentransporte 1999



Kernbrennstofftransporte 1999 (in Abhängigkeit vom Verkehrsträger)

geführt wurden 1999 insgesamt 329 Transporte von Kernbrennstoffen und Großquellen.

Transporte von Kernbrennstoffen und Großquellen sind – entsprechend einer Festlegung in den Beförderungsgenehmigungen – mindestens 48 Stunden vor deren Beginn – den zuständigen Aufsichtsbehörden der Länder zu melden.

Die Abbildungen (Seite 43) zeigen die Anzahl der Transporte – in Abhängigkeit vom zu transportierenden Material und in Abhängigkeit vom verwendeten Verkehrsträger. Bei den transportierten bestrahlten Brennelementen handelt es sich um solche aus Forschungsreaktoren. Sie unterliegen nicht dem Transportstopp für bestrahlte Brennelemente aus deutschen Atomkraftwerken. Diese Transporte wurden im Mai 1998 ausgesetzt, nachdem radioaktive Verunreinigungen an den Außenflächen der Behälter und an den verwendeten Transportmitteln bekannt geworden waren. Bei den jahrelang verschwiegenen Kontaminationen wurden die zulässigen Grenzwerte zum Teil massiv überschritten. Da die zuverlässige Einhaltung der Grenzwerte, die von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) wiederholt als sinnvoll und einhaltbar bezeichnet wurden, lange Zeit nicht nachgewiesen werden konnte, fanden 1999 keine Transporte abgebrannter Brennelemente und hochradioaktiver Glaskokillen statt. Allerdings gingen erste Anträge auf Transporte von abgebrannten Brennelementen in das Zwischenlager Ahaus und in die ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague (Frankreich) und Sellafield (Großbritannien) ein. Auch ein Rücktransport von verglasten hochradioaktiven Abfällen aus Frankreich zum Zwischenlager Gorleben wurde beantragt. Alle Anträge waren 1999 noch nicht entscheidungsreif.

Das BfS ist außerdem gemäß den gefahrgutrechtlichen Vorschriften zuständig für die Zulassung von sogenannten Typ B-Transportbehältern (Typ B-Versandstücken) für radioaktive Stoffe und von Versandstücken für spaltbares Material sowie für die Anerkennung ausländischer Zulassungen und die Erteilung verkehrsrechtlicher Beförderungsgenehmigungen. 1999 wurden insgesamt 61 dieser Zulassungen und Anerkennungen erteilt und 24 verkehrsrechtliche Beförderungsgenehmigungen ausgestellt.

Im Zusammenhang mit der Zulassung von Typ B(U)-Transportbehältern wurde 1999 im Rahmen der Qualitätssicherung bei der Fertigung von Transport- und Lagerbehältern der Bauarten CASTOR festgestellt, dass die Ausdehnungskoeffizienten der Moderatorstäbe aus Polyäthylen falsch bestimmt waren. Moderatorstäbe dienen der Abschirmung der Neutronenstrahlung. Die Ausdehnungskoeffizienten wurden experimentell neu ermittelt. Alle CASTOR-Bauarten mit Moderatorstäben in Längsbohrungen in der Behälterwand wurden daraufhin überprüft, ob die Volumenreserven zur Ausdehnung der Moderatorstäbe bei Erwärmung ausreichend sind. Die Untersuchung führte zu einer Verringerung der zulässigen Wärmeleistung bei den Behälter-Bauarten CASTOR

V/19 und CASTOR V/52. Die verkehrsrechtlichen Zulassungen wurden entsprechend angepasst.

## Aufbewahrung von Kernbrennstoffen

Für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente waren 1999 zwei Ereignisse von Bedeutung. Das BfS genehmigte die Aufbewahrung bestrahlter Brennelemente aus den stillgelegten Kernkraftwerken Greifswald (KGR) und Rheinsberg (KKR) im Zwischenlager Nord (ZLN) in Rubenow am Standort des KGR. Am Standort des niedersächsischen Kernkraftwerks Emsland (KKE) in Lingen wurde im Rahmen des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens für ein dort geplantes standortnahes Zwischenlager die Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt.

## Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat am 5. November 1999 die Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord erteilt. Antragsteller für dieses Zwischenlager waren die Zwischenlager Nord GmbH und die Energiewerke Nord GmbH. Die Genehmigung ist auf die Aufbewahrung bestrahlter Kernbrennstoffe und sonstiger radioaktiver Stoffe beschränkt, die sich am 30.06.1995 in den stillgelegten Kernkraftwerken Greifswald (KGR) und Rheinsberg (KKR) sowie im Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff (ZAB) in Lubmin befanden.

Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, die seit 1990 stillgelegten KGR und KKR vollständig abzubauen. Die Standorte Greifswald und Rheinsberg können zukünftig für andere industrielle Ansiedlungen genutzt werden. Geplant ist am Standort Greifswald unter anderem der Bau von zwei Gaskraftwerken für mehr als 2 Milliarden DM mit einer Endausbauleistung von je rund 1200 Megawatt und insgesamt etwa 400 Arbeitsplätzen.

Die Genehmigung gestattet, Kernbrennstoffe aus Druckwasserreaktoren östlicher Bauart in Form von bestrahlten Brennelementen und Regelement-Brennstoffteilen aufzubewahren. Genehmigt ist auch die Lagerung von Absorber- und Abschirmelementen sowie von Havarie-Schutzabsorbieren. Auf höchstens 80 Stellplätzen in der Lagerhalle des Transportbehälterlagers können für eine maximale Dauer von 40 Jahren die CASTOR 440/84-Behälter aufbewahrt werden. Die Behälter besitzen ein Doppeldeckelsystem analog zu anderen Transport- und Lagerbehältern. Während der Lagerung sind alle Behälter an ein Behälter-Überwachungssystem angeschlossen.

Die Genehmigung begrenzt das einzulagernde Inventar auf maximal  $7,5 \times 10^{18}$  Bq, 600 kW Wärmeleistung und 585 Mg (Tonnen) Schwermetall. Diese Parameter konnten wegen der bereits erfolgten Stilllegung der Kernkraftwerke Rheinsberg und Greifswald eindeutig festgelegt werden.

Sie begrenzen die Einlagerung allein auf abgebrannte Brennelemente aus den beiden stillgelegten ostdeutschen Kernkraftwerksstandorten. Die Genehmigung umfasst nicht die Lagerung von Brennelementen aus den alten Bundesländern oder von hochradioaktiven Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung im Ausland.

Die vorgesehene Trockenlagerung im Transportbehälterlager bietet gegenüber der jetzt praktizierten Nasslagerung in den Wasserbecken des ZAB mehrere Vorteile. Sie benötigt grundsätzlich keine Kühlsysteme zur Abfuhr der auftretenden Wärme, verringert die radioaktiven Abgaben in Luft und Wasser und reduziert die Folgen eines unterstellten Flugzeugabsturzes.

Das Transportbehälterlager liegt auf dem Gelände der Energiewerke Nord GmbH, so dass die Transporte der CASTOR-Behälter nicht über öffentliche Verkehrswege führen. Über die Aufbewahrung und die Transporte der CASTOR-Behälter aus dem KKR in Rheinsberg in das Transportbehälterlager, die zum Teil bereits beladen wurden, entscheidet das BfS gesondert.

Die jetzt genehmigte Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente am Standort des ehemaligen Kernkraftwerkes Greifswald steht im Einklang mit den Überlegungen zum nationalen Entsorgungsplan. Dieser Plan soll sowohl die standortnahe Zwischenlagerung abgebrannter Kernbrennstoffe als auch die Verfügbarkeit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle ab dem Jahr 2030 mit der Möglichkeit der direkten Endlagerung umfassen.

## Standortzwischenlager Lingen

Die Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH hatte beim Bundesamt für Strahlenschutz im Dezember 1998 einen Antrag auf Genehmigung eines Standort-Zwischenlagers zur Aufbewahrung von bestrahlten Brennelementen und sonstigen radioaktiven Stoffen gestellt. Das BfS hat das Vorhaben im Sommer 1999 in regionalen Tageszeitungen sowie im Bundesanzeiger öffentlich bekannt gemacht.

Der Antrag, die Kurzbeschreibung und der Sicherheitsbericht zum Vorhaben wurden in der Zeit vom 2. August 1999 bis 1. Oktober 1999 sowohl im Dienstgebäude des BfS in Salzgitter als auch beim Bauordnungsamt der Stadt Lingen ausgelegt. Damit erhielt die Öffentlichkeit die Möglichkeit, sich über das Vorhaben zu informieren und Einwendungen vorzubringen.

Insgesamt wurden gegen das Vorhaben ca. 3300 Einwendungen erhoben. Mit einer Aktion vor dem Dienstgebäude des BfS in Salzgitter protestierte die Umweltschutzorganisation Robin Wood gegen das Vorhaben.

Nach Vorstellung des Betreibers sollen im geplanten Zwischenlager bestrahlte Brennelemente aus dem Betrieb des Kernkraftwerkes Emsland auf 130 Stellplätzen in entsprechend geeigneten Behältern aufbewahrt werden. In



Protestaktion der Umweltschutzorganisation Robin Wood vor dem Dienstgebäude des BfS in Salzgitter gegen das geplante Standort-Zwischenlager Lingen

einem ersten Schritt wird die Eignung des Lagers zur Aufnahme von Behältern der Bauart CASTOR V/19 geprüft. Im Übrigen sind auch radioaktive Abfälle aus dem Kontrollbereich des Standort-Zwischenlagers sowie leere, innen kontaminierte Behälter und Prüfstrahler zur Aufbewahrung vorgesehen. Der Umfang der aufzubewahrenden Kernbrennstoffe ist mit 1500 Mg (Tonnen) Schwermetall und einem Gesamt-Aktivitätsinventar von  $10^{20}$  Bq beantragt. Beantragt ist eine maximale Lagerzeit von jeweils 40 Jahren für jeden Behälter ab dem Zeitpunkt der Einlagerung.

Die geplante Halle soll etwa 110 m lang, ca. 30 m breit und 20 m hoch werden. Die von den Brennelementen ausgehende Nachzerfallswärme ist auf 5 MW begrenzt. Sie soll von der Behälteroberfläche über die Hallenluft an die Außenluft abgeführt werden. Die von den Brennelementen ausgehende Strahlung wird von den Behältern weitestgehend abgeschirmt werden. Durch die Betonstruktur des Lagergebäudes wird sie weiter reduziert.

Der Erörterungstermin hat vom 15. bis 20. Dezember 1999 in den Emslandhallen Lingen stattgefunden. Um auch Berufstätigen die Teilnahme zu erleichtern, wurde erstmals auch am Samstag verhandelt. Unter Berücksichtigung der vorgebrachten Einwendungen wird das BfS anhand der vorgelegten Unterlagen prüfen, ob die Genehmigungsvoraussetzungen erfüllt sind.

# Publikationen

## BfS-Berichte

BfS-ET-28/99

*Brennecke, P.; Hollmann, A.*

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland.

Abfallerhebung für das Jahr 1996.

Salzgitter, Juli 1999

BfS-ET-29/99

*Brennecke, P.; Hollmann, A.*

Anfall radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland.

Abfallerhebung für das Jahr 1997.

Salzgitter, August 1999

BfS-ISH-184/99

*Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Petrova, K.*

Occupational Radiation Exposure in Central and Eastern European Countries

– ESOREX EAST –

Proceedings of an Introductory Workshop held in Prague,

September 24th–25th, 1998

Co-organised by: State Office for Nuclear Safety (SUJB),

The Czech Republic.

Freiburg, Februar 1999

BfS-ISH-185/99

*Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Donhärl, W.*

Strahlenschutzforschung – Programmreport 1998.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, April 1999

BfS-ISH-186/99

*Schaller, G.; Bleher, M.; Poschner, J.*

Herleitung von Dosiskonversionsfaktoren für die Freigabe von Abfällen mit geringfügiger Radioaktivität.

Neuherberg, Mai 1999

BfS-ISH-187/99

*Wirth, E.; Pohl, H.*

Kolloquium

Radioökologische Strahlenschutzforschung

Ressortforschungsprogramm des BMU

3. und 4. Mai 1999

Neuherberg, August 1999

BfS-KT-22/99

*Engel, K.; Gersinska, R.; Kociok, B.*

Viertes Expertengespräch zum BMU/BfS-Konzept „Mensch-Maschine-Wechselwirkung in Kernkraftwerken“ am 14. und 15. April 1999 beim

Bundesamt für Strahlenschutz in Salzgitter.

Salzgitter, April 1999

BfS-KT-23/99

*Berg, H. P.; Schaefer, Th.*

Current Level 1 PSA.

Practices in Germany.

Salzgitter, Oktober 1999

BfS-ST-16/99

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Berlin, März 1999

## Hinweis:

BfS-Berichte sind kostenpflichtig und werden vertrieben vom

Wirtschaftsverlag NW/Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

Bürgermeister-Smidt-Str. 74–76

27568 Bremerhaven

Tel. (04 71) 9 45 44-0

## Ausgewählte externe Publikationen

*Adam, LE.; Karp, JS.; Brix, G.*

Investigation of Scattered Radiation in 3D Whole-Body Positron Emission Tomography Using Monte-Carlo Simulations

Phys Med Biol, (1999) 44, S. 2879–2895

*Baatout, S.; Jacquet, P.; Jung, T.; Hain, J.; Michaux, A.; Buset, J.; Vandecasteele, C.; De Saint-Georges, L.; Baugnet-Mahieu, L.*

Histone H1 kinase activity in one-cell mouse embryos blocked in the G2 phase by X-irradiation

Anticancer Res Mar-Apr, 19 (2A), 1999, S. 1093–1100

*Bayer, A.; Korn, H.; Bittner, S.*

Organización de la Respuesta en el Exterior ante Emergencias Nucleares en Alemania

Radioprotección No 21, Vol. VII, 14–22 (1999)

*Boffetta, P.; Nyberg, F.; Agudo, A.; Benhamou, E.;*

*Jöckel, KH.; Kreuzer, M.; Merletti, F.; Pershagen, G.; Pohlabeln, H.;*

*Simonato, L.; Wichmann, H. E.; Saracci, R.*

Risk of lung cancer from exposure to environmental tobacco smoke from cigars, cigarillos and pipe

Int J Cancer, 1999, 83, S. 805–806

*Boffetta, P.; Pershagen, G.; Jöckel, KH.; Forastiere, F.; Gaborieau, V.; Heinrich, J.; Jahn, I.; Kreuzer, M.;*

*Merletti, F.; Nyberg, F.; Rösch, F.; Simonato, L.*

Cigar and pipe smoking and lung cancer risk: a multicentre study from Europe

J Natl Cancer Inst 1999, 91 (8), S. 697–701

*Bohris, C.; Schreiber, W.; Jenne, J.; Simiantonakis, I.; Rastert, R.; Zabel, H.J.; Huber, P.; Bader, R.; Brix, G.*

Quantitative MR Temperature Monitoring of High-Intensity Focused Ultrasound Therapy

Magn Reson Imaging, (1999) 17, S. 603–610

*Brix, G.; Adam, E.; Zaers, J.; Trojan, H.; Bellemann, ME.; Noßke, D.; Doll, J.*

Reduktion der Strahlenexposition bei PET-Untersuchungen durch Datenakquisition im 3D-Modus

Nuklearmedizin, (1999) 38, S. 75–79

*Brix, G.; Bahner, M.; Hoffmann, U.; Horvath, A.; Schreiber, W.*

Regional Blood Flow, Capillary Permeability, and Compartment

Volumes: Measurement with Dynamic Computed Tomography – Initial Experience

Radiology, (1999) 210, S. 269–276

*Brix, G.; Bellemann, ME.; Gerlach, L.; Haberkorn, U.*

Direct Detection of Intratumoral 5-Fluorouracil Trapping Using Metabolic <sup>19</sup>F Imaging

Magn Reson Imaging, (1999)17, S. 151–155

- Brix, G.; Bellemann, ME.; Haberkorn, U.  
Biochemical Modulation of the Catabolism and Tissue Uptake of the Anticancer Drug 5-Fluorouracil by 5-Bromovinyluracil: Assessment with Metabolic <sup>19</sup>F MR Imaging  
Magn Reson Med, (1999) 42, S. 936–943
- Brix, G.; Haberkorn, U.; Bellemann, ME.  
Metabolische <sup>19</sup>F-MRT und dynamische <sup>18</sup>F-PET zum Chemotherapie-monitoring in experimentellen Tumoren  
Z Med Physik, (1999) 9, S. 5–13
- Brix, J.; Wettemann, H.; Scheel, O.; Matthes, R.  
Individuelle Magnetfeld-Expositionen bei 50 und 16 2/3 Hz in einer repräsentativen Gruppe der bayerischen Bevölkerung  
Elektromog-Report 5 (1999), S. 1–2
- Brüske-Hohlfeld, I.; Mohner, M.; Ahrens, W.; Pohlabein, H.; Kreienbrock, L.; Kreuzer, M.; Jöckel, KH.; Wichmann, H. E.  
Lung cancer risk in workers occupationally exposed to diesel motor emissions  
Am J Ind Med, 1999; 36, S. 405–414
- Burkart, W.; Jung, T.; Fräsch, G.  
Damage pattern as a function of radiation quality and other factors  
C R Acad Sci kl Feb-Mar, 322(2–3), 1999, S. 89–101
- Crompton, N. E. A.; Sigg, M.; Burkart, W.  
Enhanced transformation of mice, men and inhomogeneous radiation fields  
Radiat. Res. 151(4), 1999, S. 504–505
- Dalheimer, A.; Henrichs, K.  
The German guidelines for incorporation monitoring – need for revision  
Kerntechnik 64, (1999) 1–2, S. 61–63
- Dalheimer, A.; Kaul, A.; Liebermann, D.; Spiethoff, A.; van Kaick, G.; Wesch, H.  
Dose calculation to gall bladder and pancreas,  
Radiation Research 152, (1999) 6, S. S165–S166
- Gomolka, M.; Luke, G.; Konhauser, E.; Hetzl, K.; Schindewolf, C.; Lobenwein, K.; Hornhardt, S.; Balling, R.; Hrabe de Angelis, M.; Jung, T.  
Variability in repair efficiencies of radiation-induced DNA strand breaks in two DNA/2 mouse lymphoma cell lines  
Neoplasma, 46, Supplement, 1999, S. 50–52
- Grosche, B.  
1999: Leukämievorkommen in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen  
In:  
Wichmann, H. E.; Schlipköter, H.-W.; Füllgraff, G. (Hrsg.)  
Handbuch Umweltmedizin  
15. Erg.Lfg. (4/99)
- Grosche, B.; Lackland, D.; Mohr, L.; Dunbar, J.; Nicholas, J.; Burkart, W.; Hoel, D.  
Leukaemia in the vicinity of two tritium releasing nuclear facilities: a comparison of the Kruemmel site, Germany, and the Savannah River Site, South Carolina, USA  
J Radiol Prot 19, 1999, S. 243–252
- Huber, P.; Peschke, P.; Brix, G.; Hahn, EW.; Lorenz, A.; Tiefenbacher, U.; Wannemacher, M.; Debus, J.  
Synergistic Interaction of Ultrasonic Shock Waves and Hyperthermia in the Dunning Prostate Tumor R3327-AT1  
Intern J Cancer, (1999) 82, S. 84–91
- Jahn, I.; Ahrens, W.; Brüske-Hohlfeld, I.; Kreuzer, M.; Möhner, M.; Pohlabein, H.; Wichmann, H.E.; Jöckel, KH.  
Occupational risk factors for lung cancer in women: Results of a case-control study in Germany  
Am J IndMed, 1999, 36, S. 90–100
- Kissel, J.; Port, R.; Zaers, J.; Bellemann, ME.; Strauss, LG.; Haberkorn, U.; Brix, G.  
Noninvasive Determination of the Arterial Input Function of an Anti-cancer Drug from Dynamic PET Scans Using the Population Approach  
Med Phys, (1999) 26; S. 609–615
- Knopp, MV.; Weiss, E.; Sinn, HP.; Mattern, J.; Junkermann, H.; Radeleff, J.; Magener, A.; Brix, G.; Delorme, S.; Zuna, I.; van Kaick, G.  
Pathophysiological Basis of Contrast Enhancement in Breast Tumors  
J Magn Reson Imaging, (1999) 10, S. 260–266
- König, W.; Amannsberger, K.; Collin, W.  
Kernenergie: Transportminimierung, -sicherheit, Zwischenlagerung  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 49. Jg. (1999) Heft 9
- Korn, H.; Bayer, A.; Bittner, S.  
Nuclear emergency preparedness in Germany – an introduction  
Part II: Off-site emergency management  
Kerntechnik 64, 101–106 (1999)
- Kreuzer, M.; Grosche, B.; Brachner, A.; Martignoni, K.; Schnelzer, M.; Schopka, H.J.; Brüske-Hohlfeld, I.; Wichmann, H. E.; Burkart, W.  
The German uranium miners cohort study: feasibility and first results  
Rad Res 152, 1999, S. 56–58
- Kreuzer, M.; Kreienbrock, L.; Müller, KM.; Gerken, M.; Wichmann, H. E.  
Histologic types of lung carcinoma and age at onset  
Cancer 1999; 85, S. 1958–1965
- Kreuzer, M.; Pohlabein, H.; Ahrens, W.; Kreienbrock, L.; Brüske-Hohlfeld, I.; Jöckel, KH.; Wichmann, H. E.  
Occupational risk factors for lung cancer in young males  
Scand J Work Environ Health, 1999, 25, S. 423–430
- Lehmann, R.  
Grundbegriffe, Quellen, Meßmethoden  
Umweltbelastung Radon, Journalistenseminar der Information Umwelt, Band 25,  
Oktober 1999, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
- Matthes, R.  
Rapporteur Report: Sources and Exposure Metrics for ELF Epidemiology (Part I)  
Radiation Protection Dosimetry 83 (1–2): 83–86, 1999
- Port, RE.; Knopp, MV.; Hoffmann, U.; Zabel, S.; Brix, G.  
Multicompartment Analysis of Gadolinium Chelate Kinetics: Blood-Tissue Exchange in Mammary Tumors as Monitored by Dynamic MR Imaging  
J Magn Reson Imaging, (1999) 10, S. 233–241
- Pressl, S.; Edwards, A.; Stephan, G.  
The influence of age, sex and smoking habits on the background level of fish-detected translocations  
Mutation Research 442 (1999), S. 89–95
- Renaud, P.; Stapel, R.; Maubert, H.; Bleher, M.; Wirth, E.  
Comparative study of the PARK and ASTRAL post accident decision support software  
Health Physics 76 (1999), S. 502–509
- Rühm, W.; König, K.; Bayer, A.  
Long-term follow-up of the Cs-137 body burden of individuals after the Chernobyl accident – A means for the determination of biological half-lives  
Health Physics 77, 373–283 (1999)
- Rühm, W.; Yoshida, S.; Muramatsu, Y.; Steiner, M.; Wirth, E.  
Distribution patterns for stable <sup>133</sup>Cs and their implications with respect to the long-term fate of radioactive <sup>133</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in a semi-natural ecosystem  
J. Environ. Radioactivity 45 (1999), S. 253–270

- Scharf, J.; Zapletal, C.; Hess, T.; Hoffmann, U.; Mehrabi, A.; Mihm, D.; Hoffmann, V.; Brix, G.; Kraus, T.; Richter, GM.; Klar, E.  
Assessment of Hepatic Perfusion in Pigs by Pharmacokinetic Analysis of Dynamic MR Images  
J Magn Reson Imaging, (1999) 9; S. 568–572
- Schindewolf, C.; Lobenwein, K.; Luke, G.; Gomolka, M.; Soewarto, D.; Fella, C.; Balling, R.; R.; Hrabe de Angelis, M.; Jung, T.  
Development and characterisation of mouse models for the determination of the genetic components of radiation sensitivity  
Neoplasma, 46, Supplement, 1999, S. 38–39
- Schmidlin, P.; Bellemann, ME.; Brix, G.  
Subsets and Overrelaxation in Iterative Image Reconstruction  
Phys Med Biol, (1999) 44; S. 1385–1396
- Shoikhet, YN.; Kiselev, VI.; Zaitsev, EV.; Kolyado, IB.; Konovalov, BY.; Bauer, S.; Grosche, B.; Burkart, W.  
A register for exposure and population health in the Altai region affected by fall-out from the Semipalatinsk Nuclear Test Site  
Radiat Environm Biophys 38, 1999, S. 207–210
- Stephan, G.; Pressl, S.  
Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes from healthy subjects as detected in first cell division  
Mutation Research 446 (1999), S. 231–237
- Tofts, PS.; Brix, G.; Buckley, DL.; Evelhoch, JL.; Henderson, E.; Knopp, MV.; Larsson, HBW; Lee, TY.; Mayr, NA.; Parker, GJM; Port, RE.; Taylor, J.; Weisskoff, RM.  
Estimating Kinetic Parameters from Dynamic Contrast-Enhanced T1-Weighted MRI of a Diffusible Tracer:  
A Common Global Language for Standardised Quantities and Symbols  
J Magn Reson Imaging, (1999) 10, S. 223–232
- Trusin, S.; Diemer, S.; Fuß, W.; Kompa, K. L.; Schmid, W. E.  
Femtosecond dynamics of hydrogen migration and internal conversion in cycloheptatriene and derivatives studied by intense field dissociative ionization  
Phys Chem Chem Phys 1: 1431–1440, 1999
- Uchida, S.; Tagami, K.; Wirth, E.; Rühm, W.  
Concentration levels of technetium-99 in forest soils collected within the 30-km zone around the Chernobyl reactor  
Environmental Pollution 105 (1999), S. 75–77
- Uchida, S.; Tagami, K.; Rühm, W.; Wirth, E.  
Determination of Tc-99 deposited on the ground within the 30-km zone around the Chernobyl reactor and estimation of Tc-99 released into the atmosphere by the accident  
Chemosphere 39 (1999), S. 2757–2766
- Van Kaick, G.; Dalheimer, A.; Hornik, S.; Kaul, A.; Liebermann, D.; Lührs, H.; Spiethoff, A.; Wegener, K.; Wesch, H.  
The German Thorotrast study: Recent results and assessment of risks  
Radiation Research 152, (1999) 6, S. S64–S71
- Wegmann, K.; Zaers, J.; Livieratos, L.; Adam, LE.; Bailey, DL.; Brix, G.  
Investigation of the Scatter Contribution in Single Photon Transmission Measurements by Means of Monte Carlo Simulations  
IEEE Trans Nucl Sci, (1999) 46, S. 1184–1190
- Weiss, W.  
Das globale Radioaktivitätsmessnetz zur Verifikation des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBT)  
Strahlenschutzpraxis, Heft 3/99, (1999), S. 26–30
- Weiss W.; Leeb, H.  
Ionisierende Strahlung – Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland  
In:  
Wichmann, H. E.; Schlipköter, H.-W.; Füllgraff, G. (Hrsg.)  
Handbuch Umweltmedizin  
15. Erg.Lfg. (4/99)
- Weiss, W.; Sartorius, H.  
Die Pegel der radioaktiven Edelgase <sup>85</sup>Kr und <sup>133</sup>Xe der Luft und deren Interpretation  
Strahlenschutzpraxis, Heft 3/99, (1999), S. 18–21
- Wjst, M.; Fischer, G.; Immervoll, T.; Jung, M.; Saar, K.; Rueschendorf, F.; Reis, A.; Ulbrecht, M.; Gomolka, M.; Weiss, EH.; Jaeger, L.; Nickel, R.; Richter, K.; Kjellman, NI.; Griese, M.; von Berg, A.; Gappa, M.; Riedel, F.; Boehle, M.; van Koningsbruggen, S.; Schoberth, P.; Szczepanski, R.; Dorsch, W.; Silbermann, M.; Wichmann, H. E. et al.  
A genome-wide search for linkage to asthma. German Asthma Genetics Group  
Genomics May 15; 58(1), 1999, S. 1–8



Berlin



Salzgitter



Oberschleißheim  
(Neuherberg)