



DER REAKTORUNFALL 1986 IN TSCHERNOBYL

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 10 01 49
D - 38201 Salzgitter
Telefon: + 49 (0) 30 18333 - 0
Telefax: + 49 (0) 30 18333 - 1885
E-Mail: ePost@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Bildrechte: svbilderdienst, picture alliance/dpa, Foto Natur,
Linie Werbeagentur GmbH, Martin Storz/graffiti/Greenpeace,
Energiewerke Nord GmbH, BfS, BMU, EU, EBWE, ChNPP

Druck: Bonifatius GmbH

Stand: März 2016
5. aktualisierte Auflage

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

ClimatePartner^o
klimateutral

Druck | ID53323-1601-1009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Einleitung	4
Umweltfolgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl	8
Gesundheitsfolgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl	12
Notfallschutz - Welche Konsequenzen in Deutschland gezogen wurden	19
Der Reaktorunfall in Tschernobyl und seine Folgen für deutsche Kernkraftwerke	27
Maßnahmen der Bundesregierung zur Verbesserung der Sicherheit von Kernkraftwerken sowjetischer Bauart	30
Internationale Maßnahmen zur Unterstützung der Ukraine bei der Stilllegung des KKW Tschernobyl	32
Erfahrungen und Erinnerungen aus Ost und West	36

Vorwort

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

als vor rund 30 Jahren erste Meldungen und Bilder über einen Störfall im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl bekannt wurden, herrschte zunächst Unsicherheit über das, was passiert war. Erst nach und nach gaben staatliche Stellen Bewertungen über das Ereignis ab. Die durch politische Rahmenbedingungen ohnehin dünne Informationslage wurde für die Bevölkerung in Deutschland zusätzlich diffus, da verschiedene staatliche Stellen unterschiedliche Verhaltensempfehlungen abgaben. Die Bürgerinnen und Bürger mussten sich zwischenzeitlich die Frage stellen, welcher von den zum Teil widersprüchlichen Informationen sie mehr Glauben schenken sollten.

Es war ein Zusammenspiel von Bedienfehlern und konstruktionsbedingten Mängeln des Kernkraftwerks Tschernobyl, die zu einer Kernschmelze sowie einem darauf folgenden Graphitbrand im Kern des Blocks vier der Anlage führten. In der Folge gelangten erhebliche Teile des radioaktiven Inventars des Reaktors in die Umwelt. Eine Zone im Umkreis von 30 km um das Kraftwerk wurde evakuiert, rund 340.000 Menschen verloren ihr Zuhause. Tausende Menschen versuchten unter Einsatz ihres Lebens und ihrer Gesundheit die Lage zu stabilisieren, viele bezahlten mit beidem. Große Teile Europas waren in den darauffolgenden Wochen von radioaktivem Niederschlag betroffen.

25 Jahre später wurde die Menschheit ein weiteres Mal Zeuge eines Super-GAU, diesmal in Japan. Auf die Naturkatastrophe eines Tsunami folgten die Kernschmelzen von drei Reaktorkernen im Kernkraftwerk Fukushima. Auch hier gelangten erhebliche Mengen radioaktiven Materials in die Umwelt, wenn auch weit weniger als in Tschernobyl. Großflächige Evakuierungen folgten, die Dekontaminationsarbeiten dauern bis heute an. Auch wenn die unmittelbaren radiologischen Folgen geringer waren als in Tschernobyl, sind die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen gewaltig: Die Beseitigung der Reaktoren und der enormen Mengen kontaminierten Bodens, Wassers und anderen Materials wird noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

In Deutschland konnten an der hochempfindlichen Messstelle des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) auf dem Schauinsland (Baden-Württemberg) Spuren von radioaktiven Substanzen aus Fukushima nachgewiesen werden. Die Konzentration bewegte sich aufgrund der Verdünnung über die weite Strecke in einem Bereich, der Größenordnungen unter der natürlichen Strahlenbelastung in Deutschland liegt und damit gesundheitlich keine Auswirkungen hat.



Wolfram König

So unterschiedlich beide Ereignisse waren, zeigen sie doch deutlich, dass ein wirksamer Notfallschutz zwei Voraussetzungen benötigt, die sich gegenseitig bedingen:

Zum einen eine leistungsfähige und einsatzbereite Technologie, die von erfahrenen Expertinnen und Experten bedient wird. Die Systeme müssen in kürzester Zeit Informationen bereitstellen, welche die Grundlage für Entscheidungen, z. B. Handlungsempfehlungen für die Bevölkerung bilden. Mit Technologie allein ist es aber nicht getan: Es bedarf effektiver Organisationsstrukturen mit klaren Zuständigkeiten, einer nachvollziehbaren und professionellen Risikokommunikation und nicht zuletzt glaubwürdiger staatlicher Einrichtungen. Ohne die Fähigkeit, Informationen und ihre Bedeutung der Bevölkerung verständlich zu machen, hilft die hochentwickelteste Technologie zur Lageermittlung nichts. Gleiches gilt für die Glaubwürdigkeit der kommunizierenden Institutionen. Ist sie einmal verspielt, kann sie nur sehr schwer wiederhergestellt werden.

Aus Tschernobyl und Fukushima wurden auch in Deutschland sichtbare Konsequenzen gezogen: In der Folge von Tschernobyl wurde 1986 das Ministerium für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gegründet. Drei Jahre darauf folgte die Gründung des BfS, welches u. a. für eine verlässliche und einheitliche Lageermittlung im Notfall zuständig sein sollte.

Das BfS begann damit, ein Mess- und Informationssystem für Radioaktivität (Integriertes Mess- und Informationssystem, kurz IMIS) aufzubauen. In Deutschland ermitteln heute 1.800 Messsonden die radiologische Lage. Das System zeigt frühzeitig Kontaminationen an und löst im Falle erhöhter Radioaktivität Warnsysteme aus. Es bildet auch die Grundlage für Prognosen über die Ausbreitung von Radioaktivität. Auf Basis dieser Ergebnisse können im Gefahrenfall Schutzmaßnahmen beschlossen und eingeleitet werden – von Verhaltensempfehlungen bis hin zu Evakuierungen.

Nach der Katastrophe in Fukushima hat das BfS den dortigen Unfallablauf genau analysiert. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gingen der Frage nach, mit welchen radiologischen Folgen man in Deutschland zu rechnen hätte, wenn man einen Unfallablauf wie in Fukushima unterstellen würde, der sich insbesondere durch eine verhältnismäßig lange Freisetzungsdauer radioaktiven Materials auszeichnete. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts zeigten, dass die Notfallschutzmaßnahmen in Deutschland auf einen derartigen Unfall nicht eingestellt gewesen wären, weil in relativ kurzer Zeit sehr viel größere Gebiete von Radioaktivität betroffen wären, als man bisher angenommen hatte.

Diese Forschungsarbeiten des BfS bildeten u. a. die Grundlage für aktualisierte Empfehlungen der Strahlenschutzkommission im Jahr 2014 zur Überarbeitung des nuklearen Notfallschutzes in Deutschland. Diese sehen insbesondere eine Erweiterung der Planungsradien für Notfallmaßnahmen wie Evakuierung, Einnahme von Jodtabletten etc. vor. Derzeit werden die Empfehlungen von den zuständigen Stellen umgesetzt. Außerdem soll durch die Gründung eines nationalen Lagezentrums die Bündelung von entscheidungsrelevanten Informationen weiter verbessert werden.

Beide Katastrophen hatten darüber hinaus auch einen grundsätzlichen Einfluss auf den Umgang unserer Gesellschaft mit Hochrisikotechnologien: Der beschleunigte Ausstieg aus der Kernenergienutzung im Jahr 2011 ist hier nur das sichtbarste, jüngste Beispiel. Dabei dürfen wir nicht außer Acht lassen, dass im unmittelbaren europäischen Ausland Kernkraftwerke noch wesentlich länger in Betrieb bleiben werden. Es wird daher eine der zukünftigen Herausforderungen sein, nach der Abschaltung des letzten deutschen Reaktors eine ausreichende Aufmerksamkeit und die notwendige Notfallvorsorge auf einem kontinuierlich hohen Niveau sicherzustellen. Denn bei aller Unsicherheit von Zukunftsprognosen wissen wir eines mit Sicherheit: Radioaktivität macht nicht an Staatsgrenzen halt.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS stehen mit ihrer Expertise weiter dafür, die hoffentlich nie wieder benötigte Notfallvorsorge effektiv und zuver-

lässig zu betreiben. Sie werden diese auch in Zukunft kontinuierlich weiter entwickeln, um den bestmöglichen Schutz der Menschen und der Umwelt zu gewährleisten.



Wolfram König
Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz

Einleitung

Am 26. April 1986 ereignete sich im Block 4 des Kernkraftwerkes Tschernobyl in der Ukraine ein schwerer Unfall (siehe auch Seite 7). Dies führte dazu, dass während der darauf folgenden etwa 10 Tage große Mengen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre freigesetzt und über die Nordhalbkugel, insbesondere über Europa, verteilt wurden. Die sich stark verändernden meteorologischen Verhältnisse führten zu mehreren radioaktiven Wolken in unterschiedlichen Himmelsrichtungen. Die anfangs vorherrschende Luftströmung transportierte die radioaktiven Stoffe über Polen nach Skandinavien, eine zweite Wolke zog über die Slowakei, Tschechien und Österreich nach Deutschland und eine dritte Wolke erreichte schließlich die Länder Rumänien, Bulgarien, Griechenland und die Türkei (s. Abb unten).

Die daraus resultierende radioaktive Kontamination in den betroffenen Gebieten variierte erheblich in

Abhängigkeit vom Auftreten und der Stärke des Niederschlags während des Durchzugs der radioaktiven Luftmassen. In Deutschland wurde der Süden, bedingt durch heftige lokale Niederschläge, deutlich höher belastet als der Norden. Lokal wurden im Bayerischen Wald und südlich der Donau bis zu 100.000 Becquerel (Bq) Cäsium-137 pro Quadratmeter abgelagert. In der norddeutschen Tiefebene betrug die Aktivitätsablagerung dieses Radionuklids dagegen selten mehr als 4.000 Bq/m² (siehe Abb. auf Seite 5).

Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl hatte schwerwiegende radiologische, gesundheitliche und sozioökonomische Auswirkungen auf die Bevölkerung in Weißrussland, Russland und der Ukraine. In allen anderen Ländern führte dieses Ereignis, obwohl die radiologischen Folgen des Unfalls im Allgemeinen vergleichsweise gering waren, zu einer erhöhten öffentlichen

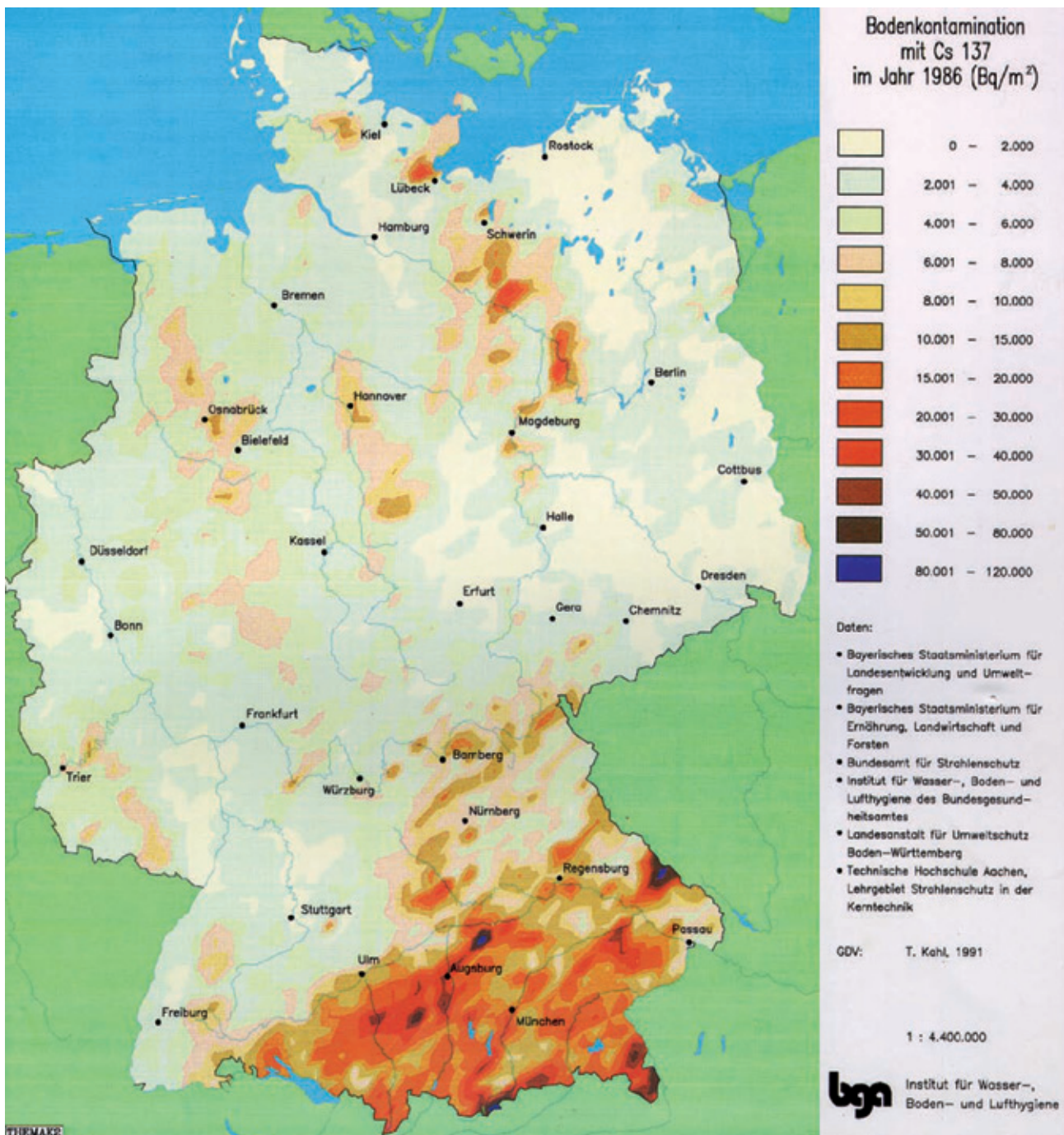


Ausbreitung der radioaktiven Wolken in der Zeit vom 27. April bis 6. Mai 1986.

Wahrnehmung der mit der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung verbundenen Risiken.

Als Reaktion auf den Reaktorunfall von Tschernobyl überarbeiteten viele Länder ihre Programme zum Schutz der Bevölkerung vor radioaktiver Strahlung, insbesondere nach nuklearen Unfällen und radiologischen Ereignissen. Nationale und internationale Notfallschutzplanungen wurden überarbeitet. International bindende Übereinkünfte für eine schnelle Benachrichtigung nach einem Unfall, für den Daten- und Informationsaustausch sowie für eine internationale Hilfestellung im Falle eines Unfalls wurden geschaffen.

Auf Bitte des Umweltministers der Ukraine um internationale Unterstützung erklärten die Umweltminister Frankreichs und Deutschlands anlässlich der Wiener IAEA-Konferenz zum 10. Jahrestag der Katastrophe von Tschernobyl im April 1996 ihre Bereitschaft, die internationale Kooperation zwischen der Ukraine, der Russischen Föderation und Weißrussland zur Aufarbeitung der noch ungelösten Aufgaben im Zusammenhang mit dem Unfall durch eine Deutsch-Französische Initiative (DFI) zu unterstützen.



Bodenkontamination Deutschlands mit radioaktivem Cäsium-137 im Jahr 1986.

Im Rahmen dieser DFI wurden gemeinsam mit dem ukrainischen "Tschernobyl-Zentrum" wissenschaftlich-technische Arbeiten zum "Sicherheitszustand des Sarkophags", zur "Radioökologie" und zu den "gesundheitlichen Folgen" durchgeführt. Ziel war es, die verfügbaren Informationen zu sammeln, aufzuarbeiten, zu überprüfen und zu bewerten sowie elektronisch für die Planung und Durchführung von Schutz- und Gegenmaßnahmen bereitzustellen. Die Ergebnisse der DFI wurden der Öffentlichkeit im Oktober 2004 in Kiew und im Rahmen des Tschernobyl-Forums im September 2005 in Wien vorgestellt.

Eine Reihe von Ländern diskutierte die Beendigung ihres Kernenergieprogramms oder stieg sogar kurzfristig aus der Nutzung der Atomenergie zur Stromerzeugung aus. Neubauten von Kernkraftwerken fanden nach 1986 in vielen die Kernenergie nutzenden Staaten – unter ihnen Deutschland – nicht mehr statt. Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl stellt nach und mit dem Unfall von Three Mile Island (Harrisburg/USA) eine Zäsur in der Geschichte der Kernenergie dar. Aus dem häufig als hypothetisch hingestellten Risiko wurde eine reale Gefahr, die von der Bevölkerung in vielen Ländern als bedrohlich empfunden wurde und in den am höchsten kontaminierten Gebieten auch heute noch wird.

Als Folge des Unfalls überarbeiteten und erweiterten viele Länder nach dem Unfall in Tschernobyl ihre

Verfahren zur Überprüfung und Verbesserung der Sicherheit von Kernkraftwerken. Darüber hinaus wurde die internationale Zusammenarbeit verstärkt, um vergleichbare Unfälle in Zukunft zu verhindern. So werden Länder, die Kernkraftwerke sowjetischer Bauart betreiben, bei der Verbesserung der Sicherheit der Anlagen sowie bei der Aus- und Weiterbildung u. a. von Reaktorpersonal aktiv unterstützt.

Nahezu 20 Jahre nach dem Unfall legte das Tschernobyl-Forum, das von der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEO), der World Health Organization (WHO) sowie weiteren Institutionen der UNO organisiert wurde und an dem Fachleute aus zahlreichen Ländern, insbesondere aus Russland, der Ukraine und Weißrussland teilnahmen, einen Bericht über die gesundheitlichen Folgen des Unfalls vor. Die Ergebnisse dieses Berichts, des UNSCEAR-Berichts von 2011, und andere Veröffentlichungen bilden die Grundlage des Kapitels zu den Gesundheitsfolgen.

Die Bilanz „Der Reaktorunfall 1986 in Tschernobyl“ gibt einen Überblick über die Umweltfolgen in Deutschland. Darüber hinaus wurden die Gesundheitsfolgen in der Umgebung von Tschernobyl und in Deutschland thematisiert. Es werden Konsequenzen im Notfallschutz, anlagentechnische Konsequenzen, Unterstützungsmaßnahmen für Länder, die Reaktoren sowjetischer Bauart betreiben, Fragen zur Reaktorsicherheit in Mittel- und Osteuropa und die Situation in Tschernobyl dargestellt.



Blick in das Innere des zerstörten Reaktorgebäudes.

Der Unfall

Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in der Ukraine ereignete sich in der Nacht vom 25. auf den 26. 04.1986 und war der bisher weltweit größte Unfall in einer kerntechnischen Anlage. Der wesentliche Ablauf wird im Folgenden kurz zusammengefasst.

Das Kernkraftwerk Tschernobyl ist mit vier graphitmoderierten Siedewasser-Druckröhren-Reaktoren mit einer elektrischen Leistung von jeweils 1.000 Megawatt (RBMK-1000) ausgerüstet. Reaktoren dieses Typs wurden ausschließlich auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion errichtet und weisen im Vergleich zu westlichen Kernkraftwerken schwerwiegende sicherheitstechnische Nachteile auf, die auch für den Unfall mitverantwortlich waren. So führt z. B. die Verwendung von Wasser als Kühlmittel und Graphit als Moderator (Material zur Verlangsamung der Neutronen) zu einem sogenannten positiven Dampfblasenkoeffizienten. Dabei führt eine durch Leistungs- und Temperatursteigerungen im Reaktor verursachte erhöhte Verdampfung des Wassers nicht zu einer Leistungsreduzierung, sondern zu weiteren und unter Umständen nicht mehr kontrollierbaren sprunghaften Leistungs- und Temperaturerhöhungen.

Der Unfall ereignete sich im Block 4 der Anlage während eines Abfahrvorganges zur Revision, d. h. eines planmäßigen langsamen Abschaltens des Reaktors zur Durchführung routinemäßiger Instandhaltungs- und Prüfarbeiten. Bei diesem Abfahrvorgang war ein zusätzliches Versuchsprogramm zur Überprüfung verschiedener Sicherheitseigenschaften der Anlage vorgesehen. Das Ziel des Versuchs war der Nachweis, dass die Anlage auch bei einem Verlust von Kühlmittel (Kühlmittelverluststörfall) und einem gleichzeitig angenommenem Ausfall der Stromversorgung (Notstromfall) beherrscht werden kann. In einem solchen Störfall kommt es zu einer sofortigen automatischen Abschaltung des Reaktors. Die mechanische Energie des auslaufenden Rotors im Turbinen-Generator-Satz muss dann ausreichen, den Strombedarf der Hauptspeisepumpen übergangsweise bereitzustellen, bis die Versorgung der Notkühlpumpen durch die Notstromdieselaggregate gewährleistet ist. Dieser Versuch wurde als rein konventioneller Versuch im Bereich der Elektrotechnik angesehen, bei dem keine Rückwirkungen auf den nuklearen Teil der Anlage erwartet wurden. Durch Unzulänglichkeiten des Versuchsprogramms, unerwartete Bedingungen während der Versuchsdurchführung, mehrere Verstöße gegen die Betriebsvorschriften sowie insbesondere die ungünstigen reaktorphysikalischen und sicherheitstechnischen Eigenschaften dieses Reaktortyps – u. a. der oben beschriebene positive Dampfblasenkoeffizient – kam es zu einer prompt überkritischen Leistungsexkursion, also einer sprunghaften und nicht mehr kontrollierbaren Leistungserhöhung. Sie führte zu einem rapiden

Anstieg der Energiefreisetzung in den Brennelementen und im Weiteren zur Zerstörung des Reaktorkerns. Die im Brennstoff gespeicherte Wärme wurde dabei sehr schnell in das umgebende Kühlmittel übertragen und führte zu dessen spontanem Verdampfen. Durch den hohen Druckaufbau kam es zu einer Explosion des Reaktors mit einer Zerstörung des Reaktorgebäudes einschließlich seines Daches und einer Vielzahl resultierender Brände. Insgesamt ist also festzustellen, dass das Zusammentreffen grundlegender Auslegungsmängel der Anlage in Verbindung mit den oben dargestellten Fehlern und Verstößen bei der Betriebsführung als Ursache für die Reaktorkatastrophe anzusehen ist.

Der Unfall hatte eine massive Freisetzung radioaktiver Kernbrennstoffe und Spaltprodukte zur Folge. Sie konnte erst nach zehn Tagen durch den Abwurf von ca. 5.000 t Sand, Lehm, Blei und Bor aus Militärhubschraubern auf die Reaktoranlage und das Einblasen von Stickstoff zur Kühlung des geschmolzenen Kernbereichs beendet werden. Die radioaktiven Edelgase Krypton und Xenon sowie das im Kern enthaltene Tritium wurden praktisch vollständig, die leichtflüchtigen Jod- und Cäsiumisotope etwa zur Hälfte bis zu einem Drittel und die schwerflüchtigen Nuklide wie Strontium und alphastrahlende Aktinide zu etwa 3 bis 4 % des Kerninventars freigesetzt. Die Aktivität der freigesetzten radioaktiven Stoffe – ohne Berücksichtigung der meist kurzlebigen Edelgase und des Tritiums – lag in der Größenordnung von 2×10^{18} Bq. Aufgrund der Explosion und der nachfolgenden Brände kam es zu Freisetzungen in große Höhen und damit zu Ausbreitungen über weite Teile Europas, u. a. bis nach Skandinavien und Großbritannien. Die örtliche Verteilung der Kontamination wurde nicht nur durch die in der zehntägigen Freisetzungsphase vorherrschenden Winde, sondern entscheidend durch die Intensität der Regenfälle in diesem Zeitraum geprägt, durch die die radioaktiven Stoffe ausgewaschen und niedergeschlagen wurden. Dementsprechend ergaben sich lokal sehr unterschiedliche Kontaminationsgrade. Am stärksten betroffen waren Gebiete in der nördlichen Ukraine, in Weißrussland und im Westen Russlands.

Umweltfolgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl

In Deutschland wurde Ende der 50er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts mit systematischen Messungen, insbesondere von radioaktivem Cäsium und Strontium, in verschiedenen Umweltmedien begonnen. Die Bundesanstalt für Ernährung (heute Max-Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel) beobachtete in allen tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln einen steilen Anstieg der Aktivität der gemessenen Radionuklide bis 1964, der auf den Niederschlag oberirdischer Kernwaffenversuche (Fallout) zurückging. Der relativ schnelle Abfall bis 1970 lässt sich durch den Rückgang der direkten Ablagerung auf Pflanzen infolge des Teststopps für oberirdische Atomwaffentests erklären. Danach reduzierten sich die Aktivitätsgehalte in der Nahrung kontinuierlich, bis 1986 der Tschernobyl-Fallout die Kontaminationen wieder deutlich erhöhte. Für die Strahlenexposition des Menschen infolge des Reaktorunfalls von Tschernobyl waren insbesondere radioaktives Cäsium (Cs-137 und Cs-134) und Jod (I-131) von Bedeutung. Heute spielt in Mitteleuropa praktisch nur noch das langlebige Cs-137 eine Rolle. Dieses Radionuklid ist auf Grund seiner Halbwertszeit von etwa 30 Jahren seit 1986 bis heute nur zu etwa der Hälfte zerfallen.

Bereits kurz nach dem Eintreffen der radioaktiven Luftmassen in Deutschland Ende April/Anfang Mai 1986 führte die direkte Ablagerung radioaktiver Stoffe auf Weideflächen und einigen wenigen erntereifen Kulturen zu hohen Gehalten von I-131 in Kuhmilch und Blattgemüse, wie beispielsweise Spinat im süddeutschen Raum. Als Reaktion darauf empfahl die Strahlenschutzkommission (SSK) Anfang Mai 1986, nur Frischmilch mit weniger als 500 Bq/l I-131 zum direk-

ten Verzehr freizugeben. Einige Bundesländer legten wesentlich strengere Maßstäbe an, beispielsweise mit der Empfehlung, Frischmilch mit Konzentrationen von I-131 oberhalb 20 Bq/l nicht zu verzehren. Wegen seiner kurzen Halbwertszeit von etwa 8 Tagen war I-131 bereits nach wenigen Wochen weitgehend zerfallen. Die gesamte Belastung durch radioaktives Jod rührte von einer Menge von weniger als 1 Gramm her, die sich über der damaligen Bundesrepublik Deutschland abgelagert hatte. Die auf der gleichen Fläche abgelagerte Menge Cäsium-137 lag nach Angaben der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF, heute HMGU, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt) bei etwa 230 Gramm.

Für einen kurzen Zeitraum empfahl die Strahlenschutzkommission aus Vorsorgegründen zusätzlich einen Richtwert von 100 Bq/kg Cs-137 für das im Freiland angebaute und zur Ernte anstehende Blattgemüse, das zu lagerfähigen Lebensmitteln weiterverarbeitet wird. Ende Mai 1986 verordnete die damalige EG (Europäische Gemeinschaft) Grenzwerte für die Einfuhr landwirtschaftlicher Erzeugnisse aus Drittländern. Diese auch heute noch gültigen Höchstwerte beziehen sich auf die Summe von Cs-137 und Cs-134 und betragen 370 Bq/kg für Milch, Milchprodukte und Kleinkinderernährung und 600 Bq/kg für alle übrigen Lebensmittel. Nach der deutschen Rechtsprechung dürfen höher kontaminierte Lebensmittel auch innerhalb Deutschlands nicht in den Verkehr gebracht werden.

Auch pflanzliche Nahrungs- und Futtermittel, die noch nicht zur Ernte anstanden, waren von der direkten

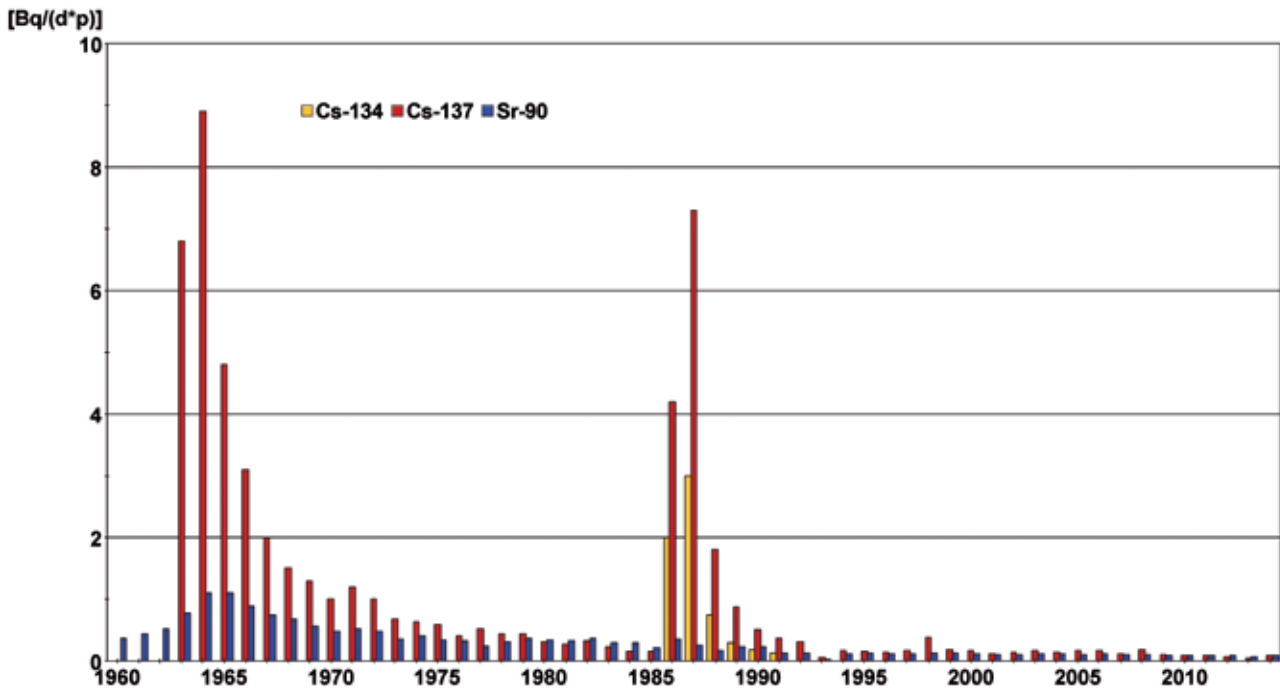
Spezifische Cs-137-Aktivität in Bq/kg Frischmasse bzw. Bq/l

	Probenzahl	Minimalwert ²⁾	Maximalwert ²⁾	Mittelwert ²⁾
Milch (Sammelmilch)	940	0,02	1,5	0,09
Fleisch (Rind, Kalb, Schwein, Geflügel)	1001	< 0,04	11,7	0,3
Blattgemüse ¹⁾	688	< 0,0001	1,3	0,09
Frischgemüse ohne Blattgemüse ¹⁾	679	< 0,01	0,4	0,06
Kartoffeln	222	< 0,02	3,7	0,09
Getreide	685	< 0,02	1,4	0,08

1) Freilandanbau

2) Wert ermittelt aus echten Messwerten (ohne Berücksichtigung von Nachweisgrenzen)

Messergebnisse aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) für landwirtschaftliche Produkte aus inländischer Erzeugung im Jahr 2014 (Stand: 3.7.2015).



Tägliche Zufuhr von Cs-137, Cs-134 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung in Bq pro Person und Tag (Daten bis 1992: Leitstelle für Nahrungsmittel, Daten ab 1993: Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS)).

Ablagerung der Radionuklide aus der Atmosphäre auf die oberirdischen Pflanzenteile betroffen. Ein großer Teil des abgelagerten Radiocäsiums (Cs-137 und Cs-134) gelangte in diesem Fall über das Blatt in die Pflanze und wurde dort verteilt. Langfristig hingegen wurde Radiocäsium im Wesentlichen über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen. Radiocäsium kann auf den mineralischen Böden vieler Ackerflächen stark an bestimmte Tonminerale gebunden werden. Dadurch steht es nur in sehr geringem Maß für die Aufnahme über die Wurzeln zur Verfügung. Landwirtschaftliche Kulturen, die erst nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl ausgesät oder angepflanzt wurden, waren bereits im Sommer 1986 pro kg nur noch mit wenigen Bq Radiocäsium kontaminiert. Auch heute liegt der Gehalt von Cs-137 in landwirtschaftlichen Produkten aus inländischer Erzeugung in dieser Höhe und darunter (siehe Tabelle auf Seite 8). In Deutschland werden mit Nahrungsmitteln aus landwirtschaftlicher Erzeugung im Mittel weniger als 80 Bq Cs-137 pro Person und Jahr aufgenommen. Einen Überblick über die tägliche Zufuhr von Cs-137, Cs-134 und Sr-90 mit der Gesamtnahrung gibt die Abbildung oben.

Ganz anders stellt sich die Situation bei Nahrungsmitteln des Waldes dar. Insbesondere bei Speisepilzen und Wildbret können auch 30 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl deutlich erhöhte Cs-137-Aktivitäten gemessen werden. Die Ursache hierfür ist der im Vergleich zu Ackerflächen andere Bodenaufbau. Wälder zeichnen sich durch sogenannte organische Auflageschichten auf den Mineralböden aus. In diesen

Schichten, die aus sich zersetzender Streu gebildet werden und reich an Bodenorganismen sind, ist Cäsium leicht verfügbar und wird schnell durch Bodenorganismen, Pilze und Pflanzen aufgenommen. Cäsium bleibt in die für nährstoffarme Ökosysteme typischen, sehr wirkungsvollen Nährstoffkreisläufe eingebunden und wandert deshalb nur langsam in die mineralischen Bodenschichten ab, wo es ähnlich wie auf landwirtschaftlichen Böden durch bestimmte Tonminerale fixiert werden kann. Der Radiocäsiumgehalt von Waldprodukten nimmt daher in der Regel nur langsam ab. Höher kontaminierte Nahrungsmittel aus dem Wald sind in den Teilen Deutschlands zu erwarten, die vom Tschernobyl-Fallout besonders betroffen waren.

Dies sind insbesondere der Bayerische Wald und die Gebiete südlich der Donau. In anderen Regionen, wie etwa dem Norden Deutschlands, sind die Aktivitätswerte wegen der geringeren Ablagerung von Radiocäsium entsprechend niedriger. Eine auch lokal sehr hohe Schwankungsbreite des Cs-137-Gehalts ist für wild wachsende Pilze und Wildbret charakteristisch.



In Maronenröhrlingen werden noch einige 100 Bq Cs-137 pro kg gemessen.

Bei wild wachsenden Speisepilzen sind nicht nur regional, sondern auch artspezifisch sehr unterschiedliche Kontaminationen festzustellen. In Semmelstopfpilzen aus Südbayern und dem Bayerischen Wald werden noch mehr als 1.000 Bq/kg Cs-137 gemessen. Maronenröhrlinge und Steinpilze können mehrere 100 Bq/kg aufweisen, bei Parasolpilzen sind es bis zu einige 10 Bq/kg.

Die Belastung von Pilzen hängt sowohl von der Cs-137-Konzentration in der Umgebung des Pilzgeflechts (Myzels) als auch vom speziellen Anreicherungsvermögen der jeweiligen Pilzart ab. Die Aktivitätswerte in Pilzen, die ihre Nährstoffe aus den oberen Bodenschichten beziehen, werden wegen der fortschreitenden Tiefenverlagerung der Radionuklide in den nächsten Jahren weiter langsam zurückgehen. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass bei einigen wenigen Pilzarten, deren Myzelien tief liegende Bodenschichten durchziehen, nahezu unveränderte oder sogar leicht erhöhte Radiocäsiumaktivitäten gemessen werden, da sich Cs-137 in diesen Schichten anreichert. Die radioaktive Belastung einer Pilzart schwankt von Standort zu Standort allerdings wesentlich stärker als die Änderungen von Jahr zu Jahr.

Wildbret ist je nach Region und Tierart sehr unterschiedlich belastet. Als Anhaltspunkt kann man davon ausgehen, dass an vergleichbaren Standorten der



Parasolpilze weisen Cs-137-Aktivitäten von bis zu einigen 10 Bq pro kg auf.

durchschnittliche Gehalt von Cs-137 im Muskelfleisch in der Reihenfolge Wildschwein, Reh und Rothirsch abnimmt. Die im Rahmen eines bundesweiten Routinemessprogramms (IMIS) erhobenen Daten erreichten im Jahr 2014 für Hirsche maximal rund 110 Bq/kg und für Rehe rund 840 Bq/kg. Die höchsten Cs-137-Aktivitäten wurden mit rund 2.500 Bq/kg im Muskelfleisch von Wildschweinen gemessen. Diese Daten sind jedoch für Deutschland nicht repräsentativ. Die Kontamination von Wildschweinen kann auch heute noch vereinzelt 10.000 Bq/kg überschreiten. Nur Fleisch mit einem Radiocäsiumgehalt unter dem Grenzwert von 600 Bq/kg darf verkauft werden.

Sowohl die Höhe der Belastung verschiedener Wildtierarten als auch deren jahreszeitlicher Verlauf hängen eng mit dem Ernährungsverhalten und dem Futterangebot zusammen. Höhere Kontaminationen sind insbesondere dann zu erwarten, wenn die Tiere ihr Futter vornehmlich im Wald suchen und nicht auf landwirtschaftlichen Flächen äsen. Abgesehen von jahreszeitlichen Schwankungen verringerte sich bei Rehwild und Rotwild der Cs-137-Gehalt des Muskelfleisches seit 1987 kontinuierlich. Dies entspricht den Erwartungen. In dem Maß, in dem Radiocäsium im Waldboden aus dem Wurzelbereich in tiefere Schichten wandert, sollte die radioaktive Belastung der Futterpflanzen und damit auch des Muskelfleisches von Reh- und Rotwild abnehmen.



Aufgrund ihrer Vorliebe für Hirschtrüffel sind Wildschweine im Vergleich zu anderem Wildbret am höchsten belastet.

Ganz anders ist die Situation bei Wildschweinen, wo nach einer stetig geringer werdenden Abnahme und einer Stagnation seit 1995 eine erneute Aktivitätszunahme beobachtet werden kann. Tendenziell steigende Belastungen bei einer großen Streuung einzelner Messwerte wurden auch in niedriger belasteten Gebieten, wie etwa dem Pfälzerwald, beobachtet. Eine besondere Rolle spielen hierbei die unterirdisch wachsenden Hirschtrüffel, die mehr als zehnmals so hoch belastet sein können wie die oberirdischen Fruchtkörper von Speisepilzen. Obwohl Hirschtrüffel im Durchschnitt nur einen kleinen Teil des Futterspektrums der Wildschweine ausmachen, leisten sie wegen ihres außergewöhnlich hohen Cs-137-Gehalts den mit Abstand bedeutendsten Beitrag zur Radiocäsiumaufnahme dieser Tiere. Wegen der fortschreitenden Tiefenverlagerung von Radiocäsium im Waldboden ist langfristig auch bei Wildschweinen wie bei allen Nahrungsmitteln aus dem Wald mit einer langsamen Abnahme der Belastung zu rechnen. Wichtig für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Folgen ist die Strahlenbelastung, die sich aus dem Verzehr kontaminierter Lebensmittel ergibt. In Deutschland ist es nicht erlaubt, Lebensmittel mit einem Radiocäsiumgehalt von mehr als 600 Bq/kg in den Handel zu bringen. Diese Beschränkung gilt jedoch nicht für den Eigenverzehr. Als Faustregel gilt, dass die Aufnahme von etwa 80.000 Bq Cs-137 bei Erwachsenen einer Strahlenbelastung von etwa 1 mSv entspricht. Eine Pilzmahlzeit mit

200 g höher kontaminierten Semmelstoppelpilzen aus Südbayern mit etwa 1.500 Bq/kg Cs-137 hätte beispielsweise eine Strahlenbelastung von 0,004 mSv zur Folge. Eine Dosis in dieser Höhe entspricht weniger als einem Hundertstel der jährlichen natürlichen Strahlenbelastung. Diese beträgt in Deutschland im Mittel 2,1 mSv und liegt je nach örtlichen Gegebenheiten zwischen 1 und 10 mSv.

Das BfS rät grundsätzlich, jede Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Die Strahlenexposition durch den Verzehr von Nahrungsmitteln lässt sich durch das individuelle Ernährungsverhalten reduzieren. Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte deshalb auf den Verzehr selbst gesammelter Speisepilze oder selbst erlegten Wildbrets aus den höher belasteten Gebieten Süddeutschlands, wie etwa dem Bayerischen Wald, verzichten. Speisepilze und Wildbret aus dem Handel dürfen den Grenzwert von 600 Bq/kg nicht überschreiten. Diese können bedenkenlos verzehrt werden.

Gesundheitsfolgen des Reaktorunfalls in Tschernobyl

Strahlenexposition ausgewählter Bevölkerungsgruppen

Beim Reaktorunfall in Tschernobyl wurden große Mengen von Radionukliden in die Umwelt freigesetzt. Insbesondere die radioaktiven Isotope des Cäsiums und des Jods verteilten sich über weite Teile Europas. Beim Menschen führten diese Freisetzungen zu

- einer äußeren Strahlenbelastung durch die vorbeiziehende radioaktive Wolke sowie durch die abgelagerten Radionuklide und
- einer inneren Strahlenbelastung durch das Einatmen von radioaktiven Partikeln mit der Luft sowie durch die Aufnahme von kontaminierten Lebensmitteln und Trinkwasser.

Die Tabelle unten gibt einen Überblick über die Strahlenexposition der wichtigsten Bevölkerungsgruppen nach dem Reaktorunfall.

Bevölkerungsgruppe	Durchschnittliche effektive Dosis 1986 - 2005 in mSv
Liquidatoren ¹	117
Evakuierte ²	31
Bewohner kontaminierter Regionen ³ in Weißrussland, Russland und der Ukraine ⁴	9
Sonstige Bewohner in Weißrussland, Russland und der Ukraine ⁴	1,3
Bewohner sonstiger europäischer Länder ohne Türkei, Länder des Kaukasus, Andorra und San Marino ⁴	0,3
Vergleich: Jährliche durchschnittliche natürliche Strahlenexposition in Deutschland	2,1

1) Externe Dosis von 1986 bis 1990, die die Arbeiter durch die unmittelbaren Aufräumarbeiten erhielten
 2) Externe und interne Dosis 1986 bis zur Evakuierung
 3) Bodenkontamination durch Cs-137 größer als 37.000 Bq/m²
 4) Externe und interne Dosis von 1986 bis 2005, die totale Dosis wird etwa um 25 % höher liegen für die gesamte Lebenszeit

Dosisabschätzungen für die wichtigste exponierte Bevölkerungsgruppe (UNSCEAR 2008), ohne Schilddrüsendosis.

Wissen über Strahlenschäden

Ob und in welchem Ausmaß eine Strahlenexposition zu einem gesundheitlichen Schaden führt, hängt von der absorbierten Strahlenmenge, der Strahlenart und davon ab, welches Organ oder Gewebe des Körpers hauptsächlich betroffen ist.

Bei den Strahlenschäden unterscheidet man grundsätzlich zwischen deterministischen und stochastischen Schäden (siehe Tabelle S.13).

Deterministische Strahlenschäden

Deterministische Strahlenschäden werden durch hohe Dosen ionisierender Strahlung hervorgerufen. Sie sind häufig akut und treten nur auf, wenn die Dosis innerhalb kurzer Zeit einen gewissen Schwellenwert überschreitet. Für die meisten akuten Strahlenschäden liegt dieser Schwellenwert bei etwa 500 mSv und höher.

Grundsätzlich gilt für deterministische Strahlenschäden: Je höher die Strahlendosis oberhalb des Schwellenwertes, desto schwerer der Schaden und umso früher tritt er in Erscheinung.

Bei Strahlenexpositionen oberhalb des Schwellenwertes treten gesundheitliche Schäden innerhalb von Stunden, Tagen oder wenigen Wochen auf. Der Zusammenhang zwischen Strahlenbelastung und Erkrankung ist in der Regel unmittelbar erkennbar. Zu diesen sogenannten frühen deterministischen Strahlenschäden zählen unter anderem

- das Erythem der Haut (Rötung, verbrennungsähnliche Erscheinungen),
- Haarausfall,
- Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit und
- Blutarmut (Anämie)

Diese Schäden können ein lebensbedrohendes Krankheitsbild ergeben, das nur schwer oder überhaupt nicht medizinisch behandelbar ist.

Stochastische Strahlenschäden

Für stochastische Strahlenschäden gibt es keinen Schwellenwert. Sie können daher sowohl oberhalb als auch unterhalb der oben genannten Schwellenwerte für deterministische Schäden hervorgerufen werden. Zu den stochastischen Schäden zählen strahlenbedingte Krebserkrankungen und Leukämien. Sie treten häufig erst Jahre bis Jahrzehnte nach Einwirkung der Strahlung auf.

	Deterministische Strahlenschäden	Stochastische Strahlenschäden
Beschreibung	Meist unmittelbar auftretende Schäden an Geweben und Organen	Später auftretende Schäden aufgrund von Zellen, deren DNA (Erbmaterial) geschädigt wurde
Ursache des Schadens	Abtötung oder Fehlfunktionen zahlreicher Zellen	Mutationen und nachfolgende Vermehrung von einzelnen mutierten Zellen (Körperzellen oder Keimzellen)
Dosis-Abhängigkeit	Je höher die Strahlendosis, desto schwerer der Strahlenschaden	Je höher die Strahlendosis, desto höher die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Strahlenschadens
Dosis-Schwellenwert	ca. 500 Millisievert (mSv); beim ungeborenen Kind ca. 50 bis 100 mSv	Nicht vorhanden
Beispiele	Rötungen der Haut, Haarausfall, Unfruchtbarkeit, akute Strahlenkrankheit, Fehlbildungen und Fehlentwicklungen des Gehirns beim Ungeborenen	Krebs, Leukämie, vererbare Effekte

Grundsätzlich gilt für stochastische Strahlenschäden: Je höher die Strahlendosis, desto wahrscheinlicher tritt der Schaden auf.

Die durch Strahlung ausgelösten Erkrankungen lassen sich im Krankheitsbild nicht von gleichartigen, spontan auftretenden Erkrankungen unterscheiden. Ein Nachweis, dass Strahlung für diese Spät- oder Langzeitfolgen verantwortlich ist, kann nur durch epidemiologische Untersuchungen erbracht werden. Dabei wird untersucht, ob in der bestrahlten Personengruppe häufiger bösartige Erkrankungen beobachtet werden als in einer sonst gleichartigen Bevölkerungsgruppe. Ein Nachweis im Einzelfall ist bisher nicht möglich.

Ferner können nach einer Strahlenexposition Katarakte des Auges (grauer Star) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen vermehrt auftreten. Für Katarakte ist inzwischen nachgewiesen, dass die Dosis, ab der eine solche Schädigung durch Strahlung bedingt auftreten kann, niedriger ist, als noch vor ein paar Jahren angenommen wurde (0,7 Gray gegenüber fünf Gray). Für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems hat sich gezeigt, dass oberhalb von etwa 0,5 Gray das Risiko geringfügig erhöht ist. Ob das Risiko auch unterhalb dieses Dosiswertes erhöht ist, ist derzeit wissenschaftlich noch nicht geklärt.

Die folgende Zusammenfassung der Gesundheitsfolgen konzentriert sich auf die unmittelbar durch Strahlung verursachten Erkrankungen. Nicht vergessen werden darf, dass durch den Unfall selbst und die notwendigen Katastrophenschutzmaßnahmen wie Evakuierung, Beschränkungen des Verzehrs von Lebensmitteln, Zugangsbeschränkungen usw. weitere gesundheitsrelevante Folgen ausgelöst wurden. Auch die mit dem Unfall verbundene Destabilisierung der lokalen und regionalen gesellschaftlichen Strukturen hatte Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Betroffenen.

Gesundheitliche Folgen bei den Rettungskräften und Aufräumarbeitern sowie bei der Bevölkerung in der Umgebung von Tschernobyl

Frühschäden

Abgesehen von den Atombombenopfern von Hiroshima und Nagasaki wurde fast die Hälfte aller weltweit verzeichneten Fälle eines zumeist tödlich verlaufenden akuten Strahlensyndroms durch den Reaktorunfall von Tschernobyl verursacht. Betroffen waren Beschäftigte des Reaktors, Feuerwehrleute und Liquidatoren¹.

In den Jahren 1986 und 1987 waren ca. 200.000 Personen als Rettungskräfte und Aufräumarbeiter (sog. Liquidatoren) innerhalb der 30-km-Sperrzone eingesetzt. Weitere Aufräumarbeiten wurden bis etwa 1990 durchgeführt. Die Gesamtzahl der für den Einsatz registrierten Liquidatoren betrug etwa 600.000. Zwei Personen starben unmittelbar aufgrund schwerer Verletzungen und Verbrennungen durch die Explosion des Reaktors. Dem Bericht des Tschernobyl-Forums (einer Initiative der IAEA² in Zusammenarbeit mit der WHO³, UNDP⁴, FAO⁵, UNEP⁶, UNOCHA⁷, UNSCEAR⁸, World Bank sowie den Regierungen von Weißrussland, Russland und der

- 1 Arbeitskräfte, die unmittelbar nach dem Unfall zu Aufräumarbeitern eingesetzt wurden.
- 2 International Atomic Energy Agency
- 3 World Health Organization
- 4 United Nations Development Programme
- 5 Food and Agriculture Organization of the United Nations
- 6 United Nations Environment Programme
- 7 United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
- 8 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



Versorgung eines Mannes mit schweren Verbrennungen, der bei den Löscharbeiten am Reaktor in Tschernobyl sehr hohen Dosen ausgesetzt war.

Ukraine) aus dem Jahr 2005 zufolge wurde bei 134 Notfall Helfern ein akutes Strahlensyndrom diagnostiziert. Trotz sofortiger Behandlung und einzelner Knochenmarktransplantationen verliefen 28 davon tödlich. Weitere 19 starben in den Folgejahren (1987 bis 2004) wegen verschiedener Ursachen, die nicht eindeutig auf die Strahlenexposition zurückgeführt werden konnten.

Mehr als 5 Millionen Menschen leben in Gebieten, die als kontaminiert klassifiziert wurden (mehr als 37.000 Bq/m²). Etwa 400.000 davon lebten davor in noch höher belasteten Gebieten (mehr als 555.000 Bq/m²) und wurden aus der unmittelbaren Umgebung des Unfallreaktors evakuiert. Im Frühjahr und Sommer 1986 betrug die Anzahl der Evakuierten etwa 116.000 und in den Folgejahren zusätzlich 220.000. In dieser Bevölkerung, insbesondere bei den evakuierten Personen aus der Umgebung Tschernobyls, wurden nach Kenntnis des BfS keine akuten Strahlenschäden beobachtet.

Spätschäden

Schilddrüsenkrebs

In ganz Weißrussland, der Ukraine und den 4 am meisten betroffenen Gebieten Russlands wurde ein erheblicher Anstieg an Schilddrüsenkrebskrankungen beobachtet, insbesondere bei Kindern und Jugendli-

chen, die im Alter von 0 bis 18 Jahren in den ersten Tagen (bis 2 Monate) nach dem Unfall der Belastung mit radioaktivem Jod ungeschützt ausgesetzt waren. Nach Aufnahme in den Körper reichert sich radioaktives Jod in der Schilddrüse an. Die Schilddrüsendosen der evakuierten Bevölkerung reichten von 0,05 Gy bis hin zu mehr als 5 Gy.

In den Jahren 1991 bis 2005 wurden rund 6.900 Schilddrüsenkrebskrankungen in der Bevölkerung der oben genannten Gebiete festgestellt. Für die meisten Experten unerwartet war die Beobachtung, dass bereits zirka fünf Jahre nach dem Reaktorunfall gehäuft Schilddrüsenkrebs in den am höchsten kontaminierten Gebieten in Weißrussland auftrat. Die Schilddrüsenkrebsrate stieg um mehr als das Sechsfache an, insbesondere bei Personen, die zum Zeitpunkt des Unfalls jünger als 10 Jahre waren. Dies war offensichtlich eine direkte Folge der Strahlenexposition, da ohne Strahlenbelastung Schilddrüsenkrebs bei Kindern und Jugendlichen kaum auftritt.

Nach Angaben der WHO (2006) wurden etwa 40 Prozent der Fälle im Rahmen medizinischer Vorsorgeuntersuchungen entdeckt, 60 Prozent der Patienten meldeten sich wegen Beschwerden. Bis zum Jahr 2004 sind mindestens 9 Kinder nachweislich an Schilddrüsenkrebs gestorben. Weitere sechs Patienten starben aufgrund anderer Todesursachen. Die meisten Patienten konnten jedoch durch operatives Entfernen der Schilddrüse und anschließende Radiojodtherapie erfolgreich erstbehandelt werden. Sie müssen sich regelmäßig medizinisch untersuchen lassen und täglich Medikamente einnehmen, um die Funktionen der Schilddrüse zu ersetzen. Dies führt zu erschwerten Lebensbedingungen.

Andere solide Tumoren

Während der Anstieg der Erkrankungen an Schilddrüsentumoren bei Kindern und Jugendlichen eindeutig mit der Strahlenexposition durch Tschernobyl zusammenhängt, was auch analytische epidemiologische Studien zeigten, liegen für die anderen soliden Tumorerkrankungen wie Brustkrebs bei Frauen bisher nur weniger aussagekräftige Untersuchungen (sog. ökologische Studien) vor. Einige dieser Untersuchungen deuten auf erhöhte Erkrankungsraten hin. Bei Liquidatoren wurde beispielsweise im Zeitraum von 1992-2009 ein Anstieg von soliden Krebsneuerkrankungen um 18 % beobachtet. Die Ergebnisse all dieser Studien sind allerdings noch immer mit großen Unsicherheiten behaftet und eine Bestätigung durch weitere analytische Untersuchungen steht noch aus. Es ist dabei ebenfalls zu bedenken, dass solide Tumoren teilweise eine Latenzzeit von 20 Jahren und mehr haben und mögliche Effekte erst nach Ablauf dieser Latenzzeit entdeckt werden können.

Leukämien

Ionisierende Strahlung kann Leukämien auslösen. Diese können schon nach einer sehr geringen Latenzzeit von etwa 2 Jahren auftreten. Nach dem Unfall in Tscherno-

byl sollten vor allem Studien an den dort eingesetzten Liquidatoren Aufschluss über ein vermehrtes Auftreten an Leukämien geben. In den ersten Jahren nach dem Unfall durchgeführte sowie neue Studien in Weißrussland, Russland und der Ukraine deuten zwar auf eine erhöhte Leukämieinzidenz bei Liquidatoren hin, die methodischen Mängel dieser Studien (wie zum Beispiel Unsicherheiten in der Dosisabschätzung und andere nicht berücksichtigte Faktoren) lassen jedoch keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu. Hinweise für erhöhte Leukämieraten bei Personen, die während der Schwangerschaft (in utero) oder als Kinder exponiert waren, gibt es bisher nicht.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Katarakte

Eine Studie an Liquidatoren, die in weniger als 6 Wochen bei ihrer Tätigkeit in der 30-km-Zone eine Dosis von über 150 mGy erhalten hatten, stellte eine Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen fest. Jedoch berücksichtigte diese Studie keine anderen Risikofaktoren wie zum Beispiel Übergewicht, Rauchen oder Alkoholkonsum. Um eindeutig zu klären, ob die Strahlenbelastung durch den Unfall zu einer Zunahme an Herz-Kreislauf-Erkrankungen geführt hat, sind folglich weitere Studien nötig.

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Exposition und dem Risiko, an einer Katarakt (grauer Star) zu erkranken, zeigte sich ebenfalls bei den Liquidatoren. Diese Studie erbrachte zusätzlich die neue Erkenntnis, dass Katarakte möglicherweise bereits bei ca. zehnfach niedriger Dosis auftreten als bis vor kurzem noch angenommen (0,7 Gy gegenüber 5 Gy). Eine kritische Analyse mit neueren Daten ist jedoch nötig, um die Ergebnisse zu validieren und das Risiko auch bei niedrigen Expositionen besser abschätzen zu können.

Andere Folgen

In der am meisten vom Unfall betroffenen Bevölkerung zeigten sich vermehrt Stresssymptome und Depressionen, allgemeine Angstzustände und medizinisch nicht erklärbare körperliche Krankheits-symptome. Diese Erkrankungen sind als Folge des Reaktorunfalls zu werten, nicht aber als direkte Folge der Strahlenexposition. Die Expertengruppe „Gesundheit“ des Tschernobyl-Forums der WHO kam zu dem Schluss, dass verschiedene Faktoren zusammen wirkten. Darunter sind vor allem Angst vor der Strahlung, Misstrauen in die Regierung, schlechte Kommunikation, der Zusammenbruch der Sowjetunion und die Verschlechterung der ökonomischen Situation.

Der Tschernobyl-Unfall hatte einerseits durch die Strahlenbelastung, andererseits aber auch durch die notwendigen Katastrophenschutzmaßnahmen und deren Folgen schwerwiegende Auswirkungen auf die seelisch-geistige Gesundheit und das Wohlbefinden der betroffenen Bevölkerung und der Liquidatoren. Stress infolge von Umsiedlungen, Gerüchten und Fehlinformationen über die strahlungsbedingten gesundheitlichen Risiken sowie der Verlust des Vertrauens in



Auch Jahre nach dem Reaktorunglück wird an (überwiegend) Frauen noch Schilddrüsenkrebs, der auf den Unfall zurückzuführen ist, festgestellt. An der abgebildeten Patientin aus der Tschernobylregion wurde 2002 und wieder 2005 Schilddrüsenkrebs diagnostiziert.

staatliche Institutionen führten zu einem „paralysierenden Fatalismus“ mit Depressionen, Beeinträchtigung des Selbstbewusstseins und psychosomatischen Erkrankungen.

Die gesellschaftlichen Umbrüche führten zu Arbeitslosigkeit und Armut. Damit verbundene psychosoziale und wirtschaftliche Probleme stellten für die betroffene Bevölkerung zusätzlich eine gesundheitliche Bedrohung dar. Auf einem Workshop des BfS im November 2006 berichteten Wissenschaftler aus den betroffenen Republiken über diese Auswirkungen.

Abschätzung zu erwartender zusätzlicher Krebsfälle

Zu den strahlenbedingten Krebs- und Leukämiefällen durch den Unfall von Tschernobyl gibt es sehr unterschiedliche Angaben. Die Gründe hierfür waren, dass in den ersten Jahren nach dem Unfall nur unvollständige Erkenntnisse über das tatsächliche Ausmaß der Auswirkungen auf die Umwelt vorlagen, der Kreis der betroffenen Personen nicht hinreichend genau be-

kannt war und nur pauschale Risikoschätzungen für die Entwicklung zukünftiger Erkrankungen der Betroffenen abgegeben werden konnten. Je nach Annahme über die Größe der Bevölkerungsgruppen (Liquidatoren, Evakuierte, Sowjetunion, Europa, nördliche Hemisphäre etc.) unterscheiden sich die Schätzungen über die Zahl der Todesfälle. Unmittelbar nach dem Unfall in Tschernobyl lagen die Schätzungen sehr hoch. Bei der 192. Tagung der American Chemical Society in Anaheim im September 1986 ging Gofman, ein Wissenschaftler der kalifornischen Universität in Berkeley, von rund 300.000 bis 400.000 zusätzlichen Krebsfällen in den nächsten 70 Jahren in der damaligen Sowjetunion und in Europa aus und die IAEA rechnete im Jahr 1986 bei einer betroffenen Bevölkerung von 75 Millionen im europäischen Teil der damaligen Sowjetunion mit zusätzlichen 20.000 bis 30.000 Krebstodesfällen (IAEA-INSAG Bericht 75, 1986).

Heute sind die Angaben verschiedener wissenschaftlicher Gremien (UNSCEAR, WHO etc.) niedriger. Allerdings handelt es sich auch bei den neueren Angaben nur um Schätzungen, die auf Konventionen, Einschätzungen von Experten und oft nicht belegbaren Daten über bestrahlte Bevölkerungsgruppen beruhen. Auf Grund der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung der Expositionshöhe und -verteilung können für das Risiko keine exakten Schätzwerte angegeben werden, sondern nur eine Bandbreite, die die Größenordnung und die Schwankungsbreite des Risikos wiedergibt. Entsprechend hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) für Europa die Zahl der zusätzlichen strahlungsbedingten Krebsfälle auf 25.000 geschätzt, mit einem Unsicherheitsbereich von 11.000 - 59.000. Die IARC schätzt, dass 16.000 dieser Krebsfälle tödlich verlaufen werden.

Das Tschernobyl-Forum (2005) geht aufgrund der Expositionsabschätzungen und auf Basis der etablierten Risikokoeffizienten für strahlenverursachte Krebserkrankungen davon aus, dass bei den etwa 600.000 besonders betroffenen Personen (200.000 Liquidatoren der Jahre 1986 bis 1987, 120.000 evakuierte Personen aus besonders kontaminierten Regionen, 280.000 Bewohner der am höchsten radioaktiv kontaminierten Gebiete) mit bis zu 4.000 zusätzlichen Todesfällen durch Krebserkrankungen gerechnet werden muss. In dieser Personengruppe sind etwa 100.000 sogenannte spontane Krebsfälle zu erwarten. Das sind Krebsfälle, die auf andere, nicht näher bestimmbare Ursachen zurückgehen. Die Strahlendosen der anderen ca. 5 Millionen Menschen in kontaminierten Gebieten sind deutlich geringer. Angaben über zusätzliche Krebsfälle bei dieser Personengruppe sind rein spekulativ.

Im November 2006 hatte das BfS verschiedene Organisationen eingeladen, die Schätzungen zu den Krebs- und Leukämieerkrankungen in Folge des Reaktorunfalls durchgeführt haben. Diese sollten über die Differenzen der veröffentlichten Zahlen diskutieren. Es zeigte sich, dass alle Organisationen von

vergleichbaren Annahmen zum Risiko je Doseinheit ausgingen. Es gab jedoch wesentliche Unterschiede in den Bevölkerungsgruppen, die der Ermittlung der zu erwartenden Krebserkrankungen oder Krebstodesfälle zugrunde gelegt wurden. So gab es Abschätzungen, die die Liquidatoren und die Einwohner der hoch kontaminierten Regionen betrachteten (wie z. B. die IAEA) und andere, die die Bevölkerung Europas außerhalb der ehemaligen Sowjetunion heranzogen (wie etwa die WHO und IARC). Weitere Berechnungen legten die Weltbevölkerung zu Grunde oder die Bevölkerung aller betroffenen Länder.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sprachen eine Reihe von Empfehlungen aus, u. a.:

- Aus den drei am meisten betroffenen Staaten kamen viele Aussagen zu beobachteten gesundheitlichen Effekten. Die internationale wissenschaftliche Gemeinschaft sollte diese auf Plausibilität prüfen. Eine pauschale Zurückweisung der Beobachtungen als nicht begründet ist fachlich nicht gerechtfertigt.
- Ergebnisse aus den betroffenen Regionen könnten eine höhere Aussagekraft bekommen, wenn die Daten aus den drei Ländern zusammengefasst und gemeinsam analysiert würden. Durch die gemeinsame Auswertung würde die statistische Aussagekraft erhöht und es können möglicherweise Risikoerhöhungen entdeckt werden, die in den Einzelstudien nicht beobachtbar sind.
- Zukünftige epidemiologische Untersuchungen sollten nur durchgeführt werden, wenn die statistische Aussagekraft genügend groß ist und andere Einflussgrößen zusätzlich zu Strahlung adäquat berücksichtigt werden können. Dazu gehören insbesondere die deutlichen Veränderungen im allgemeinen Gesundheitsstatus sowie weitere soziale und wirtschaftliche Veränderungen in den drei am meisten betroffenen Ländern.

Eine ausführliche Darstellung des Workshops sowie der diskutierten Fragestellungen findet sich im Jahresbericht 2006 des BfS (www.doris.bfs.de).

Gesundheitliche Folgen für die deutsche Bevölkerung

Aufgrund der Höhe der in Deutschland festgestellten Strahlenbelastungen (s. Tab. auf Seite 39) durch den Tschernobyl-Unfall können akute Strahlenschäden ausgeschlossen werden. Mehr noch als für die höher belasteten Gebiete in Weißrussland, Russland und der Ukraine gilt für Deutschland, dass sich mögliche strahlenbedingte Krebsfälle durch Tschernobyl nur schwer vor dem Hintergrund der sogenannten spontanen Krebshäufigkeit nachweisen lassen. Auch für ein vermehrtes Auftreten von Schilddrüsenkrebs bei Kindern gibt es in Deutschland keine Hinweise.

Infolge von Medienberichten und der Beunruhigung großer Bevölkerungsgruppen untersuchte das Institut für Strahlenhygiene (ISH) des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes, ob nach dem Tschernobyl-Unfall in den vom Fallout stärker betroffenen Gebieten Deutschlands häufiger ungünstige Schwangerschaftsverläufe (wie Frühgeburten, Mangelgeburten oder Totgeburten) zu beobachten waren als in den übrigen Gebieten. In der Erhebung bei über 5.000 Schwangeren konnten keine Schäden (Frühgeburten, Fehlbildungen und andere teratogene Strahlenwirkungen) bei Neugeborenen festgestellt werden (ISH-Bericht 157/1992: Hoeltz, A. Hoeltz, P. Potthoff, A. Brachner, B. Grosche, G. Hinz, A. Kaul, K. Martignoni, H.-D. Roedler, E. Schwarz, C. Tsavachidis, Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. – Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin [West]). Zahlreiche weitere epidemiologische Studien kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen bei Totgeburten, der Säuglingssterblichkeit, der Häufigkeit von Fehlbildungen und Tumoren bei Kindern oder Erwachsenen in Deutschland nach dem Tschernobyl-Unfall. Viele der Studien haben methodische Schwächen (u. a. zu kleine Fallzahlen und damit verbunden geringe Teststärke). Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass in den Studien berichtete Einzelbeobachtungen durch Zufall bedingt sind. Es gibt bisher keine Nachweise, dass der Tschernobyl-Unfall in Deutschland negative gesundheitliche Strahleneffekte verursacht hat. Die Abschätzung des durch den Reaktorunfall bedingten Tumorrisikos für Deutschland beruht auf den Erkenntnissen aus anderen Studien zum Strahlenrisiko (insbesondere Untersuchungen zu den Atombombenopfern von Hiroshima und Nagasaki).

Auf der Basis umfangreicher Messungen und Annahmen zu repräsentativen Aufenthaltsdauern in verschiedenen Umgebungen wurde die Dosis für Erwachsene im besonders vom Fallout betroffenen Münchner Raum auf 0,1 mSv im ersten Jahr nach dem Unfall und auf 0,7 mSv für die gesamte Lebenszeit abgeschätzt. Für Kleinkinder liegt die Dosisabschätzung im ersten Jahr bei 0,15 mSv, lebenslang werden 0,8 mSv erreicht. Als mittlere Strahlenexposition durch abgelagerte Radionuklide für Deutschland werden Werte von 0,03 bis 0,05 mSv für Erwachsene bzw. 0,04 bis 0,06 mSv für Kleinkinder im ersten Jahr und 0,2 bis 0,3 mSv als lebenslange Exposition als realistisch angesehen. Für Personen mit sehr hohen Aufenthaltszeiten im Freien können diese Werte um den Faktor 3 höher liegen.

Im Januar 1987 wurden im Westteil Berlins 12 Fälle von Chromosomenschäden in Form einer Trisomie 21 (Chromosom 21 nicht nur doppelt – wie normal – sondern dreimal vorhanden) bei Neugeborenen festgestellt, während sonst lediglich 2 bis 3 Fälle dieser auch Down-Syndrom genannten Erkrankung pro Monat auftraten. Die Häufung des Down-Syndroms wurde im Zusammenhang mit dem Tschernobyl-Unfall gesehen,

weil sie genau neun Monate danach auftrat. Allerdings fand der Befund durch Studien in Schweden, Finnland, Ungarn und Norwegen keine Bestätigung, obwohl in diesen Ländern die zusätzliche Strahlenbelastung nach Tschernobyl höher als in Berlin gewesen war. In Bayern wurde in dem Zeitraum nach dem Reaktorunfall im niedriger belasteten Norden eine höhere Rate an Trisomie-21-Fällen beobachtet als im höher belasteten Süden des Bundeslandes. Im April 1987 diskutierte die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) die Daten aus Berlin. Die SSK kam zu dem Schluss, dass die Erhöhung der Chromosomenschäden in Berlin nicht auf die Strahlung zurückgeführt werden könne. Die maximale Strahlenexposition durch den Tschernobyl-Unfall in Berlin war geringer als die natürliche Strahlenexposition in großen Landstrichen Deutschlands. In diesen Landstrichen ist keine Häufung des Down-Syndroms bekannt. Aus den exponierten Regionen Weißrusslands wurde ebenfalls ein Anstieg der Geburten mit Down-Syndrom im Januar 1987 berichtet, der wie in Berlin von den Autoren in einen Zusammenhang mit der Strahlenexposition nach dem Reaktorunfall gebracht wurde. Annahmen über einen Zusammenhang zwischen unerwünschten Schwangerschaftsverläufen bzw. Säuglingssterblichkeit und Strahlung in höher belasteten Gebieten aber auch in Deutschland generell konnten nicht wissenschaftlich belegt werden.

Information der deutschen Bevölkerung über gesundheitliche Auswirkungen

Unmittelbar nach dem Reaktorunfall versuchte die Bundesregierung, die Bevölkerung über die Folgen von Tschernobyl zu informieren (u. a. Faltblatt „Fragen und Antworten zur Kernenergie“ Bundespresseamt, Juni 1986). Ähnliche Informationen wurden von verschiedenen Bundesbehörden (Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Faltblatt an alle Haushalte: „Nach Tschernobyl – Antworten auf 21 Fragen“, Juni 1986) und Forschungseinrichtungen (Telefonauskünfte, Presseerklärungen zu Strahlungsmessungen, Broschüren über Strahlenwirkungen etc.) herausgegeben. Viele Verlautbarungen waren in sich widersprüchlich und verstärkten eher die tiefgreifende Verunsicherung der Bevölkerung, die sich seit 1970 zunehmend kritischer mit den Risiken der Energiegewinnung aus Kernkraft auseinandergesetzt hatte (Anti-AKW-Bewegung). Die für den Strahlenschutz verantwortlichen Behörden des Bundes und der Länder wurden häufig nicht als neutral betrachtet und ihren Informationen wurde nur wenig Vertrauen geschenkt.

Zwischen den Bedürfnissen der Bevölkerung nach vertrauenswürdigen Auskünften (z. B. über die Gesundheitsgefährdung und mögliche Handlungsoptionen), den offiziellen Informationen und der Berichterstattung in den Medien entstand eine Informationslücke. Private Initiativen überbrückten diese. Hier sind insbesondere Eltern-Initiativen zu nennen. Während die Medien oftmals pauschal über Widrigkeiten und Szenarien

berichteten („Todesreaktor Tschernobyl“, „Höllengefeuer“, „Massensterben nach Tschernobyl“, „Tschernobyl tötet Münchens Kinder“, „Tschernobyl wütet im Erbgut“ etc.), suchten die Familien nach Ratschlägen für Ernährung und Verhaltensweisen, um eine Strahlenbelastung unter den gegebenen Umständen zu minimieren. Diese Suche nach Hilfestellung wurde unmittelbar nach dem Unfall weder durch die Behörden noch durch die Medien befriedigend unterstützt.

Bewertung

Der Reaktorunfall von Tschernobyl war der bisher größte Unfall in einem Kernkraftwerk. Insbesondere in den ersten zehn Tagen nach dem Unfall wurden große Mengen radioaktiven Materials freigesetzt. Für die Strahlenbelastung der Bevölkerung waren dabei insbesondere Iod-131, Cäsium-134 und Cäsium-137 von Bedeutung. Die Gebiete mit der höchsten Strahlenbelastung befinden sich in den drei Staaten Ukraine, Russische Föderation und Weißrussland. In diesen Gebieten lebten zum Zeitpunkt des Unfalls etwa 5 Millionen Personen. Außerhalb der ehemaligen Sowjetunion waren insbesondere Regionen in Skandinavien und Mitteleuropa betroffen. Die Strahlenexposition in Mitteleuropa ist wesentlich

geringer als in den am höchsten betroffenen Regionen der ehemaligen Sowjetunion.

Gesundheitliche Effekte wurden bisher bei den Beschäftigten und Einsatzkräften beobachtet, die an den Aufräumarbeiten beteiligt waren. Des Weiteren ist die Zahl der Schilddrüsenkrebserkrankungen bei Personen, die als Kinder in den betroffenen Regionen der drei Republiken mit Iod-131 exponiert waren, deutlich erhöht. Über weitere Krebserkrankungen in diesen Regionen liegen bisher keine belastbaren Daten vor. Das Gleiche gilt für die außerhalb der ehemaligen Sowjetunion betroffenen Regionen.

Die von verschiedenen Institutionen durchgeführten Abschätzungen der zusätzlichen strahlenbedingten Krebsfälle unterscheiden sich deutlich. Diese Differenzen waren Anlass für einen internationalen Workshop des BfS. Dort hat sich gezeigt, dass die Unterschiede wesentlich auf den zugrunde gelegten Bevölkerungszahlen beruhen, nicht aber auf den unterschiedlichen Annahmen zur Strahlenwirkung. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die berechneten Zahlen zusätzlicher Krebserkrankungen außerhalb der ehemaligen Sowjetunion so gering sind, dass sie in epidemiologischen Studien nur sehr schwer oder gar nicht nachgewiesen werden können.

Notfallschutz – Welche Konsequenzen in Deutschland gezogen wurden

Alle Maßnahmen des Katastrophenschutzes liegen bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk, wie in anderen Fällen auch, in der Kompetenz der Bundesländer. Unmittelbar zuständig sind die Landkreise und selbständigen Städte. Diese werden auf Anforderung durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK, www.bbk.bund.de) unterstützt. Spielt Radioaktivität bei einem Notfall eine Rolle, so erhalten die Länder auf Anforderung ebenfalls vom Bundesamt für Strahlenschutz Hilfestellung. Der Bund überwacht die Umweltradioaktivität, bewertet die Daten und kann z. B. Verbote und Beschränkungen beim Verzehr von Lebensmitteln und bei der Nutzung von Futtermitteln aussprechen. In Abstimmung mit den Ländern kann der Bund der Bevölkerung bestimmte Verhaltenweisen empfehlen. Gesetzliche Grundlage dafür ist das Strahlenschutzvorsorgegesetz.

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz

Das Fehlen gesetzlicher Vorgaben führte nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl dazu, dass teilweise unterschiedliche Grenzwerte und Maßnahmen im Bund und in den Bundesländern empfohlen wurden. Um die rechtliche Voraussetzung für ein bundesweit koordiniertes Handeln in vergleichbaren Situationen zu schaffen, wurde als Konsequenz bereits am 19. Dezember 1986 das „Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung“ (Strahlenschutzvorsorgegesetz – StrVG, geändert 2008) erlas-

sen. Zweck dieses Gesetzes ist es, die routinemäßige Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt neu zu regeln und „die Strahlenexposition der Menschen und die radioaktive Kontamination der Umwelt im Falle von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen unter Beachtung des Standes der Wissenschaft und unter Berücksichtigung aller Umstände durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten“. Danach ist es Aufgabe des Bundesamtes für Strahlenschutz, gemeinsam mit Einrichtungen des Bundes und der Länder, die Kontamination der Umwelt nach einem Ereignisfall schnell zu ermitteln und die daraus resultierende Dosis abzuschätzen. Das Bundesumweltministerium hat die Aufgabe, die Lage zu bewerten, Maßnahmen einzuleiten und die Öffentlichkeit zu informieren.

Richtwerte

Um in einem Ereignisfall schnell und angemessen handeln zu können, ist es notwendig, vorab festzulegen, ab welcher zu erwartenden Strahlenbelastung des Menschen Maßnahmen ergriffen werden müssen. In der Zeit vor dem Reaktorunfall von Tschernobyl ging man noch von einem Ermessensspielraum aus. Der untere Eingreifrichtwert besagte, dass bei seiner Überschreitung Maßnahmen zur Reduzierung der Dosis in Betracht gezogen werden können, der obere Eingreifrichtwert, dass Maßnahmen zwingend einzuleiten sind.

Maßnahme	Eingreifrichtwerte			
	Organdosis (Schilddrüse)	Effektive Dosis	Integrationszeiten und Expositionspfade	Alte Richtwerte
Aufenthalt in Gebäuden		10 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide	5 - 50 mSv Effektive Dosis
Einnahme von Jodtabletten	50 mSv Kinder bis zu 18 Jahren sowie Schwangere, 250 mSv Personen von 18 bis 45 Jahren		Im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radiojod einschließlich der Folgeäquivalentdosis	200 - 1000 mSv Schilddrüsendosis für Kinder und Erwachsene
Evakuierung		100 mSv	Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide	100 - 500 mSv Effektive Dosis

Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen Aufenthalt in Gebäuden, Jodblockade und Evakuierung (seit 2006).

	Säuglingsnahrung	Milcherzeugnisse	Andere Nahrungsmittel	Flüssige Nahrungsmittel
Strontiumisotope, insbesondere Sr-90	75	125	750	125
Jodisotope, insbesondere I-131	150	500	2000	500
Alphastrahler	1	20	80	20
Übrige Nuklide mit Halbwertszeiten > 10 d, z. B. Cs-134, Cs-137	400	1000	1250	1000

Höchstwerte der radioaktiven Kontamination von Nahrungsmitteln in Bq/kg gemäß Europäischer Union.

Dieses System wurde durch feste Dosisengrenzrichtwerte für die Evakuierung, das Verweilen im Haus und die Einnahme von Jodtabletten abgelöst (Tab. Seite 19). Oberhalb der Dosisengrenzrichtwerte sind die Maßnahmen in jedem Fall – wenn möglich – durchzuführen. Unterhalb sind die Maßnahmen unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit zu erörtern. Die Strahlenbelastung des Menschen soll in jedem Fall so gering wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden.

Die EU hat Höchstwerte für die Radioaktivität in Nahrungs- und Futtermitteln vorbereitet mit dem Ziel, dass eine Strahlenbelastung des Menschen von 5 mSv pro Jahr nicht überschritten wird (Tab. oben). Die EU plant, im Falle einer erneuten massiven Aktivitätsfreisetzung durch einen Reaktorunfall o. ä. diese Werte durch Rechtsverordnung festzuschreiben. Vergleichbare Werte wurden von der Welternährungs- und der Weltgesundheitsorganisation für den internationalen Nahrungsmittelverkehr abgeleitet.

Als Folge von Tschernobyl wurden für Cs-134/137 Eingreifrichtwerte für Milch, Milchprodukte und Säuglingsnahrung von 370 Bq/kg, für andere Nahrungsmittel von 600 Bq/kg (s. Beitrag „Umweltfolgen“) sowie für Nahrungsmittel mit geringen Verzehrswerten wie Pfeffer oder Petersilie von 6.000 Bq/kg eingeführt, die heute noch gültig sind. Um für einen nicht auszuschließenden weiteren Störfall vorbereitet zu sein, wurden die Eingreifrichtwerte überarbeitet, wobei nicht einzelne Radionuklide, sondern die in der Tabelle oben aufgeführten Radionuklidgruppen berücksichtigt wurden. Diese Werte sollen in einem Ereignisfall nicht automatisch, sondern erst nach einer Prüfung durch eine Kommission in Kraft gesetzt werden, wobei entsprechend der Lage Änderungen nach oben und unten möglich sind.

Maßnahmenkatalog

In einem Ereignisfall muss insbesondere in der Frühphase schnell über Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenbelastung des Menschen entschieden werden. Bei den Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich

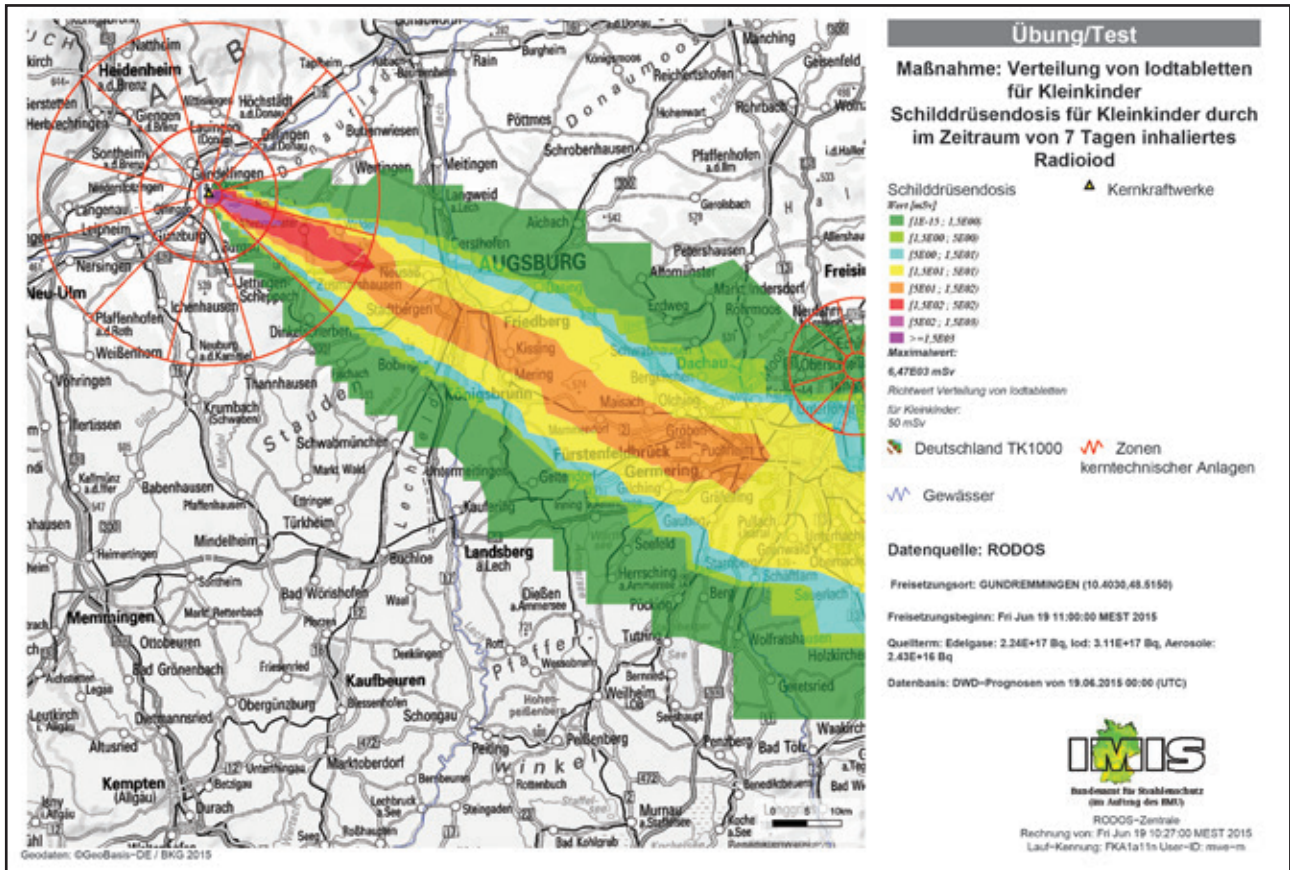
ist das Ziel, noch vor dem Durchzug einer radioaktiven Wolke eine radioaktive Kontamination von Nahrungs- und Futtermitteln durch frühzeitige Ernte, Abdecken von Kulturen oder Aufställen von Nutztieren zu vermeiden. Später müssen Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenbelastung (z. B. durch Lagerung oder technologische Aufarbeitung) in Betracht gezogen werden. Die Maßnahmen Evakuierung, Verweilen im Haus und Jodblockade müssen in der Praxis noch durch begleitende Empfehlungen wie Sperren von Gebieten, Straßen oder Tragen von Mundschutz, Wechseln von Kleidern etc. konkretisiert werden.

Um ein schnelles Handeln zu ermöglichen, wurden unter Beteiligung des BfS alle zu erwägenden Maßnahmen in einem Katalog zusammengestellt und ihre Effizienz sowie die Vor- und Nachteile einer jeden Maßnahme wie z. B. Durchführbarkeit, Akzeptanz in der Bevölkerung, Kosten etc. analysiert. Gegliedert ist der Maßnahmenkatalog in 2 Bände mit den Schwerpunkten Maßnahmenübersicht, theoretische Grundlagen und Beseitigung großer Mengen kontaminierter Abfälle.

Jodtabletten

Besonders auffällig war in den Jahren nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl die Zunahme von Schilddrüsenkrebs bei Kindern in der Region. Dies veranlasste die Strahlenschutzkommission, das Strahlenrisiko für diese Krebserkrankung neu zu bewerten und konsequenterweise die Eingreifrichtwerte für die Verteilung von Jodtabletten deutlich zu reduzieren.

Im Rahmen der Überarbeitung der Grenzwerte wurden aufgrund neuerer Erkenntnisse zur Strahlenwirkung die Eingreifrichtwerte für die Maßnahme Jodblockade auf 250 mSv (Schilddrüsendosis) für die Bevölkerungsgruppe 18 - 45 Jahre und auf 50 mSv (Schilddrüsendosis) für Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre und Schwangere reduziert. Dies hatte zur Konsequenz, dass eine Verteilung von Jodtabletten statt wie bisher bis 25 km zukünftig bis zu 100 km um ein Kernkraftwerk zu betrachten war.



Beispiel für eine in einer Übung durchgeführte Prognoserechnung. In den gelb und orange eingefärbten Gebieten prognostiziert das Computerprogramm eine Schilddrüsendosis von über 50 Millisievert bei Kindern und Jugendlichen. Bei Überschreiten dieses Richtwertes wird als Schutzmaßnahme die Einnahme von Jodtabletten empfohlen.

Die Katastrophe von Fukushima hat dann in der Folge noch einmal zu einer Ausweitung der Planungsradien für Jodtabletten geführt, da man in der jetzigen Planung auch von schwersten Unfällen mit größeren Freisetzungen von Radiojod ausgeht, ungeachtet der dabei bisher angenommenen geringen Wahrscheinlichkeit eines solchen Falles. Im Umkreis von 100 km werden Jodtabletten jetzt an alle Personen unter 45 Jahre ausgegeben, für Kinder, Jugendliche und Schwangere wird dies für das gesamte Bundesgebiet geplant.

Wenn man zum richtigen Zeitpunkt große Mengen von nicht radioaktivem Jod einnimmt, verhindert dies die Aufnahme von radioaktivem Jod und schützt somit bei einem nuklearen Unfall effektiv die Schilddrüse. Eine wichtige Erkenntnis zur Strahlenwirkung, die man aus epidemiologischen Langzeituntersuchungen in Weißrussland, der Ukraine und Teilen der Russischen Föderation gezogen hat, betrifft die Empfindlichkeit der Schilddrüse bei Kindern und Jugendlichen. Für diese Personengruppe wurde ab dem Beginn der 1990er Jahre ein drastischer Anstieg an Schilddrüsenkrankungen beobachtet.

Die Strahlenschutzkommission in Deutschland empfahl daher, die Eingreifrichtwerte für die Jodblockade (Einnahme von Jodtabletten) in einer Notfallsituation deut-

lich zu reduzieren. Für Kinder und Jugendliche sowie für Schwangere ist diese Maßnahme nun bereits bei einer zu erwartenden Organdosis von 50 mSv vorgesehen.

Für Erwachsene bis zu einem Alter von 45 Jahren ist die Einnahme ab einer prognostizierten Organdosis von 250 mSv empfohlen. Für Personen über 45 Jahre wird die Einnahme nicht empfohlen, weil bei geringerer Empfindlichkeit der Schilddrüse die altersbedingt häufiger auftretenden schädlichen Nebenwirkungen den Nutzen überwiegen würden.

Simulationsrechnungen ergaben, dass der Eingreifrichtwert für die Schilddrüsendosis von 50 mSv bei Kindern auch noch bis zu Entfernungen von 100 Kilometern erreicht werden kann, sodass sich ein deutlich erhöhter Bedarf zur Bereithaltung von Jodtabletten auch außerhalb des bisherigen Planungsradius für Katastrophenschutzmaßnahmen von 25 Kilometern ergeben hat. Um den dadurch erhöhten Bedarf abzudecken, wurden vom Bund im Jahr 2004 insgesamt 137 Millionen Jodtabletten neu beschafft. Die Tabletten für den besonderen Planungsbereich von 25 Kilometern Entfernung um eine kerntechnische Anlage wurden den zuständigen Bundesländern übergeben, die diese entsprechend der jeweiligen landeseigenen Planung an die Haushalte vorverteilen oder dezentral einla-



Mitarbeiter des BfS beim Auswechseln einer der rd. 1.800 Messsonden des IMIS.

gern. Für die weiter entfernt liegenden Gebiete wurde vom BfS ein ergänzendes Einsatzkonzept erarbeitet. In einem Ereignisfall müssen die Jodtabletten innerhalb von zwölf Stunden und unabhängig von Tageszeit und Witterung ausgeliefert werden können. Dafür wurden acht zentrale Lager vom Bund eingerichtet. Die Verteilung im Ereignisfall erfolgt über das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) mit Hilfe des Technischen Hilfswerks (THW) an die Katastrophenschutzorganisationen der Länder.

Das Routine- und Intensivmessprogramm

Zur besseren und schnelleren Beurteilung der radiologischen Lage in einem Ereignisfall wurden die Maßnahmen zur Überwachung der Umwelt mit dem Ziel erweitert und ertüchtigt, eine lückenlose und flächendeckende Radioaktivitätsüberwachung sowohl im Routinefall als auch im Falle einer Aktivitätsfreisetzung zu gewährleisten. Das Strahlenschutzvorsorgegesetz regelt die Messaufgaben der einzelnen Institutionen in Bund und Ländern. Danach sind Einrichtungen des Bundes für folgende flächendeckenden, automatischen Messungen verantwortlich:

Bundesamt für Strahlenschutz:
Ortsdosisleistung an rund 1.800 Messstationen

Deutscher Wetterdienst:
Radionuklidkonzentration in der Luft und im Niederschlag an 40 Messstationen

Bundesamt für Gewässerkunde:
Radionuklidkonzentration in den Bundeswasserstraßen

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie:
Radionuklidkonzentration in der Nord- und Ostsee.

Die Messungen im landwirtschaftlichen und bewohnten Bereich werden von den Ländern im Auftrag des BMUB durchgeführt. Diese umfassen im Wesentlichen die Bereiche:

- Lebensmittel
- Futtermittel
- Boden
- Trink- und Grundwasser
- Abfälle, Abwasser und Klärschlamm.

An den Messungen sind etwa 60 Einrichtungen des Bundes und der Länder beteiligt. Zur Erfassung der radiologischen Lage wurde unter Federführung des BfS ein Routine- und ein Intensivmessprogramm erarbeitet, das bestimmt, welche Medien wo, von wem und in welcher Frequenz zu beproben bzw. zu messen sind (siehe dazu den Abschnitt IMIS).

Zusammenfassung

Diese Übersicht stellt eine Reihe wesentlicher Konsequenzen vor, die nach Tschernobyl initiiert und durchgeführt wurden. Um auf ein ähnliches Ereignis angemessen reagieren zu können, müssen die Messungen und Berechnungen koordiniert, der Austausch der Daten und der interne Informationsfluss gesteuert und die einzelnen Systemkomponenten möglichst gut aufeinander abgestimmt werden. Gemäß Strahlenschutzvorsorgegesetz wurde diese Koordinierungsaufgabe dem BfS übertragen, das als Konsequenz das „Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität“ (IMIS) aufbaute, an dem neben den 60 Messeinrichtungen noch etwa 20 weitere Institutionen aus Bund und Ländern beteiligt sind.

IMIS - Das integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität

Aufgaben des IMIS

Im Routinebetrieb ist es Aufgabe des IMIS, die Umwelt kontinuierlich zu überwachen, um bereits geringfügige Änderungen der Umweltradioaktivität flächendeckend schnell und zuverlässig erkennen sowie langfristige Trends erfassen zu können.

IMIS ist aber vor allem ein Instrument des Notfallschut-

zes. Um Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz des Menschen und der Umwelt in einem Ereignisfall treffen zu können, hat IMIS die Aufgabe, die entsprechenden Grundlagen zu schaffen. Dies bedeutet im Einzelnen:

- Die radioaktive Kontamination der Umwelt in einem Ereignisfall ist schnell zu erfassen.
- Die daraus resultierende Strahlenexposition des Menschen ist zuverlässig abzuschätzen.
- Alle Beteiligten sind schnell, übersichtlich und zeitgleich über die Lage zu informieren.

Entscheidungen über Maßnahmen erfolgen in einem ersten Schritt durch den direkten Vergleich der berechneten Strahlendosen mit den entsprechenden Eingreifwerten für Evakuierung, Verweilen im Haus und Jodblockade (Tab. Seite 19) bzw. der gemessenen Werte in Nahrungs- und Futtermitteln mit den abgeleiteten Eingreifrichtwerten der EU (Tab. Seite 20). Konsequenterweise muss IMIS zur Entscheidungsfindung drei Informationen möglichst aktuell und zuverlässig bereitstellen:

- Welche Gebiete sind betroffen?
- Wie hoch sind die Kontaminationen und welche Radionuklide spielen eine Rolle?
- Wie hoch ist die aktuelle und die zu erwartende Strahlenbelastung der Menschen in den betroffenen Gebieten?

Drei Ebenen sind zu beachten:

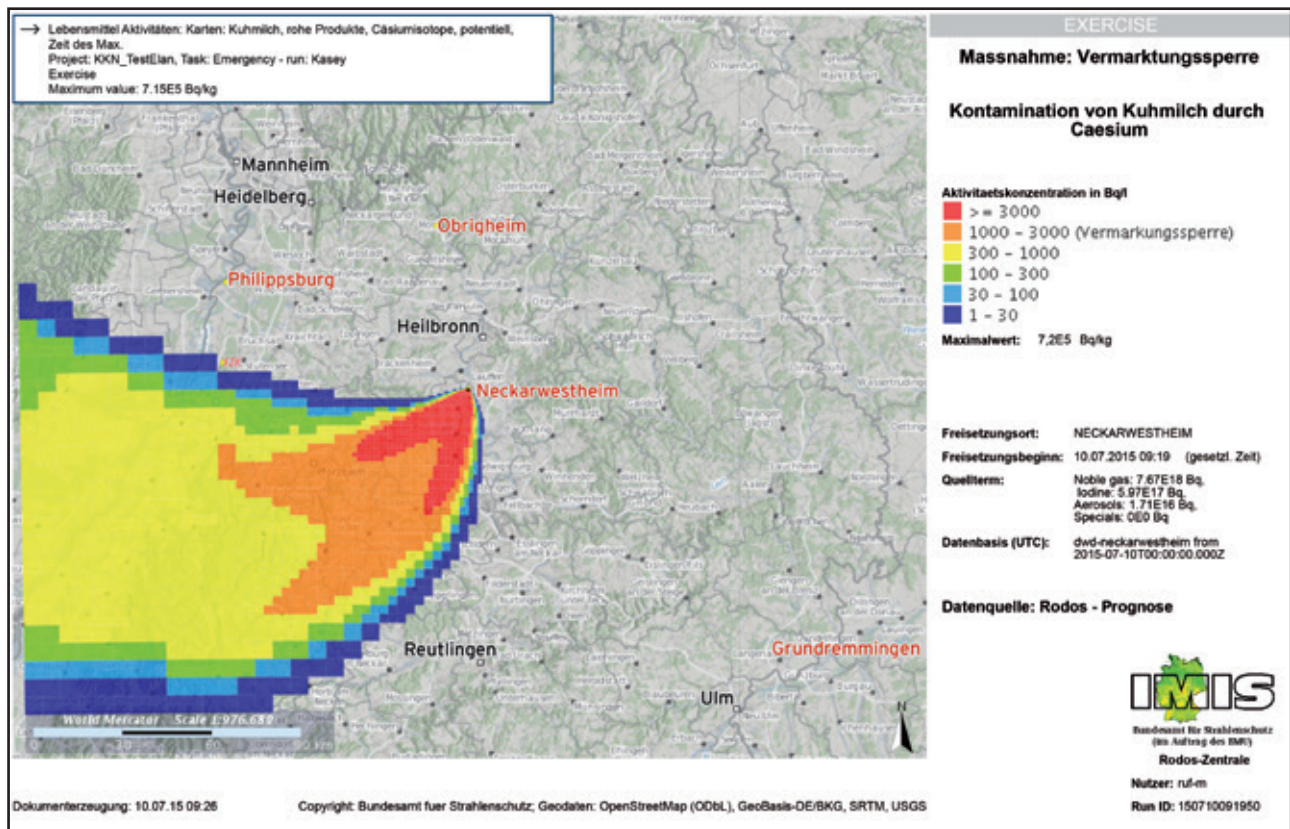
- Messungen zur Erfassung der Umweltkontamination.
- Diagnostische und prognostische Berechnung der Umweltkontamination und der daraus resultierenden Strahlenbelastung.
- Entscheidungen.

Alle Ergebnisse der Messungen und Berechnungen werden der Zentralstelle des Bundes (ZdB) im BfS übermittelt, wo die Daten geprüft, aufbereitet und in Form von Grafiken, Karten und Tabellen dargestellt und dem BMUB sowie verschiedenen Landesbehörden und Ministerien zur Entscheidungsfindung bereitgestellt werden.

Das BfS trägt die Verantwortung für die beiden erstgenannten Ebenen. Das BMUB ist verantwortlich für Entscheidungen über die Empfehlung von Maßnahmen.

Wie arbeitet IMIS?

Die Arbeitsweise des IMIS wird am Beispiel einer fiktiven Freisetzung von Radionukliden im Oberrheingraben dargestellt. Bei einem Unfall müssen drei zeitliche Phasen unterschieden werden, nämlich vor, während und nach Durchzug einer radioaktiven Wolke.



Beispiel einer maßnahmenrelevanten Darstellung der Kontamination von Kuhmilch mit Cäsium. (Übersteigt die Aktivitätskonzentration der Milch 1000 Bq/l, darf diese nicht mehr vermarktet werden.)

Phase (1): Vor einer Freisetzung

In der Phase vor einer Radionuklidfreisetzung bzw. vor dem Durchzug einer radioaktiven Wolke sind ggf. folgende Maßnahmen vorzubereiten bzw. einzuleiten:

- Evakuierung
- Verweilen im Haus
- Jobblockade
- Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen landwirtschaftlicher Produkte.

Für prognostische Abschätzungen der zu erwartenden Kontamination der Umwelt und der Strahlenbelastung des Menschen stehen lediglich meteorologische Messdaten zur Verfügung. Die tatsächliche Höhe der Radioaktivitätsfreisetzung (Quellterm) ist nicht bekannt, deshalb verwendet man vorerst einen Standardquellterm. Dies wird durch Simulation der Ereignisabläufe innerhalb einer kerntechnischen Anlage abgeschätzt.

Erste Informationen für Entscheidungsträger sind einfache Ausbreitungsrechnungen (Trajektorienrechnungen) des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die einen Überblick über die potenziell gefährdeten Gebiete geben. Für weitergehende Berechnungen steht das speziell entwickelte Entscheidungshilfemodell RODOS (Real-Time Online Decision Supporting System) zur Verfügung.

Dieses Modell bildet das Verhalten radioaktiver Stoffe in der Umwelt und die Expositionspfade ab. Unter der Annahme eines Quellterms kann mit dem Modell jederzeit

- die äußere Belastung des Menschen durch Strahlung aus der radioaktiven Wolke und der am Boden abgelagerten Aktivität sowie
- die interne Strahlenbelastung, die aus der Aufnahme von Radionukliden durch die Atemluft (Inhalation) und mit der Nahrung (Ingestion) resultiert,

berechnet werden.

Phase (2): Während des Durchzugs einer radioaktiven Wolke

Während des Durchzugs einer radioaktiven Wolke gelten die bei Phase (1) genannten Maßnahmen. Um Wirkung entfalten zu können, müssen sie möglichst noch vor dem Durchzug der radioaktiven Wolke angeordnet werden.

Eine Strahlenbelastung des Menschen erfolgt in dieser Phase über die Belastungspfade Direktstrahlung und Inhalation (über die Atmung). Die Aufnahme von Radionukliden mit der Nahrung (Ingestion) spielt bei größeren Unfällen praktisch keine Rolle, da dieser Pfad durch ein vorbeugendes Vermarktungsverbot frischer Produkte unterbunden werden kann bzw. die Höchstwerte die Einhaltung einer Dosis von 5 mSv gewährleisten.



Simulierte Momentaufnahme der Ortsdosisleistung (ODL) während der Ausbreitung einer radioaktiven Wolke. Das ODL-Messsystem liefert hierzu im Intensivbetrieb Nettodarstellungen im 10-min-Takt. Bei einem Nettowert wurde die natürliche ODL des Untergrunds bereits abgezogen.



Im Mai 1986 wurde auf der Bodenseeeinsel Reichenau kistenweise Freilandgemüse vernichtet.

Entsprechend den zu betrachtenden Belastungspfaden werden als relevante Größen Direktstrahlung und die Radionuklidkonzentration in der Luft automatisch flächendeckend gemessen. Dazu stehen die Messnetze des Bfs zur Ermittlung der äußeren Strahlenbelastung (Ortsdosisleistung) und des DWD zur nuklidspezifischen Bestimmung der Radionuklidkonzentration in der Luft zur Verfügung.

Bei einem Unfall werden die Messergebnisse der Ortsdosisleistung (ODL) an allen etwa 1.800 Standorten im 10-Minuten-Rhythmus abgerufen. Dadurch kann die Ausbreitung einer radioaktiven Wolke quasi online verfolgt und die betroffenen Gebiete sehr schnell eingegrenzt werden (Abb. Seite 24 oben). Parallel dazu liefern die 40 Stationen des Luftmessnetzes des DWD die nuklidspezifische Luftaktivität im 2-Stunden-Takt. Beide Messungen sind die Grundlage für die diagnostischen Abschätzungen der äußeren Strahlenbelastung und der Inhalationsdosis. Sie können auch zur Verbesserung der RODOS-Prognosen herangezogen werden.

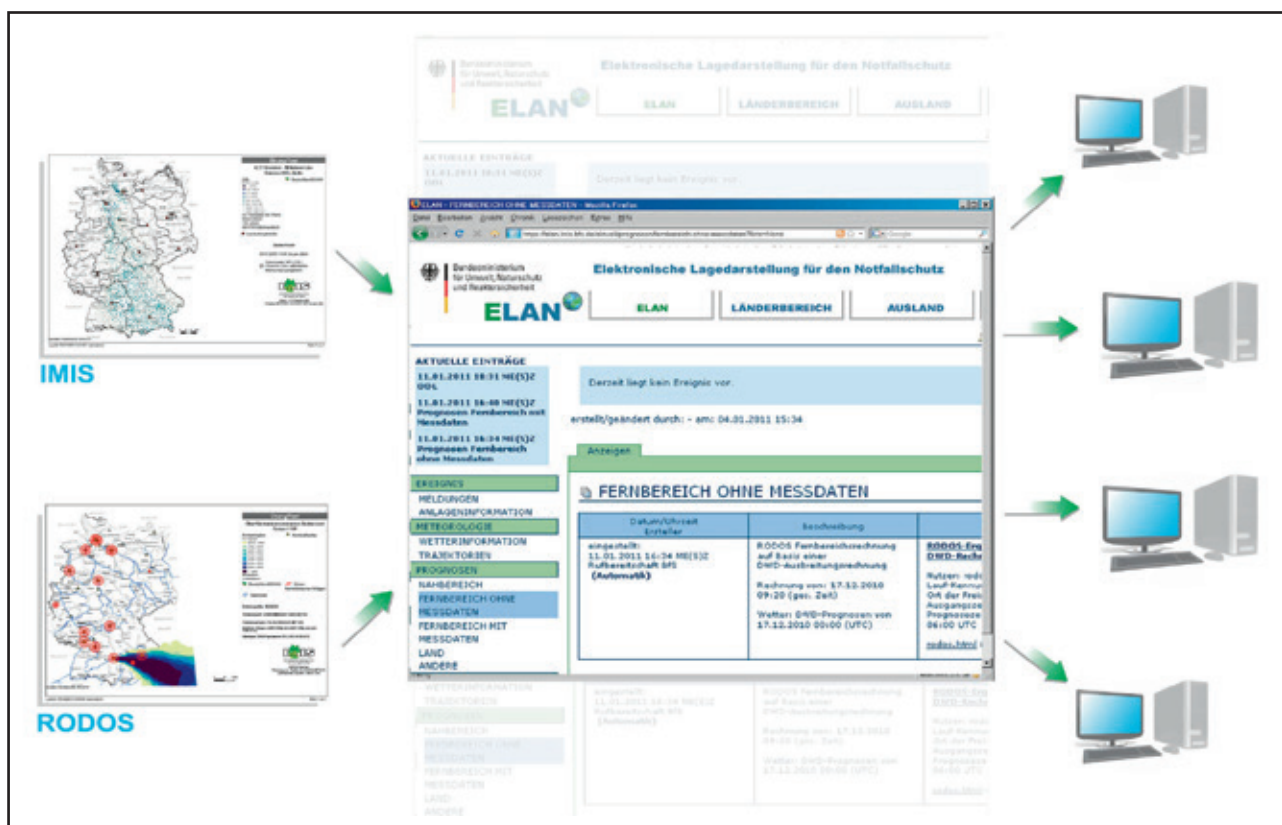
Phase (3): Nach Durchzug einer radioaktiven Wolke

In dieser Phase ist die Radionuklidaktivität in der Luft nur noch gering. Die Ablagerung (Deposition) von Radionukliden auf Böden, Pflanzen und weiteren Flächen ist weitgehend abgeschlossen. Die Expositionspfade Direktstrahlung und Ingestion (mit der Nahrung) dominieren.

Die Entscheidungsträger müssen prüfen, ob bereits eingeleitete Maßnahmen noch aufrechterhalten werden sollen. Als zusätzliche Maßnahmen müssen die Vermarktungsfähigkeit landwirtschaftlicher Produkte sowie Dekontaminationen im urbanen Bereich erörtert werden.

Zur Erörterung dieser Maßnahmen müssen möglichst detaillierte Kontaminationskarten erstellt werden, die als Grundlage für verbesserte Dosisabschätzungen und für Messstrategien zur Analyse der Vermarktungsfähigkeit landwirtschaftlicher Produkte dienen.

Grundlagen für die Erarbeitung solcher Karten sind vor allem ODL-Werte und Messergebnisse über die Höhe der abgelagerten Radionuklide am Boden (In-situ-Messungen). Für die kleinräumige Messung inhomogen verteilter Ablagerungen stehen entsprechend ausgestattete Hubschrauber der Bundespolizei und Messfahrzeuge des Bfs zur Verfügung. Zur Ermittlung der Vermarktungsfähigkeit von Lebensmitteln beproben die Landesmessstellen zunächst Blattgemüse, Milch und Gras. Diese Produkte gelten als repräsentative Umweltmedien, da in erster Näherung davon ausgegangen werden kann, dass für den Fall, dass die Eingreifrichtwerte hier eingehalten werden, diese auch in anderen Nahrungs- und Futtermitteln nicht überschritten werden. Danach richtet sich der Schwerpunkt der Analysen auf erntereife Produkte. Eine erhöhte Anzahl von Messungen wird es in Gegenden geben, in denen die Aktivitäten im Bereich der EU-Grenzwerte liegen.



Funktionsweise der Elektronischen Lagerdarstellung (ELAN).

Wohin mit den Daten?

An den IMIS-Messprogrammen sind mehr als 60 Laboratorien des Bundes und der Länder beteiligt. In einem Ereignisfall können pro Tag einige 10.000 ODL-Messwerte und bis zu 2.000 Einzelmessungen in verschiedenen Umweltmedien durchgeführt werden. Ferner werden halb- bzw. zweistündlich Dokumente in RODOS erzeugt, die Auskunft über die aktuelle und zukünftige Strahlenbelastung des Menschen geben. Zur Erfassung aller Ergebnisse wurde im BfS die „Zentralstelle des Bundes“ (ZdB) eingerichtet. Dort werden die Messergebnisse dokumentiert, geprüft und mit Hilfe moderner Software-Programme in vielfältiger Form als Karten, Grafiken oder Tabellen dargestellt.

Um die Karten und Grafiken nutzerfreundlich zu gestalten, wurden standardisierte, maßnahmenrelevante Darstellungen erarbeitet, die durch die Wahl der Farben und der Skalierung einen schnellen Überblick über die Lage ermöglichen. Die Farben dunkelgrün bis gelb bedeuten, dass diese Werte unterhalb des jeweils zu betrachtenden Eingreifrichtwertes liegen. In den orangefarbenen bis violetten Gebieten liegen die Werte der Kontaminationen oberhalb des Grenzwertes. Je intensiver die Farben sind (dunkelgrün und dunkelviolett), desto weiter ist die Kontamination nach unten bzw. nach oben vom Grenzwert entfernt.

Kommunikation

Durch IMIS werden ca. 70 Institutionen (Landesministerien, Landesbehörden, Messstellen etc.) bzw. 200 einzelne Nutzer miteinander vernetzt. Für ein schnelles, angemessenes Handeln ist es notwendig, die erzeugten Dokumente schnell und zeitgleich allen Teilnehmern zur Verfügung zu stellen. Dazu wurde die „Elektronische Lagedarstellung“ (ELAN) entwickelt. In dieses System werden alle für die Beurteilung einer Lage relevanten Informationen und Ergebnisse eingestellt, so dass sie gleichzeitig von allen IMIS-Nutzern abgerufen werden können (Abb. S. 25). Damit ist gewährleistet, dass alle am Management einer Unfallsituation beteiligten Stellen sehr schnell über dieselben Informationen verfügen. Dies ist Voraussetzung für ein abgestimmtes Handeln.

Weiterentwicklung des IMIS

Ursprünglich war IMIS für großräumige Kontaminationen der Umwelt, wie sie nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl in Deutschland auftraten, konzipiert. Mit der Einrichtung der Zentrale zum Betrieb des Entscheidungshilfesystems RODOS können jetzt auch standortnah die Kontamination der Umwelt und die Strahlenbelastung des Menschen in einem hohen Detaillierungsgrad abgeschätzt werden. Die Integration von RODOS erforderte auch eine bessere Vernetzung der Notfallschutzsysteme von Bund und Ländern, vor

allem durch einen besseren und umfangreicheren Daten- und Informationsaustausch. Die Informationsbereitstellung wurde durch die Entwicklung der elektronischen Lagedarstellung wesentlich verbessert. Alle wesentlichen Informationen werden in strukturierter Form auf den ELAN-Server gelegt und können dort von allen beteiligten Stellen jederzeit abgerufen werden.

International erfolgt ein Informations- und Datenaustausch mit der Schweiz, Frankreich und den Niederlanden über IMIS. In Abstimmung mit der EU ist eine von vier Datenzentralen zur Erfassung der europäischen Umweltmessdaten, in denen alle europäischen Messergebnisse zusammenlaufen, in IMIS integriert. Aufgebaut wurde weiterhin ein zentraler Server zur Erfassung der Umweltmessdaten der Ostseeanrainerstaaten im BfS. Damit entwickelt sich IMIS zunehmend auch zu einer europäischen Datendrehscheibe.

Fazit

Das BfS hat mit dem Gesamtsystem IMIS eine wesentliche Voraussetzung für eine funktionierende Umweltüberwachung und einen effektiven Notfallschutz geschaffen. Das Gesamtsystem IMIS wird kontinuierlich neuen Anforderungen und Entwicklungen angepasst.

Im Gegensatz zu Tschernobyl ereignete sich der Unfall von Fukushima in einem Reaktor westlicher Bauart. Dadurch sind Rückschlüsse auf Anlagen in Deutschland möglich. Untersuchungen auf der Basis des Wissens um Fukushima haben für die Weiterentwicklung des Notfallschutzes wesentliche Impulse ergeben (s. BfS-Jahresbericht 2013, <http://doris.bfs.de>).

Neben der Ausweitung der Planungsradien für die Verteilung von Jodtabletten (siehe S. 20) wurden u. a. auch die Planungsradien für die Evakuierung auf 20 km ausgedehnt. Grundlage dafür waren umfassende Modellrechnungen des BfS, wie sie erst mit den in den letzten Jahrzehnten entwickelten computergestützten Entscheidungshilfemodellen möglich sind. Die Strahlenschutzkommission hat darüber hinaus eine ganze Reihe von Empfehlungen gegeben, die u. a. die verbesserte Information und medizinische Notfallversorgung der Bevölkerung betreffen. Auch internationale Organisationen wie die IAEO und die WHO haben ihre Empfehlungen überarbeitet. Die Europäische Union hat Ende 2013 eine neue Richtlinie erlassen, die jetzt von den Mitgliedsländern sehr konkrete Planungen, Schutzkonzepte und Strategien einfordert. In Deutschland soll der Richtlinie mit einem neuen Strahlenschutzgesetz und einer Überarbeitung des untergesetzlichen Regelwerkes entsprochen werden.

Der Reaktorunfall in Tschernobyl und seine Folgen für deutsche Kernkraftwerke

Übertragbarkeit des Unfalls auf deutsche Anlagen

Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl hatte auch in Deutschland die Frage nach Konsequenzen für die betriebenen Kernkraftwerke aufgeworfen. Der damalige Bundesforschungsminister Heinz Riesenhuber hatte in ersten Stellungnahmen gesagt, dass die deutschen Reaktoren „absolut sicher“ seien. Der damals für die Reaktorsicherheit zuständige Bundesminister des Innern (BMI) beauftragte die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), eine Analyse und Bewertung des Unfalls im Hinblick auf in Deutschland befindliche Kernkraftwerke vorzunehmen.

Die RSK stellte im November 1986 zur Übertragbarkeit des Unfalls auf deutsche Anlagen fest, „dass eine prompt überkritische Leistungsexkursion, wie sie sich in Tschernobyl ereignet hatte, aufgrund der inhärenten Eigenschaften und der technischen Ausrüstung in einem Leichtwasserreaktor deutscher Bauart ausgeschlossen und dass das Sicherheitskonzept von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland durch den Unfall in Tschernobyl nicht in Frage gestellt sei.“

Als organisatorische Konsequenz wurde in Deutschland regierungsseitig eine stärkere Bündelung von Kompetenzen für erforderlich gehalten, die durch die Schaffung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (heute: BMUB) realisiert wurde.

Sicherheitsüberprüfung durch die RSK und Sicherheitsverbesserungen in den deutschen Kernkraftwerken

Obwohl das Unfallgeschehen von Tschernobyl nicht auf deutsche Anlagen übertragbar war, wurde die RSK auch gebeten, über die Analyse und Bewertung des Unfalls hinaus eine Sicherheitsüberprüfung aller in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb und in Bau befindlichen Kernkraftwerke durchzuführen.

Diese Sicherheitsüberprüfung durch die RSK umfasste eine Prüfung im Sinne der ständigen Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik von Kernkraftwerken unter Berücksichtigung von Betriebserfahrungen sowie neuer Ergebnisse von Forschungsvorhaben und Risikostudien, z. B. der Deutschen Risikostudie Phase B. Dabei wurde auch untersucht, ob sich aufgrund von Betriebserfahrungen und Erkenntnissen aus besonderen Vorkommnissen – auch aus dem Ausland –

Hinweise auf die Notwendigkeit und Möglichkeit von sicherheitstechnischen Verbesserungen der Kernkraftwerke ergeben. Die RSK hatte bei ihrer Sicherheitsüberprüfung insbesondere auch die nach damaliger Praxis zu unterstellenden Störfälle betrachtet (Auslegungsstörfälle) und die Einhaltung der Schutzziele (Erhaltung der Unterkritikalität, Gewährleistung der Kernkühlbarkeit, Sicherstellung des Aktivitätsein-schlusses) überprüft.

Die Ergebnisse der Sicherheitsüberprüfung wurden von der RSK Ende 1988 in einem Abschlussbericht zusammengestellt. Die RSK kam dabei zu einem positiven Gesamturteil zum Sicherheitskonzept der in Deutschland befindlichen Kernkraftwerke und stellte in ihrer abschließenden Bewertung fest, dass sich keine Mängel ergeben hatten, die Sofortmaßnahmen erforderlich machten. Es wurde zusätzlich untersucht,

- ob Verbesserungsmöglichkeiten bestehen,
- ob und ggf. welche Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes sinnvoll sind und
- wie Anforderungen an zukünftige periodische Sicherheitsüberprüfungen aussehen könnten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben in der Zeit nach dem Unfall von Tschernobyl entscheidend zur Einführung von Maßnahmen zur Sicherheitsverbesserung in deutschen Kernkraftwerken beigetragen und werden in den drei folgenden Unterabschnitten zusammenfassend dargestellt.

Umsetzung von Verbesserungsmöglichkeiten

Die sicherheitstechnische Ausrüstung in den Kernkraftwerken ist aufgrund der zum Zeitpunkt ihrer Genehmigung geltenden Anforderungen grundsätzlich unterschiedlich. Deshalb wären die Anlagen bei der Neugenehmigung zum heutigen Zeitpunkt ohne Änderungen nicht genehmigungsfähig. Allerdings wurden und werden sie – und werden es auch weiterhin – durch gezielte Nachrüstmaßnahmen im Laufe ihrer Betriebszeit an den aktuellen Stand sicherheitstechnischer Überlegungen herangeführt. So wurden bereits vor der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl zahlreiche Nachbesserungen wie der Austausch von Frischdampf- und Speisewasserleitungen in Siedewasserreaktoren vorgenommen. Als weiteres Beispiel sei die Nachrüstung von Notstandssystemen in älteren Anlagen genannt. Sie wurden nach der Einführung von Anforderungen zu Schutzmaßnahmen gegen bestimmte Einwirkungen von außen – insbesondere gegen zufallsbedingten Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen – und gegen Störmaßnahmen Dritter im Regelwerk bei



In den deutschen Kernkraftwerken wurden nach dem Unfall in Tschernobyl Nachrüstungen und Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes realisiert.

neueren Anlagen direkt in der Auslegung berücksichtigt und in älteren bestehenden Anlagen nachgerüstet. Notstandssysteme sind von der vorhandenen Sicherheitstechnik räumlich und systemtechnisch getrennt und können im Falle der o. g. Einwirkungen Sicherheitsfunktionen wie Reaktorabschaltung, Speisewasserversorgung und die Nachwärmeabfuhr übernehmen. Für die Doppelblockanlage Biblis mit den Blöcken A und B wurden für die Gewährleistung dieser Sicherheitsfunktionen im Notstandsfall im Gegensatz zu den anderen Anlagen keine separaten blockspezifischen Notstandssysteme nachgerüstet, sondern die bereits vorhandene systemtechnische Unterstützung der beiden Blöcke untereinander verbessert.

Im Zuge der von den zuständigen Bundesministerien nach dem Unfall von Tschernobyl veranlassten Sicherheitsüberprüfung der Kernkraftwerke durch die RSK wurde auch untersucht, ob sich aufgrund der Auswertung der für die jeweilige Anlage relevanten Betriebserfahrungen und der Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik weitere Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten ergeben. Als Ergebnis dieser Untersuchungen wurde im Abschlussbericht der RSK eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen identifiziert, die Ende der 1980er und zu Beginn der 1990er Jahre in den Anlagen umgesetzt wurden. Beispiele sind die Verbesserungen im Bereich der Störfallinstrumentierung, der räumlichen Trennung der redundanten Stränge des Notstromsystems („Entmaschung“) sowie der Störfallfestigkeit der elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der Störfallinstrumentierung. Über die technische Bewertung der Kernkraftwerke hinaus wurden auch anlagenübergreifende Themen untersucht und in diesem Zusammenhang z. B. die konsequente Weiterentwicklung anlagenspezifischer Kraftwerkssimulatoren zur Ausbildung des Betriebspersonals empfohlen.

Die Beispiele stellen nur einen kleinen Teil der Verbesserungen dar, die nach dem Beginn der Sicherheitsüberprüfung der Kernkraftwerke durch die RSK angestoßen wurden. Diese Maßnahmen sind nicht ausschließlich eine direkte Folge des Unfalls von Tschernobyl, da die Prüfung, Empfehlung und Umsetzung dieser Verbesserungsmaßnahmen parallel zu den stetig laufenden Weiterentwicklungen im technischen und regulatorischen Bereich erfolgt ist.

Anlageninterner Notfallschutz

Eines der wichtigsten Ergebnisse der Sicherheitsüberprüfung der RSK war die Empfehlung zur Einführung des anlageninternen Notfallschutzes in den Kernkraftwerken in Deutschland.

Diese Empfehlung basiert auch wesentlich auf den Ergebnissen von Sicherheits- und Risikostudien, wie z. B. der Deutschen Risikostudie Phase B, die 1981 – bereits einige Jahre vor dem Unfall in Tschernobyl – vom Bundesminister für Forschung und Technologie in Auftrag gegeben und erst danach vollständig abgeschlossen wurde. Die RSK stellte in ihrem Abschlussbericht zur Sicherheitsüberprüfung 1988 fest: „Die Empfehlung anlageninterner Notfallmaßnahmen bedeutet nicht, dass die in den Anlagen realisierte Sicherheitstechnik unzureichend ist. Solche Maßnahmen erhöhen vielmehr zusätzlich die Flexibilität der Anlage bei der Beherrschung von Ereignissen weit über das zu betrachtende Spektrum der Auslegungsstörfälle hinaus“. Die Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes sind daher als zusätzliche Maßnahmen zu dem damals bestehenden – von der RSK positiv bewerteten – Sicherheitskonzept zu sehen. Sie wurden eingeführt, um „auslegungsüberschreitende“ Zustände, wie der Super-GAU von Tschernobyl einer war, frühzeitig und sicher

zu erkennen, zu kontrollieren und mit möglichst geringen Schäden zu beenden. Bei den Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes wird zwischen schadensvorbeugenden (präventiven) und schadensmindernden (mitigativen) Maßnahmen unterschieden. Die schadensvorbeugenden Maßnahmen dienen der Verhinderung schwerer Brennelementschäden. Das Hauptziel ist dabei die Erhaltung oder Wiederherstellung der Brennelementkühlung und die Überführung der Anlage in einen sicheren Zustand. Beispiel dafür ist das Maßnahmenkonzept aus sekundärseitiger und primärseitiger Druckentlastung und Einspeisung. Dies bedeutet vereinfacht gesprochen, dass zunächst durch Öffnen von Ventilen ein Druckabbau im Bereich des Primär- und Sekundärkreislaufes bewirkt wird. Sobald der Druck in den Kühlkreisläufen hinreichend abgesenkt ist, kann dann mit Pumpen verlorenes Kühlmittel ergänzt werden.

Erst bei einem unterstellten Versagen der präventiven Maßnahmen und einem Auftreten von Brennelementschäden kommen schadensmindernde Maßnahmen zur Begrenzung bzw. Milderung schwerer radiologischer Auswirkungen in der Anlage und der Umgebung zum Zuge. Hauptziel ist hier die Erhaltung der Integrität der noch vorhandenen aktivitätseinschließenden Barrieren – z. B. des Reaktorsicherheitsbehälters, der im Falle eines Unfalls die aus beschädigten Brennelementen freigesetzten gasförmigen radioaktiven Stoffe zurückhalten soll – und die Absicherung eines langfristig kontrollierten Zustandes zum Schutz der Umgebung. Ein Beispiel dafür ist die gefilterte Druckentlastung des Reaktorsicherheitsbehälters, die in der Öffentlichkeit auch als „Wallmann-Ventil“¹ bekannt geworden ist. Dabei werden – um ein mögliches Versagen des Sicherheitsbehälters durch zu hohen Druck zu verhindern – die Gase über ein Ventil an die Umgebung abgegeben, wobei die radioaktiven Stoffe durch ein Filtersystem weitgehend zurückgehalten werden.

Der anlageninterne Notfallschutz ist heute fester Bestandteil des Sicherheitskonzeptes deutscher Kernkraftwerke. Die Implementierung der von der RSK empfohlenen Maßnahmen erfolgte im Wesentlichen im Laufe der 1990er und 2000er Jahre und ist heute für alle noch in Betrieb befindlichen Anlagen abgeschlossen. Das BfS hat dabei den Stand der Umsetzung der Maßnahmen regelmäßig verfolgt und in Zusammenarbeit mit den atomrechtlich zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Länder in Statusberichten dokumentiert. Seit der Veröffentlichung der neuen „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke“ im November 2012 ist der anlageninterne Notfallschutz im kerntechnischen Regelwerk verankert.

Periodische Sicherheitsüberprüfungen

In dem Abschlussbericht der RSK von 1988 wurde erstmals auch ein Vorschlag für Anforderungen an künftige periodische Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ)

der Kernkraftwerke in Ergänzung zu der ständigen behördlichen Aufsicht erarbeitet. Die Betreiber hatten sich seinerzeit freiwillig verpflichtet, die PSÜ durchzuführen. Sie wurde ab April 2002 als gesetzliche Vorgabe gemäß § 19a Atomgesetz als Sicherheitsüberprüfung (SÜ) verbindlich festgeschrieben. Das BfS hat die Leitfäden zur PSÜ und zur SÜ sowie die zugehörigen Leitfäden und Fachbände zu den probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) maßgeblich mitgestaltet.

Übereinkommen über nukleare Sicherheit

Die Bundesregierung hat nach dem Unfall von Tschernobyl die internationale Zusammenarbeit bei der Gewährleistung der Sicherheit in Kernkraftwerken vorangetrieben. So trug ihre Initiative wesentlich dazu bei, dass ein Übereinkommen über nukleare Sicherheit (Convention on Nuclear Safety) erarbeitet und 1994 verabschiedet wurde. Die Beitrittsstaaten zu dieser Konvention verpflichten sich zu einer Einhaltung grundlegender Anforderungen für die Reaktorsicherheit und unterwerfen sich regelmäßigen Überprüfungsprozessen. Die nukleare Sicherheitskonvention stellt damit ebenfalls ein mittelbar aus dem Unfall von Tschernobyl hervorgegangenes Element zur Sicherheitsverbesserung in deutschen und ausländischen Kernkraftwerken dar.

Beendigung der Nutzung der Kernenergie zur Stromversorgung

In einigen Ländern hat der Reaktorunfall von Tschernobyl den Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung bewirkt. In Deutschland wurde dafür nach der Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000 im Jahr 2002 mit einer Novelle des Atomgesetzes die rechtliche Grundlage geschaffen. Nach einer zwischenzeitlichen Laufzeitverlängerung für die deutschen Kernkraftwerke im Jahr 2010 hat am 11. März 2011 der folgenschwere Unfall im japanischen Kernkraftwerk Fukushima zu einem weiteren Einschnitt in der Nutzung der Kernenergie in Deutschland geführt. Gemäß dem am 6. August 2011 in Kraft getretenen 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes wird die Nutzung der Kernenergie zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität bis spätestens Ende 2022 beendet.

1 Dr. Walter Wallmann, erster Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Maßnahmen der Bundesregierung zur Verbesserung der Sicherheit von Kernkraftwerken sowjetischer Bauart

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahre 1986 überprüften alle Staaten, in denen Kerneenergie genutzt wird, ob aus diesem Unfall Schlussfolgerungen für die Verbesserung ihrer Kernkraftwerke gezogen werden könnten bzw. müssten. Darüber hinaus wurde die internationale Zusammenarbeit verstärkt mit dem Ziel, vergleichbare Unfälle zu verhindern. Das schloss auch eine verstärkte Zusammenarbeit mit der damaligen Sowjetunion ein. Diese Zusammenarbeit wurde durch eine beginnende Öffnung der Sowjetunion gegenüber den westlichen Staaten und durch die späteren Demokratisierungsprozesse in den Nachfolgestaaten der Sowjetunion sowie in weiteren Ländern Mittel- und Osteuropas begünstigt.

Durch diesen Öffnungsprozess wurden nun auch für westliche Spezialisten detaillierte Informationen zur sowjetischen Kernkraftwerkstechnik zugänglich. Das Hauptaugenmerk bei der verstärkten internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergie wurde nun auf den Sicherheitsstatus der Kernkraftwerke sowjetischer Bauart gerichtet. Aufgrund der Tatsache, dass sich Anlagen sowjetischer Bauart an den Standorten in Greifswald und Rheinsberg in Betrieb und in Stendal im Bau befanden und umfangreiche Kenntnisse der ostdeutschen Experten zur sowjetischen Reaktortechnik vorhanden waren, bestand für die Bundesrepublik Deutschland die einzigartige Voraussetzung, eine Vorreiterrolle in diesem Prozess zu übernehmen.

Bereits bei den ersten Untersuchungen wurden Unterschiede zur westlichen Technik und zu westlichen Methoden der Sicherheitsgewährleistung sichtbar. In internationalen und bilateralen Projekten wurde eine ganze Reihe von Schwachstellen oder Sicherheitsdefiziten nach westlichen Maßstäben ermittelt und kategorisiert. Gleichzeitig wurde klar, dass man die östliche Seite, die in einem politischen und wirtschaftlichen Umwälzungsprozess stand, bei ihren Bemühungen zur Verbesserung der Sicherheit ihrer kerntechnischen Anlagen unterstützen musste. Von Anfang an wurden die östlichen Experten in die Untersuchungen eingebunden. Hierdurch erfolgte gleichzeitig ein Wissens-, Erfahrungs- und Informationstransfer insbesondere zu den dortigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und ihren Expertenorganisationen, die sich in einer Neuformierungsphase befanden.

Im Auftrag der Bundesregierung wurde frühzeitig ein Gesamtkonzept zur Unterstützung der Staaten Mittel- und Osteuropas und der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS) beim Aufbau von Demokratie und sozialer Marktwirtschaft erarbeitet. Dieses Konzept wurde kontinuierlich weiterentwickelt. Es beinhaltet

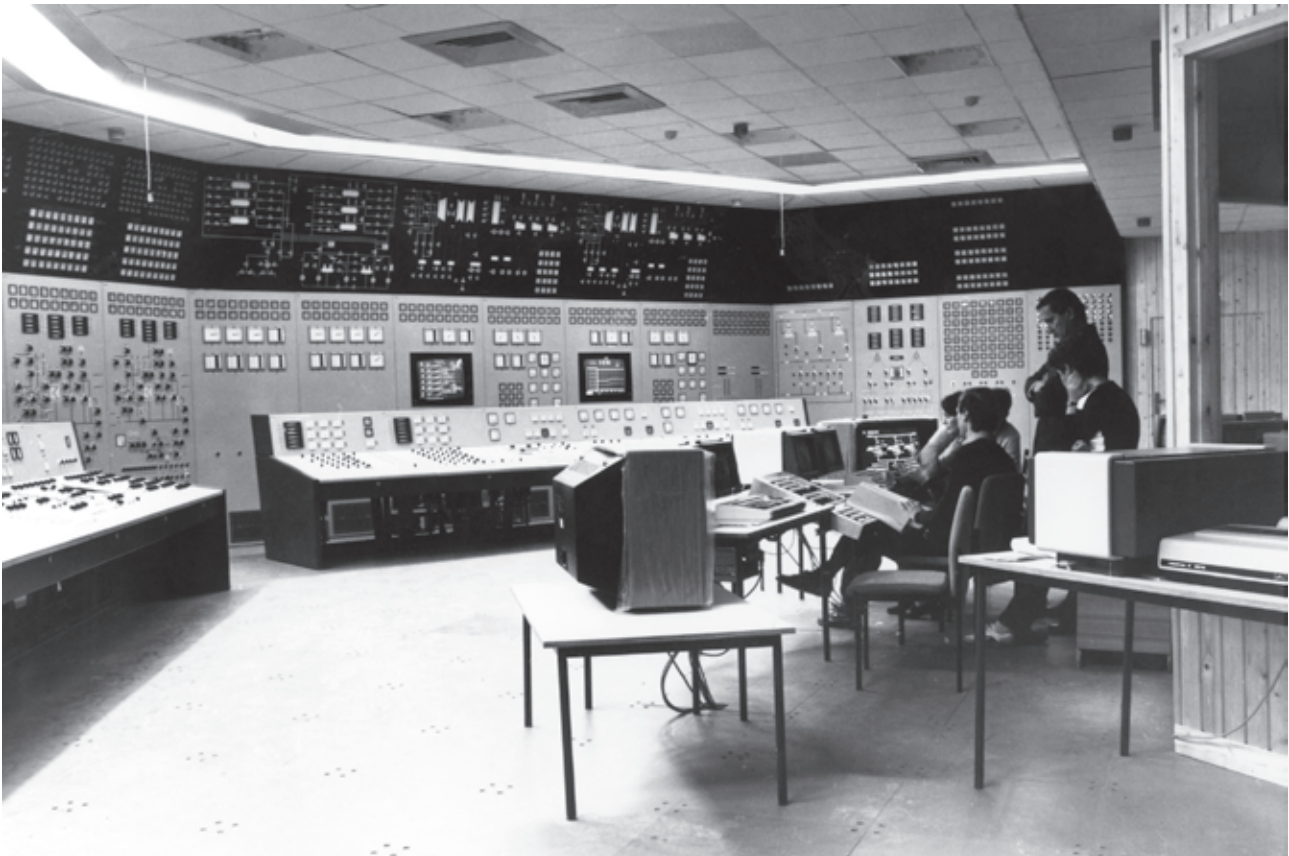
- die Beteiligung der Bundesregierung an multilateralen Aktionsprogrammen im Rahmen der westlichen Staatengemeinschaft,
- ein Kooperationsprogramm der deutschen Energiewirtschaft mit Partnerschaften zwischen Kernkraftwerken im Rahmen der World Association of Nuclear Operators (WANO),
- bilaterale Programme des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie weiterer Bundesministerien, gestützt auf entsprechende Verträge.

Dem Bundesumweltministerium wurde zu Beginn der 90er Jahre die Schwerpunktaufgabe übertragen, zur Verbesserung der Sicherheit der kerntechnischen Anlagen, insbesondere der Kernkraftwerke in den Ländern Mittel- und Osteuropas sowie der GUS beizutragen. Die Unterstützung ist dabei vor allem gerichtet auf

- die Stärkung der Aufsichts- und Genehmigungsbehörden und deren wissenschaftlich-technischen Institutionen und auf die Verbesserung der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtspraxis,
- die Ermittlung des Sicherheitsstatus und die Verbesserung der Sicherheit der Kernkraftwerke,
- die Vermittlung von westlichen Vorgehensweisen und Erfahrungen in Form von Seminaren, Workshops oder Qualifizierungsaufenthalten für Experten und verantwortliche Personen sowie auf den Methodentransfer und auf
- die Gewährleistung der Sicherung kerntechnischer Anlagen.

Einen Schwerpunkt der Unterstützungsmaßnahmen bildete die Aus- und Weiterbildung des Personals von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und ihrer Sachverständigenorganisationen, aber auch des Personals aus den Kernkraftwerken. Da eine gründliche und zielgerichtete Ausbildung des Betriebspersonals wesentlich zur Betriebssicherheit beiträgt, konzentrierte sich ein Teil der Maßnahmen auf die Einführung von Ausbildungssystemen sowohl für leitendes als auch für sonstiges Betriebspersonal kerntechnischer Anlagen nach westlichem Vorbild. Hierzu wurden für das KKW-Personal der Ukraine ein Ausbildungskonzept entwickelt, Seminare zur deutschen Sicherheitsphilosophie durchgeführt sowie Schulungsbegleitunterlagen und Betriebsprozeduren erarbeitet.

Aufgrund zunächst fehlender oder unzureichender Trainingsmöglichkeiten für das Schichtpersonal in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart wurden bereits Anfang 1992 die ersten Simulatorkurse für die KKW Riwne (Ukraine) und Kola (Russische Föderation) in Greifswald durchge-



Osteuropäisches Personal aus Kraftwerken und Genehmigungsbehörden wurde im Rahmen der Unterstützungsmaßnahmen an deutschen KKW-Simulatoren weitergebildet.

führt. Ab dem Jahr 1994 wurde das KKW Nowoworonesch (Russische Föderation) einbezogen. Durch den in Greifswald vorhandenen Simulator konnte auf dem Gebiet der Personalausbildung ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Betriebssicherheit geleistet werden.

Zur Aus- und Weiterbildung der Aufsichts- und Genehmigungsbehörden sowie ihrer Sachverständigenorganisationen wurden und werden Seminare, Workshops, Arbeitstreffen und Hospitationen auf dem Gebiet der Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen und des Strahlenschutzes durchgeführt.

Die Programme der Veranstaltungen werden stets an den aktuellen Erfordernissen und entsprechend neuesten Erkenntnissen ausgerichtet. So wurden im Jahr 2005 u. a. Veranstaltungen zu folgenden Themen durchgeführt:

- Physischer Schutz von Kernmaterial und kerntechnischen Anlagen auf der Basis eines Bedrohungsmodells bei Berücksichtigung des gesteigerten internationalen Terrorismus.
- Aufbau und Verwendung numerischer Modelle zur Bewertung der Auswirkungen von Altlasten des Uranbergbaus auf den Menschen und zur Optimierung von Sanierungsstrategien.

- Genehmigung und Aufsicht bei der Vorbereitung und Durchführung der Stilllegung kerntechnischer Anlagen.

Die Durchführung von Seminaren und Workshops als internationale Veranstaltungen hat sich bewährt. Die Durchführung dieser Veranstaltungen dient der Realisierung des Ziels der Bundesregierung, darauf hinzuwirken, dass die Risiken aus dem Betrieb der Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Anlagen im Ausland verringert werden, solange in souveräner Entscheidung der betreffenden Staaten Kernenergie großtechnisch genutzt wird.

Internationale Maßnahmen zur Unterstützung der Ukraine bei der Stilllegung des KKW Tschernobyl

Die Zerstörung des Blocks 4 des ukrainischen KKW Tschernobyl am 26.04.1986 bleibt auch nach dem Unfall im KKW Fukushima Daiichi das bisher größte und folgenschwerste Ereignis bei der zivilen Nutzung der Kernenergie. Die weitreichenden und langwierigen ökologischen, gesundheitlichen und wirtschaftlichen Folgen dieses Unfalls stellten die damalige Sowjetunion und später Russland, Weißrussland, aber insbesondere die Ukraine vor große Herausforderungen.

Nach dem politischen und territorialen Zerfall der Sowjetunion und des gesamten „Ostblocks“ und dem Bekanntwerden von Details der sicherheitstechnischen Schwächen der RBMK-Reaktoren („Tschernobyl-Typ“) in den westlichen Staaten drängten diese auf die Stilllegung der RBMK-Baulinien.

Die G7 verabschiedeten im Jahr 1992 auf ihrem Gipfel in München ein multilaterales Aktionsprogramm zur Verbesserung der nuklearen Sicherheit in Mittel- und Osteuropa. Dieses Programm umfasste Themen wie die Sicherheit der Betriebsführung, Sicherheitsbewertungen, behördliche Kontrollen, Schaffung von Ersatzkapazitäten zur Stromerzeugung, aber auch die Nachrüstung neuerer Anlagen, soweit dies mit einem vertretbaren Aufwand als möglich erachtet wurde.

Im April 1993 wurde auf Vorschlag der G7-Staaten der Nuclear Safety Account (NSA) bei der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBWE) in London eingerichtet, um zunächst sicherheitserhöhende Maßnahmen an älteren Reaktoren sowjetischer Bauart in Mittel- und Osteuropa zu finanzieren. Die Mittel werden von der EBWE verwaltet. Die Bank unterliegt der Kontrolle des Instruments der Geberversammlung.

Auf dem G 7-Gipfel im Juli 1994 in Neapel wurde der Ukraine ein Aktionsplan zur Unterstützung für den Fall der Stilllegung des KKW Tschernobyl angeboten. Ziele dieses Plans waren die schnelle Schließung des KKW Tschernobyl, die Schaffung von Ersatzkapazitäten sowie die Reform des Energiesektors.

Diese Initiative führte am 20.12.1995 zur Unterzeichnung des „Memorandum of Understanding on the Closure of the Chernobyl Nuclear Power Plant“ (MoU) zwischen den Regierungen der G7-Staaten, der EU-Kommission und der Ukraine im kanadischen Ottawa. Die politische Vereinbarung beruht auf der Zusage von Präsident Kutschma mit Brief vom 8. August 1995 an die G7-Führung, das KKW Tschernobyl bis zum Jahr 2000 abzuschalten.

Die Vereinbarung enthält ein Programm für Zusammenarbeit, bestehend aus zwei Teilen:

Der erste Teil ist auf die Lösung von Fragen der nuklearen Sicherheit am Standort des KKW Tschernobyl gerichtet.

Der zweite Teil soll helfen, Fragen der Sicherstellung der Energieversorgung in der Ukraine nach Abschaltung des KKW Tschernobyl zu lösen.

Zur Umsetzung der Maßnahmen zur nuklearen Sicherheit wurde im November 1996 eine Zuschussvereinbarung zum NSA zwischen der EBWE und der Ukraine in Höhe von umgerechnet 118,1 Mio. EUR zur Vorbereitung der endgültigen Stilllegung des KKW Tschernobyl unterzeichnet. Sie war u. a. gedacht für kurzfristige Sicherheitsverbesserungen am Block 3, für eine Anlage zur Behandlung flüssiger radioaktiver Abfälle und ein Zwischenlager für abgebrannte RBMK-Brennelemente. Weitere Mittel für Maßnahmen zur Bewältigung der Unfallfolgen wurden über das EU-Programm „Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States“ (TACIS), Projekte der UN-Organisation International Atomic Energy Agency (IAEA) und über bilaterale Unterstützung durch verschiedene Staaten bereitgestellt. Das TACIS-Programm lief 2006 aus und wurde durch das „Instrument for Nuclear Safety Cooperation“ (INSC) ersetzt. Im Rahmen dieses Programms werden auch weiterhin Mittel für Maßnahmen zur Bewältigung der Unfallfolgen zur Verfügung gestellt.

Da es Mitte der 1990er Jahre unterschiedliche Ansichten bezüglich der Entsorgung der kernbrennstoffhaltigen Materialien aus dem Sarkophag gab, wurde vorgeschlagen, einen kurzfristig realisierbaren Plan zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit des havarierten Blockes 4 zu entwickeln. Im Mai 1997 stellte



2011 - Vorbereitung der Errichtungsfläche des New Safe Confinement (NSC) vor stabilisiertem Sarkophag - Quelle EBWE.

eine Gruppe internationaler Experten ein multidisziplinäres Programm fertig, das als „Shelter Implementation Plan“ (SIP) bezeichnet wurde. Im Rahmen des SIP wurden vor allem Stabilisierungsarbeiten am Sarkophag geplant mit dem Ziel, einen möglichen Einsturz sowie weiteres Eindringen von Wasser zu verhindern und schließlich einen sicheren Einschluss herzustellen.

Im SIP wurden nicht einzelne technische Lösungsvorschläge gegeben, sondern das Herangehen beschrieben, mit dem ein optimales Vorgehen entwickelt und die zuvor definierten Hauptziele erreicht werden können.

Der SIP beinhaltet fünf Hauptziele:

1. Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Einsturzes des Sarkophags (geotechnische und seismische Untersuchungen des Baugrunds, Stabilisierung, Abschirmung und Überwachung).
2. Reduzierung der radiologischen Auswirkungen (Staubunterdrückung, Notfallschutzmaßnahmen).
3. Verbesserung der nuklearen Sicherheit des Sarkophags (Charakterisierung der kernbrennstoffhaltigen Materialien, Wasserbehandlung, Kritikalitätsverhinderung).
4. Verbesserung der Sicherheit des Personals und des Umweltschutzes (Strahlenschutz, Arbeitsschutz, Brandschutz, Überwachungssysteme, Informationssystem).
5. Entwicklung einer langfristigen Strategie für die Umwandlung in einen umwelttechnisch sicheren Standort (Strategie und Technologie zur Bergung der kernbrennstoffhaltigen Materialien, neuer Einschluss und teilweiser Rückbau des Sarkophags).

Die genannten Ziele des SIP zur Sanierung des Sarkophags sind pragmatisch gewählt und umfassen einen überschaubaren Zeithorizont. Der Sarkophag soll mittelfristig sicherer gemacht werden, damit Zeit gewonnen wird, um langfristige Lösungen, insbesondere für die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle, zu entwickeln. Für die nächsten 50 bis 100 Jahre soll ein stabiler Zustand erreicht werden.

Die Hauptziele des SIP sollten bei einer geplanten Projektdauer von 8 - 9 Jahren in zwei Projektabschnitten erreicht werden:

1. Konzeptentwicklung und Notstabilisierung
2. Sicherer Einschluss

Der SIP gliedert sich in 22 Aufgaben mit insgesamt 297 Arbeitsschritten. Diese Aufteilung wurde u. a. zur Entwicklung eines Zeitplans und einer Kostenabschätzung verwendet.

Verschiedene Bewertungen wurden erstellt, ob die Arbeiten des SIP durch diese Planung vollständig erfasst und erfüllt werden. Die EBWE geht von einer vollstän-

digen Erfüllung aller Aufgaben nach der Errichtung des NSC aus. Andere Bewertungen sehen die Notwendigkeit der Finanzierung und Realisierung einiger zusätzlicher Vorhaben. Da der SIP keine Auflistung von Maßnahmen darstellt, sondern nur Sicherheitsziele vorgibt, werden diese Positionen weiterhin in der Diskussion bleiben. Unklar sind derzeit auch noch der Zeitplan und die noch in Planungsansätzen steckende Verfahrensweise für die Entsorgung der kernbrennstoffhaltigen radioaktiven Materialien aus dem Sarkophag, für die die Inbetriebnahme des NSC mit allen Systemen die notwendige Voraussetzung ist.

Die Kosten für die Umsetzung des SIP waren im Jahre 1997 zunächst mit 758 Mio. US\$ (zuzüglich 10 Mio. US\$ zur Unterstützung des Genehmigungsverfahrens) prognostiziert worden. Als Bauzeit wurden sieben Jahre (1998 - 2005) angesetzt. In Umsetzung des MoU sagten 1997 während des Gipfels in Denver als erste die G7-Staaten der Ukraine die Bereitstellung von zunächst 300 Mio. US\$ für die Sanierung des Sarkophags zu. Auf der im November 1997 einberufenen ersten Geberkonferenz in New York wurden auch andere Staaten aufgerufen, sich als „Geber“ an der Finanzierung zu beteiligen. Dabei sagten 25 Länder rund 400 Mio. US\$ zu. Diese Summe enthielt einen Beitrag der Ukraine in Höhe von 50 Mio. US\$ in Form von Eigenleistungen. Dieser Betrag war zunächst ausreichend, um mit den ersten Arbeiten im Rahmen des SIP zu beginnen.

Ebenfalls 1997 richteten die G7, die Europäische Kommission und die übrigen Geber mit Hilfe der EBWE als Verwalterin den „Chernobyl Shelter Fund“ (CSF) ein. Aus diesem Fonds sollte entsprechend dem SIP nach ersten Stabilisierungsmaßnahmen am Sarkophag u. a. die neue sichere Umschließung des havarierten Tschernobyl-Reaktors, das NSC, finanziert werden. Zur Umsetzung der Aktivitäten des CSF in der Ukraine wurde am 20. November 1997 eine Rahmenvereinbarung zwischen der Ukraine und der EBWE unterzeichnet. Sie wurde am 4. Februar 1998 durch das ukrainische Parlament, die Werchowna Rada, ratifiziert.

Die eigentliche Projektdurchführung begann mit der Einrichtung einer Project Management Unit (PMU) im April 1998.

Im Rahmen des ersten Projektabschnitts erfolgten die Stabilisierungsarbeiten am Sarkophag, die 2009 mit der Abdichtung des Daches erfolgreich abgeschlossen wurden. Die Hauptmaßnahme des zweiten Projektabschnitts des SIP war danach die Errichtung des NSC.

Seine Errichtung und Inbetriebnahme ist die wichtigste Voraussetzung für die Umsetzung aller weiteren Arbeiten zur Standortsanierung.

Das NSC ist eine bogenförmige Metallkonstruktion, die ca. 200 m westlich vom Sarkophag entfernt errichtet und nach kompletter Vormontage über den Sarkophag

und über einen Teil des von den Blöcken 3 und 4 gemeinsam verwendeten Maschinenhauses geschoben werden soll. Das NSC soll den Sarkophag und das darin enthaltene radioaktive Material für bis zu 100 Jahre von der Umwelt sicher isolieren. Darüber hinaus soll das NSC Ausrüstungen und Vorrichtungen umfassen, um instabile Strukturen zu demontieren und in einer späteren Phase kernbrennstoffhaltige Materialien entfernen zu können.

Das Ausschreibungsverfahren für das NSC zog sich mit einer Zeitspanne von 2003 bis 2006 wesentlich länger hin als vorgesehen.

Am 17. Juli 2007 konnten die Geberländer des CSF gegenüber der EBWE die lang erwartete Unbedenklichkeitserklärung zur Zuschussvereinbarung für das NSC abgeben und genehmigten damit eine erste Mittelzuweisung zur Projektrealisierung. Der Vertrag mit dem französisch geführten Konsortium Novarka wurde am 24. August 2007 unterzeichnet.

Mitglieder des Konsortiums sind die Unternehmen VINCI Construction Grands Projets (Kosortialführer) and Bouygues Travaux Publics (beide Frankreich).

Weitere ausländische und auch einige ukrainische Unternehmen sind als Unterauftragnehmer beteiligt.

Der damalige Zeitplan sah die Fertigstellung des NSC im Jahr 2013 vor. Heute soll das aktualisierte Fertigstellungsdatum 30.11.2017 eingehalten werden.

Die ukrainische Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde wurde zu Beginn der Genehmigungsphase durch ein Beraterteam „SIP Licensing Consultant“ (SIP-LC) unterstützt, in dem Fachleute aus US-amerikanischen, französischen und deutschen Expertenorganisationen arbeiteten. Diese personelle Verstärkung war in den Anfangsjahren durch die Geber als notwendig erachtet worden. Darüber hinaus sollte mit der Auflage zur Erstellung eines „Conceptual Design Safety Documentation“ (CDS) im Genehmigungsprozess eine maximale Kontrolle des angestrebten Sicherheitsniveaus bereits in der Designphase erreicht werden.

Nach zwei erheblichen Fondsaufstockungen von jeweils mehr als 600 Mio. EUR im April 2011 bzw. 2015 stehen im CSF nun ausreichend Mittel zur erfolgreichen Fertigstellung des NSC bereit. Die gesamten in den beiden Fonds NSA und CSF zugesagten Mittel werden jedoch



August 2015 - Blick auf die zusammengeschlossenen Hälften des NSC - Quelle ChNPP.

nach derzeitigem Stand nicht ausreichen, um die Gesamtkosten der mit diesen beiden Fonds verbundenen Projekte zu decken. Dies gilt vor allem für die Fertigstellung des ISF-2 inklusive aller Lagerbehälter.

Die aktualisierte Kostenschätzung des Konsortiums Novarka benennt zur Fertigstellung des NSC nunmehr Kosten von ca. 1,5 Mrd. EUR. Hinzu kommen weitere über diesen Fonds finanzierte SIP-Maßnahmen i. H. v. rd. 600 Mio. EUR, die nicht unmittelbarer Vertragsgegenstand des NSC sind. Unter der G7-Führung Deutschlands konnten die Geber Ende April 2015 mit ihren weiteren Finanzzusagen vor dem 30. Jahrestag des Unglücks die Fertigstellung des NSC bis Ende 2017 finanziell absichern. Auch China, Kasachstan und Saudi-Arabien gehören nun zum Kreis der Geber.

Deutschland ist am CSF derzeit mit rd. 114 Mio. EUR direkt beteiligt. Zusätzlich ist es über seine Anteile am Haushalt der Europäischen Kommission, der formal größten Geberin, indirekt beteiligt.

Der bereits erwähnte NSA, aus dem in den Anfangsjahren nicht nur Projekte für die Ukraine finanziert wurden, dient gegenwärtig u. a. der Finanzierung einer Aufbereitungsanlage für flüssige radioaktive Abfälle („Liquid Radwaste Treatment Plant“ (LRTP), die mittlerweile in Betrieb genommen wurde) und eines Langzeit-Zwischenlagers (mit Konditionierungsanlage) für die trockene Lagerung abgebrannter Brennelemente („Intermediate Spent Fuel Storage Facility“ (ISF-2)) am Standort des KKW Tschernobyl. Der direkte deutsche Gesamtbeitrag für den Ukraine-Anteil des NSA beträgt ca. 50 Mio. EUR.

Das ISF-2 ist erforderlich als Ersatz für das derzeit zur Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente genutzte und aus sicherheitstechnischer Sicht zu ersetzende Nasslager ISF-1. Auch die weitere Stilllegung der Blöcke 1 - 2 des KKW erfordert die Verbringung der Brennelemente aus dem ISF-1 ins ISF-2.

Der Hauptteil der ca. 22.000 am Standort Tschernobyl vorhandenen Brennelemente befindet sich im ISF-1, dessen Betriebsgenehmigung von 2016 um weitere 10 Jahre bis 2026 verlängert wurde. Weitere beschädigte Brennelemente befinden sich noch in den Abklingbecken der abgeschalteten KKW-Blöcke 1 und 2. Die Brennelemente aus dem zum zerstörten Block 4 benachbarten Block 3 wurden inzwischen vollständig ausgeladen.

Auslegung und Bau des ISF-2 war 1999 an ein Konsortium unter Leitung von Framatome (jetzt AREVA) vergeben worden. Die Fertigstellung war ursprünglich für 2004 vorgesehen. Seit dem Frühjahr 2003 war der Weiterbau des ISF-2 wegen erkannter Mängel in der Auslegung unterbrochen worden. Die Mängel stehen im Zusammenhang mit der ursprünglichen Nichtberücksichtigung von mechanisch beschädigten (verformten) Brennelementen und von Brennelementen mit undich-

ten (folglich eventuell wasserhaltigen) Brennstäben. Das bisherige Konzept der Zwischenlagerung der Brennelemente in gasdichten Schutzrohren bzw. Pennalen (1. Barriere gegen den Austritt radioaktiver Stoffe), die in Behältern (2. Barriere) angeordnet werden, die wiederum in Betonblöcke eingelagert werden, konnte aufgrund der zum Teil verformten Brennelemente (für diese ist der Durchmesser der Pennale zu klein) oder der möglichen Korrosions- und Druckaufbauprozesse (Wasser in den Brennstäben) in den Pennalen nicht angewendet werden. Im Jahr 2007 schlug die US-amerikanische Firma Holtec eine technische Lösung zur Trocknung der Brennelemente und für den Ersatz der Pennale vor und erhielt den Vertrag zur Fertigung der geeigneten Lagerbehälter („Double Wall Canisters“ – DWC) und auch zur Fertigstellung des gesamten Lagers ISF-2.



ISF-2 Beton-Lagerblöcke zur Aufnahme der DWC – Quelle ChNPP.

Die internationalen Unterstützungsmaßnahmen haben die Situation am Standort Tschernobyl bereits erheblich verbessert. Gleichzeitig zeigen vor allem die beiden Hauptprojekte NSC und ISF-2, dass solche komplexen internationalen Vorhaben mit z. T. erheblichen Herausforderungen behaftet sind. Diese sind sowohl technischer, organisatorischer aber auch finanzieller Art. Andererseits gab es aufgrund der Einzigartigkeit und Größe der Projekte auch keine Alternative, da die Ukraine zu keiner Zeit wirtschaftlich in der Lage war, die Probleme am Standort Tschernobyl aus eigener Kraft zu lösen.

Mit der vereinten Unterstützung aller Geber besteht die reale Aussicht, dass zum Ende dieses Jahrzehnts ein weiterer wesentlicher Schritt zur Überführung des Standorts Tschernobyl in einen sicheren Zustand realisiert werden kann, nämlich der Rückbau der instabilen Teile des alten Sarkophags. Ebenso können dann Entscheidungen getroffen werden, wie mit den eingeschlossenen radioaktiven Stoffen und dem zerstörten Block weiter verfahren werden soll. Die Arbeiten zur Umsetzung entsprechender Konzeptionen werden weitere Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Erfahrungen und Erinnerungen aus Ost und West

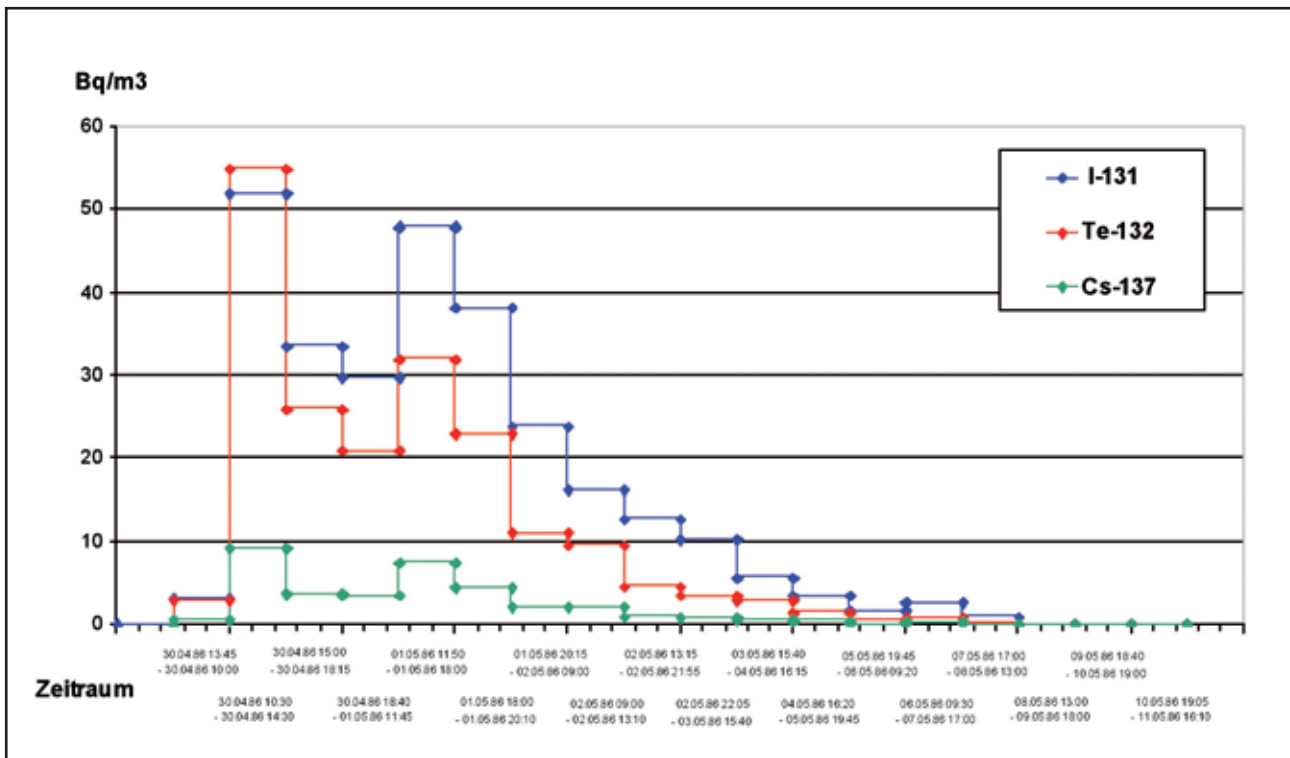
Aus dem Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes (BRD)

Nach den ersten eingehenden Informationen war die Ankunft der radioaktiven Luftmassen aus Tschernobyl für Samstag, den 3. Mai 1986, in München angekündigt. Die Mitarbeiter des Instituts für Strahlenhygiene (ISH), die sich mit der Messung der Umweltradioaktivität befassten, hatten sich auf dieses Ereignis vorbereitet. Es wurde eine Sammelstelle für radioaktive Aerosole aufgebaut, Geräte zur Messung der äußeren Strahlenbelastung wurden bereitgehalten und 5-l-Kanister für Milchproben gekauft. Überraschenderweise stieg dann bereits am Nachmittag des 30. Aprils die Ortsdosisleistung im Münchner Raum deutlich an. Die Wolke kam über Norditalien, Österreich und die Schweiz nach Süddeutschland und driftete weiter nach Norden. Umgehend wurde mit den vorbereiteten Probenentnahmen und Messungen begonnen. Der Anstieg der Radioaktivität übertraf deutlich die Erwartungen und löste bei den Beteiligten eine rege Geschäftigkeit und gespannte Neugierde aus. Die Erregung über dieses Ereignis war so groß, dass es keiner Aufforderung an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bedurfte, am nächsten Tag, dem 1. Mai, anwesend zu sein. Fast alle waren unaufgefordert am Arbeitsplatz erschienen und

gespannt, wie sich die Messergebnisse weiterentwickeln würden.

Die äußere Strahlenbelastung (Ortsdosisleistung, ODL) stieg an diesem Tag auf ca. $1 \mu\text{Sv/h}$ an, mehr als das 10-fache des Normalpegels ($0,08 \mu\text{Sv/h}$). Die spektrometrischen Messungen der Luftfilterproben gaben einen ersten Hinweis darauf, dass vor allem die kurzlebigen Radionuklide Tellur-132/ Iod-132 für den Anstieg der äußeren Strahlenbelastung verantwortlich waren. Hinsichtlich der Belastung der Nahrungsmittel waren in den ersten Wochen Iod-131 und, nach dessen Abklingen, Cs-134/137 relevant. Die Radionuklidaktivität in der Luft erreichte ihr Maximum am 1. Mai, ging dann etwas zurück, um am 3. Mai nochmals fast den Maximalwert zu erreichen. Danach fiel der Aktivitätspegel in der Luft sehr schnell ab (Abb. unten).

Aufgrund des sehr späten Frühlingsbeginns im Jahr 1986 hatte die Wachstumsperiode in Oberbayern gerade erst begonnen. Deshalb mussten von Nahrungsmitteln zunächst nur Milch und Spinat beprobt werden. Die Messungen zeigten, dass Iod-131 das dosisrelevante Radionuklid in dieser Anfangsphase war. Im Spinat wurden bis 20.000 Bq/kg I-131 und in der Milch lokal über 500 Bq/l I-131 gemessen. Das damals verantwort-



Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Iod-131, Tellur-132 und Cäsium-137 in der Luft in Neuhberg bei München nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

liche Bundesministerium des Innern wurde vom ISH permanent über die Entwicklung der Lage informiert. Es alarmierte die Strahlenschutzkommission (SSK), deren Mitglieder sich erstmals am 2. Mai trafen, um die Lage zu erörtern.

Die Beratungen waren nicht einfach, da die Umweltra dioaktivität nicht systematisch gemessen wurde. Verfügbare Informationen gab es nur bruchstückhaft, da lediglich die Ergebnisse einiger punktueller Messungen in Deutschland vorlagen. Hinzu kam, dass Informationen aus dem Ausland kaum vorhanden waren. Die UdSSR hatte zunächst gar nicht und dann auch nur unzureichend über die Unfallsituation informiert. Ebenso waren auch keine Informationen über die Kontamination der Umwelt aus den anderen östlichen Staaten verfügbar. Westliche Länder wie Frankreich nahmen die aufgetretenen Kontaminationen nicht offiziell zur Kenntnis. Weiter kam erschwerend hinzu, dass Politiker sich schon früh ohne ausreichende Kenntnis der Lage äußerten und beschwichtigende Prognosen wagten, die sich sehr schnell als nicht haltbar herausstellten. Auch die damalige EG hat nach einer anfänglichen Einfuhrbeschränkung für frische Nahrungsmittel aus Drittländern erst am 31. Mai 1986 Cs-137-Grenzwerte für die Einfuhr von Lebensmitteln erlassen, die im Übrigen heute noch gültig sind.

Die Messergebnisse, insbesondere aus dem südbayerischen Raum, machten dem Ministerium und den Mitgliedern der SSK aber deutlich, dass Aussagen zur radiologischen Situation und Beschränkungen der Radioaktivität in Lebensmitteln notwendig wurden. Die Ergebnisse der SSK-Beratungen am 2. Mai lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es waren keine akuten gesundheitlichen Schäden zu befürchten. Aus Gründen der Vorsorge sollten vermeidbare Strahlenexpositionen durch geeignete und praktikable Maßnahmen vermieden werden.
- Die Einfuhr frischer Nahrungsmittel aus Drittländern sollte nur gestattet werden, wenn keine messbaren radioaktiven Verunreinigungen (Kontaminationen) vorlagen.
- Wegen der Anreicherung radioaktiven Jods in der Schilddrüse wurde empfohlen, die Fütterung der Milchkühe mit Frischfutter einzustellen. Für Milch wurde ein Grenzwert von 500 Bq/l I-131 eingeführt. Milch, die eine höhere Aktivität aufwies, sollte zu lagerfähigen Milchprodukten verarbeitet werden.
- Stillen bedingte keine Gefährdung durch die kontaminierte Muttermilch für den Säugling.
- Frischgemüse sollte vor dem Verzehr gewaschen werden.
- Vor unkontrollierter Einnahme von Jodtabletten wurde gewarnt.

Zwei dieser Empfehlungen erwiesen sich später als problematisch. Nach einem langen Winter klagten die Bauern in Bayern, dass die Futtermittelvorräte er-

schöpft seien und sie die Tiere deshalb auf die Weide schicken mussten. Bei der Verarbeitung von Milch zu lagerfähigen Produkten entstanden 2 Güterzüge voll kontaminierter Molke, die Jahre später aufwändig dekontaminiert wurden.

Am 4. Mai trat die SSK erneut zusammen, um zu beraten. Es lagen jetzt auch Messergebnisse aus dem Westen und Norden Deutschlands vor, die darauf hingen, dass diese Gebiete deutlich geringer belastet waren als die Gegend südlich der Donau. Die SSK hat auf dieser Sitzung folgende Empfehlungen ausgesprochen:

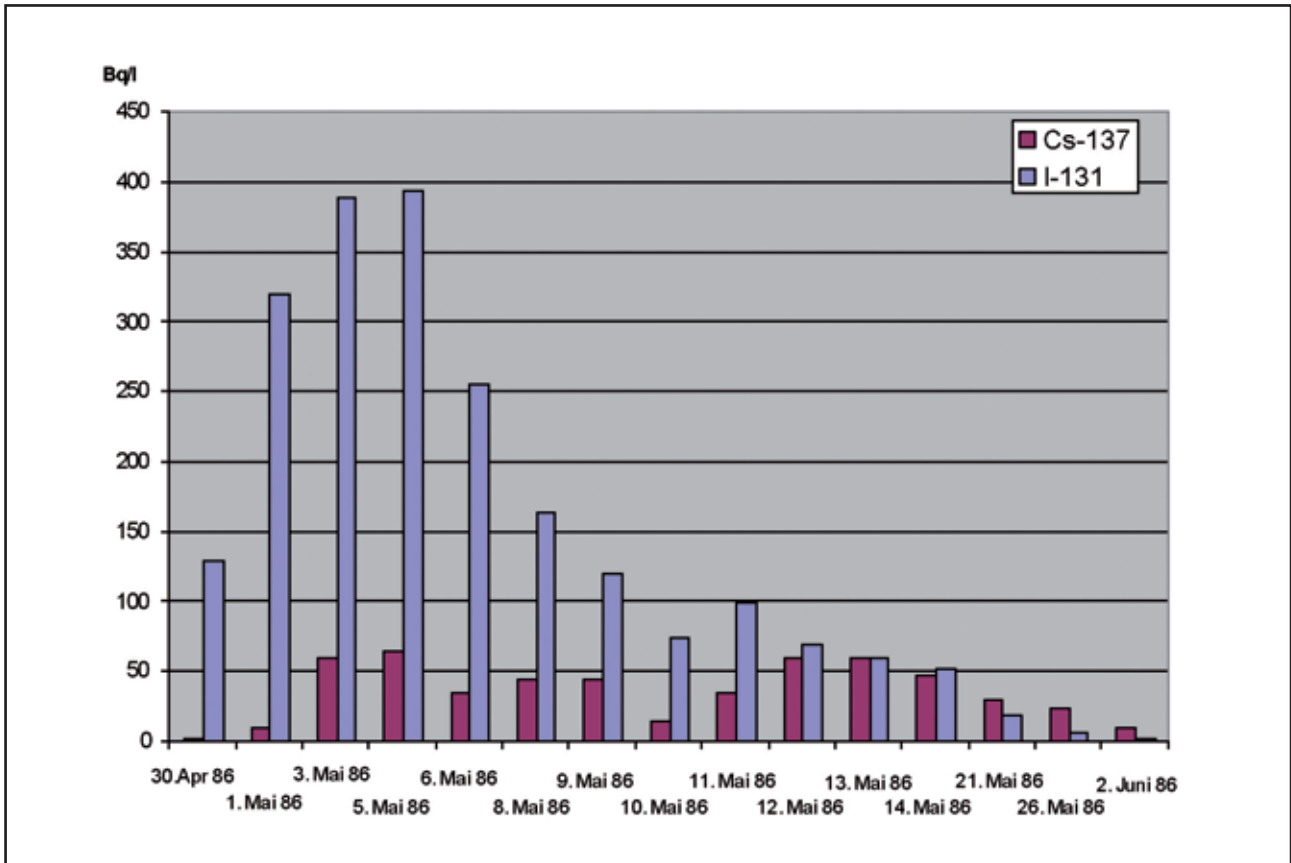
- Für Blattgemüse wurde ein Grenzwert von 250 Bq/kg I-131 empfohlen.
- Die Weiterverarbeitung zu lagerfähigen Produkten wurde als unbedenklich eingestuft, wenn die Aktivität des Cs-137 unter 100 Bq/kg lag.
- Bei Wurzel- und unterirdischem Sprossgemüse bestanden keine gesundheitlichen Bedenken gegen einen Verzehr.

Bei der Ableitung der Grenzwerte für I-131 ging die SSK davon aus, dass die Schilddrüsendosis des Kleinkindes einen Wert von 30 mSv durch die Folgen dieses Unfalls nicht überschreiten sollte.

Die Empfehlungen wurden am 7. Mai erneut überprüft und erläutert. Auf dieser Sitzung wurde der Eingreifrichtwert für Cs-137 in Nahrungsmitteln aufgehoben, da man mittlerweile davon ausging, dass die Strahlenbelastung durch Ingestion „kleiner als die Strahlenbelastung durch die natürliche K-40-Aktivität“ sei, was sich nachträglich bestätigte.

Nach und nach wurden immer mehr Messergebnisse und Informationen zusammengetragen, die eine bessere Übersicht über die Lage erlaubten. Analysen zeigten, dass Strontium-90 und Plutonium nur in sehr geringen Aktivitäten nach Deutschland transportiert worden waren und nicht nennenswert zur Dosis beitrugen. Es wurde deutlich, dass nur die beiden Cäsiumisotope Cs-134/137 längerfristig dosisrelevant waren. Das Probenspektrum wurde immer breiter. Neben Milch und Blattgemüse wurden nun auch Fleisch und Fisch in die Probeentnahme einbezogen. Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit und einer „Verdünnung“ der Aktivität in Gras durch Wachstum musste Mitte Mai auch in Südbayern nicht mehr befürchtet werden, dass die I-131-Konzentrationen in Milch den Eingreifrichtwert von 500 Bq/l übersteigen könnten (Tabelle Seite 20).

Trotzdem mussten die Messaktivitäten im ISH noch verstärkt werden, weil zusätzliche Aufgaben auf die Messstellen zukamen. Bei der Ausfuhr von Milch und Milchprodukten in verschiedene Länder wie beispielsweise nach Italien wurde ein Zertifikat über die Höhe der I-131-Milchkontamination benötigt. Bald stapelte sich eine fast unübersehbare Menge verschiedenster



Verlauf der I-131- und Cs-137-Konzentration in Milch nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Die Herde war mit Ausnahme des 1. Mai permanent auf einer Wiese im Münchner Norden.

Molkereiprüfungen im ISH, die für den Export bestimmt waren und ein Zertifikat benötigten. Mit Beginn der Erntesaison kamen Privatleute, die die Kontamination ihrer Produkte analysiert haben wollten. Messungen wurden nur dann durchgeführt, wenn das Produkt für die Lagebeschreibung interessant war, ansonsten wurde auf bereits vorliegende Messergebnisse verwiesen.

Die Wissenschaftler des ISH wurden auch immer mehr in der Öffentlichkeitsarbeit gefordert. Zeitungen, Rundfunk und Fernsehen wollten Erläuterungen zur radiologischen Situation erhalten. Beispielsweise wurde für die Süddeutsche Zeitung anhand eines Wochenessensplans die wöchentliche Zufuhr von Cs-137 mit der Nahrung erörtert.

Ende Mai begannen allmählich grenzüberschreitende Betrachtungen der radiologischen Situation in Europa. Die EG legte am 31. Mai 1986 Grenzwerte für die spezifische Radiocäsiumaktivität in Nahrungsmitteln fest: 370 Bq/kg für Milch, Milchprodukte und Säuglingsnahrung, 600 Bq/kg für sonstige Nahrungsmittel. Das ISH und das niederländische Reichsinstitut für Volksgesundheit analysierten Mitte Juni gemeinsam die europaweite Kontamination der Umwelt. Zu diesem Treffen waren auch Vertreter internationaler Behörden und anderer EG-Länder geladen. Die Niederländer

zeigten erstmals eine Simulation der Ausbreitung der radioaktiven Schadstoffe über Europa. Im Dezember 1986 leitete die Welternährungsorganisation FAO (unter maßgeblicher Beratung durch das ISH) Grenzwerte für Nahrungsmittel für den internationalen Handel ab. Die Weltgesundheitsorganisation WHO übernahm später diese Werte. Die EG leitete 1987 eigene entsprechende Werte ab, die zunächst etwa 6- bis 8-mal höher als die FAO-Werte waren. Nachträglich wurden diese Werte auf dem FAO-Niveau einander angepasst.

Die Messungen der Umweltradioaktivität gingen während des gesamten Sommers unvermindert weiter. Immer wieder gab es nicht erwartete Ergebnisse. Wintergetreide war in Süddeutschland mit bis zu 400 Bq/kg Cs-137 belastet, was auf eine effektive Aufnahme von Cäsium über das Blatt und eine effektive Verlagerung in die Körner hindeutete. Die Messungen in den Nahrungsmitteln wurden ergänzt durch systematische Ganzkörpermessungen, mit denen die Cs-134/137-Aktivität im Körper von Menschen bestimmt werden kann.

Im September 1986 veröffentlichten das ISH und das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene eine gemeinsame, bundesweite Kontaminationskarte, die erstmals flächendeckend die Kontamination des Bodens mit Cs-137 zeigte (Abb. Seite 5).

Gebiet	Effektive Dosis im 1. Jahr (mSv)				Gesamte effektive Dosis für die nach dem Unfall folgenden 50 Jahre (mSv)			
	1986	1987	1996	2006	1986	1987	1996	2006
Voralpengebiet		1,2	0,65	0,5		3,8	2,2	2,1
Südlich Donau	0,5 - 1,1	0,6	0,35	0,3	1,5 - 4,0	1,9	1,3	1,1
Nördlich Donau		0,2	0,17	0,1		0,6	0,55	0,4

Vergleich der in den Jahren 1986, 1987, 1996 und 2006 berechneten effektiven Dosen für Erwachsene durch die SSK.

Nachdem die Verteilung der Radioaktivität in der Umwelt hinreichend gut bekannt war, wurden auch die Dosisabschätzungen immer besser. Die Tabelle oben fasst die Dosisabschätzungen der SSK in den Jahren 1986, 1987, 1996 und 2006 für Erwachsene zusammen. Die Strahlenexpositionen der Kleinkinder lagen jeweils um 10 - 20 % höher. Die Zahlen zeigen, dass die Dosisprognosen bereits 1986 recht zuverlässig waren. Sie zeigen aber auch, dass die Abschätzungen um so vorsichtiger sind, je weniger Kenntnisse zur Verfügung stehen.

Mit dem Ende der Haupterntezeit ging Ende August auch die Messfrequenz in pflanzlichen Medien zurück. Tierische Produkte wurden aber noch den ganzen Winter über verstärkt gemessen. Die Cs-134/137-Aktivität in der Milch stieg mit der Winterfütterung von kontaminiertem Heu, insbesondere des ersten Schnitts, nochmals deutlich auf einige 10 Bq/l an. Erst ein Jahr nach dem Unfall in Tschernobyl lagen die Aktivitäten in den landwirtschaftlichen Produkten in der Nähe des Pegels vor dem Reaktorunfall. Höher belastet waren noch Fische aus Binnenseen sowie Wild, Waldbeeren und Pilze, deren spezifische Aktivitäten teilweise weiter anstiegen.

Das Fachgebiet Radioökologie untersuchte die Umweltkontamination, um systematisch der Frage nachzugehen, warum Wild, Beeren und Pilze im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Produkten lange Zeit hochkontaminiert blieben. Die Routinemessungen wurden nach und nach eingeschränkt. Das Verständnis des Verhaltens von Radionukliden in der Umwelt rückte in den Mittelpunkt des Interesses. Aufgrund dieser und ähnlicher Untersuchungen ist man heute viel besser als früher in der Lage, das langfristige Verhalten von Radionukliden zu prognostizieren.

Die Ende April noch eilends beschafften 5-l-Kanister für Milchproben wurden allerdings nie genutzt, da aufgrund der viel höheren Radionuklidgehalte, als sie vor dem Unfall erwartet worden waren, bereits deutlich geringere Mengen für Radionuklidanalysen ausreichten.

Aus dem Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (DDR)

Organisation der Überwachung

In der DDR war das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) die für die Durchsetzung aller Belange der Atomsicherheit und des Strahlenschutzes zuständige Behörde. Das SAAS war deshalb auch für die Koordinierung aller Maßnahmen zur Überwachung der Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl, für die Bewertung der Ergebnisse und für Empfehlungen über erforderliche Strahlenschutzmaßnahmen zuständig.

Am Nachmittag des 28.04.1986 erhielt das SAAS über Verbindungen zur IAEA zunächst inoffiziell erste Informationen über erhöhte Radioaktivitätswerte in der Luft in skandinavischen Ländern und über einen Reaktorunfall im europäischen Teil der Sowjetunion als mögliche Ursache dafür. Diese Informationen waren Anlass, noch am 28. April eine Bewertungsgruppe zu bilden, die die Aufgabe hatte, alle Informationen und Messergebnisse zu analysieren, zu bewerten, eine umfassende Beurteilung der Situation vorzunehmen und Empfehlungen für mögliche Gegenmaßnahmen zu erarbeiten. Diese Bewertungsgruppe war in eine Leit- und Analysegruppe integriert, in die alle DDR-Ministerien einbezogen waren, die für die Durchführung eventuell erforderlicher Schutzmaßnahmen verantwortlich waren.

Vom SAAS wurden unverzüglich Maßnahmen getroffen, die bestehenden Messnetze zur Überwachung der Umweltradioaktivität zu verdichten, die Häufigkeit der Messungen zu erhöhen und die Messaufgaben den Erfordernissen entsprechend zu erweitern. In das Überwachungsprogramm waren neben dem Meteorologischen Dienst und anderen staatlichen Einrichtungen auch die Laboratorien für die Umgebungüberwachung der Kernkraftwerke sowie Forschungseinrichtungen der Akademie der Wissenschaften und Hochschulen einbezogen. Die Messaufgaben

wurden vom SAAS vorgegeben und die Institutionen zur täglichen Berichterstattung und Übermittlung der Messergebnisse an das SAAS verpflichtet. Im Rahmen der technischen Möglichkeiten wurde vom SAAS auch eine Qualitätsüberwachung der durchgeführten Messungen organisiert.

Mit Beginn der Überwachung wurde auch eine zentrale Datenbank aufgebaut, in die alle Überwachungsergebnisse und die für die Bewertung der Strahlenexpositionen erforderlichen Informationen aufgenommen wurden. Mit Hilfe dieser Datenbank wurde später der Datenaustausch sowohl bilateral als auch mit der IAEA realisiert.

Verlauf der Situation, Durchführung der Überwachung und Ergebnisse

Der Meteorologische Dienst stellte von Beginn an Daten über die Wettersituation und Prognosen über die Entwicklung bereit, die für die Planung der Überwachungsprogramme sehr wichtig waren.

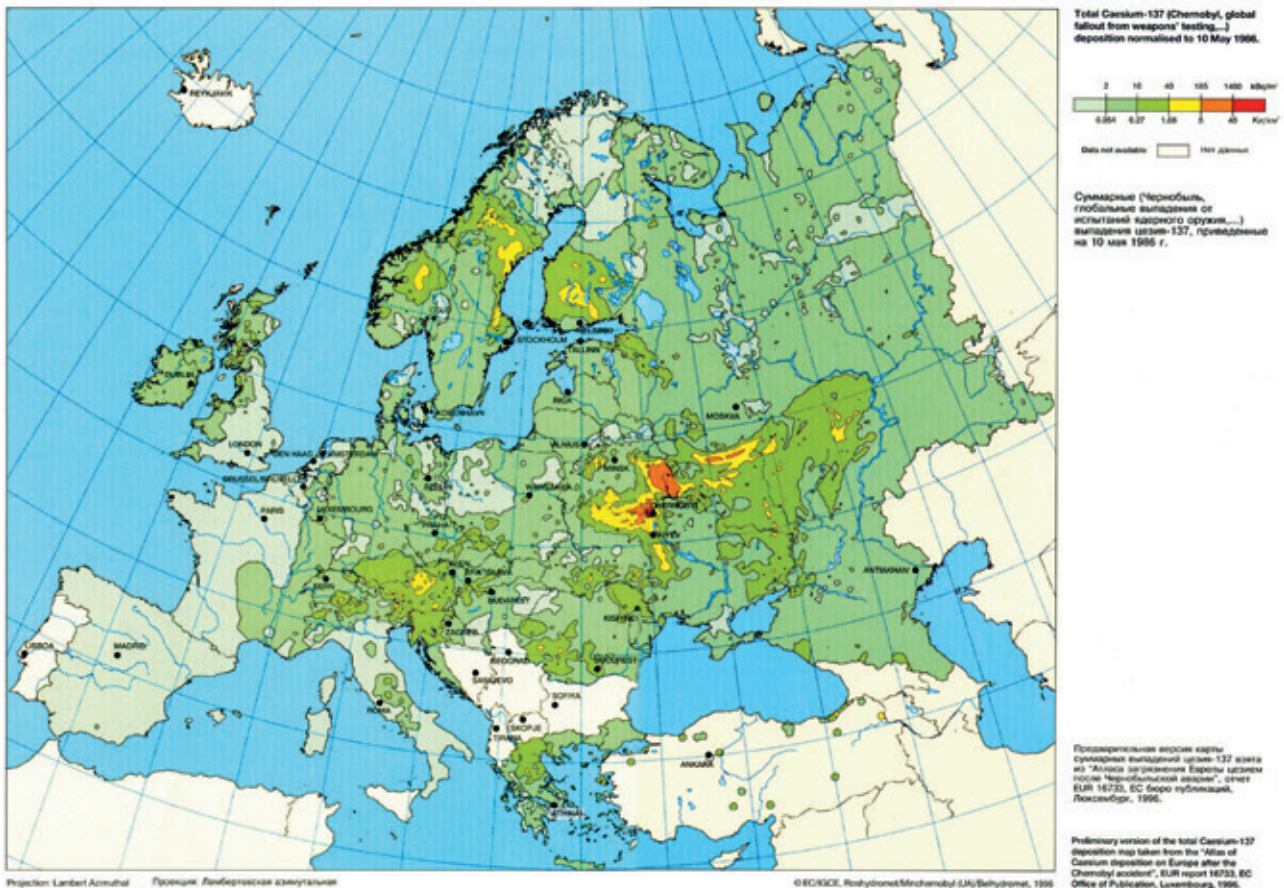
Beginnend mit dem 29.04.1986 erreichten radioaktiv kontaminierte Luftmassen das Gebiet der DDR, zunächst solche, die aus dem Unfallgebiet nach Nordost- und Nordpolen gelangt waren, aber auch Luftmassen, die direkt aus dem Unfallgebiet herangeführt wurden. Sie erreichten vor allem die Lausitz, gelangten aber auch bis in den Berliner Raum und teilweise nach Thüringen. Mehr oder weniger unbeeinflusst blieben die nördlichen und westlichen Gebiete. Anfang Mai begann von Süden her erneut ein Zustrom radioaktiv kontaminierter Luftmassen, die zunächst aus dem Unfallgebiet nach Südosteuropa, Österreich, in die Bundesrepublik Deutschland und die CSSR gelangt waren. Sie erreichten Thüringen und Westsachsen und wurden von dort nach Norden transportiert. Wenige Tage später setzten in den westlichen Gebieten örtlich teils kräftige Niederschläge ein, die nach und nach auch die östlichen Gebiete erreichten. Diese Niederschläge waren die Ursache für die zeitlich und örtlich sehr unterschiedlichen Radioaktivitätsablagerungen. Nach dem 08.05.1986 stellte sich die Wetterlage um, mit intensiven Niederschlägen verbundene westliche Luftströmungen beendeten die Zufuhr radioaktiv kontaminierter Luftmassen aus dem Unfallgebiet.

Bei der Planung der Überwachungsmaßnahmen wurden die Zusammensetzung des Radionuklidgemisches in der Luft, die räumliche Verteilung der kontaminierten Luft, die wegen der unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen erwarteten regionalen Unterschiede der Radionuklidablagerungen, der Vegetationsstand und die unter diesen Bedingungen möglichen Expositionsszenarien und Expositionspfade berücksichtigt.

Bis etwa Ende Mai war Iod-131 für die Strahlenexposition bestimmend, als Hauptexpositionspfad musste die Kette Luft-Futterpflanze-Kuh-Milch überwacht werden. In der Anfangsphase war auch die durch die Radionuklidablagerungen verursachte äußere Strahlenexposition zu beachten, die Inhalation war von untergeordneter Bedeutung.

Aus der Zusammensetzung des Radionuklidgemisches ergab sich nach ersten Abschätzungen, dass längerfristig nur die Isotope Cs-134 und Cs-137 für die Höhe der Strahlenexposition bestimmend sein würden und dass neben dem Verzehr von kontaminierter Milch auch der Verzehr von Blattgemüse, Fleisch und Fisch beachtet werden musste. Weniger bedeutsam waren dagegen Getreide, Kartoffeln, Wurzelgemüse und Obst. Art, Ort und Häufigkeit der Messungen wurden der erwarteten Entwicklung der Situation angepasst. In Gebieten, in denen mit höheren Kontaminationen gerechnet werden musste, wurden intensivere Überwachungsmessungen durchgeführt.

Parallel zur Überwachung der radioaktiven Belastung der Pflanzen und Nahrungsmittel wurden auch systematische Messungen zur Ermittlung der radioaktiven Belastung der Böden in einem engen Flächenraster (jeweils 10 km x 10 km) durchgeführt, um einen Überblick über die regionale Variation der radioaktiven Kontamination der Böden zu bekommen und die Kontaminationsschwerpunkte identifizieren zu können. Diese Untersuchungen waren für Prognosen über die Strahlenexpositionen, mit denen in den Folgejahren zu rechnen ist, und für die Planung der erforderlichen Überwachungsmaßnahmen von großer Bedeutung. Bald ergab die Auswertung der Untersuchungen, dass die DDR zu den Gebieten in Europa gehörte, die weniger betroffen waren (vgl. Karte der Cs-134-Kontamination der Böden in Proceedings des IAEA-Symposiums STI/PUB/825 Vol. I, p. 227). Anfang der 1990er Jahre bildeten die Ergebnisse dieser Bodenuntersuchungen, zusammen mit den für die alten Bundesländer gewonnenen Untersuchungsergebnissen, die Datengrundlage für eine gesamtdeutsche Karte der Cs-137-Kontamination der Böden. Auch diese Karte macht deutlich, dass die radioaktive Kontamination Ostdeutschlands, verglichen mit der Kontamination in anderen Gebieten Deutschlands, deutlich geringer war und erhöhte Kontaminationen auf Teilgebiete beschränkt waren, die verglichen mit dem Gesamtterritorium klein waren (s. a. Abb. Seite 5). Die Gebiete mit erhöhten Kontaminationen bildeten in den Folgejahren den Schwerpunkt der Überwachung durch das SAAS. Die Ergebnisse der Überwachung wurden in zahlreichen Berichten zusammengefasst. Vor allem die Berichte SAAS 353 A bis SAAS 353 E der Schriftenreihe des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz geben einen umfassenden Überblick über die Programme, die angewendeten Methoden und die Ergebnisse der Überwachung.



Gesamt-Cäsium-137-Ablagerung (Kernwaffentests, Tschernobyl, ...) in Europa am 10. Mai 1986.

Ermittlung der Strahlenexpositionen

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Überwachungsmessungen ermittelte die Bewertungsgruppe die Strahlenexpositionen für die Bevölkerung. Für den Zeitraum von Mai 1986 bis zum Sommer waren folgende Expositionspfade für die Strahlenexposition bestimmend:

- Äußere Strahlenexposition aus der Luft und aus den Radioaktivitätsablagerungen.
- Inhalation (Einatmung) kontaminierter Luft.
- Verzehr kontaminierter Frischmilch.
- Verzehr von kontaminiertem Blattgemüse.
- Verzehr von Fleisch und Fisch.

Später waren die Belastungspfade Verzehr von Milch und Milchprodukten, Verzehr von Fleisch und Fisch, aber auch von Pilzen für die Exposition bestimmend. Abhängig von den Ernährungsgewohnheiten trugen die Belastungspfade in unterschiedlichem Maße zur Strahlenbelastung der im Strahlenschutz allgemein betrachteten Personengruppen bei.

In der Tabelle Seite 42 oben sind die Ergebnisse der Expositionsabschätzungen für den Zeitraum Mai 1986 bis Dezember 1987 zusammengestellt worden.

In der Folgezeit nahm die Strahlenexposition erwartungsgemäß ständig ab. Wichtige Informationen über die durchschnittlichen Strahlenexpositionen lieferten auch die Ergebnisse der Überwachung der Gesamtnahrung aus öffentlichen Einrichtungen, die bereits seit 1962 durchgeführt wurde. Die Ergebnisse bestätigten die von der Bewertungsgruppe vorgenommenen Expositionsabschätzungen.

Auch die systematisch durchgeführten Ganzkörpermessungen für Personengruppen aus Gebieten, die für das Kontaminationsgeschehen typisch waren, bestätigten die auf der Grundlage der Überwachungsdaten ermittelten Strahlenexpositionen. Ganzkörpermessungen wurden auch für eine Gruppe von Personen durchgeführt, die sich während des Unfalls in Kiew und Umgebung aufgehalten hatten. Die Durchführung der Überwachung, die Überwachungsergebnisse und die Ergebnisse der Expositionsabschätzungen sind ausführlich in den Berichten SAAS 353 B bis E beschrieben.

Ableitung von Richtwerten und Vorbereitung von Schutzmaßnahmen

Aus dem Geschehen ergab sich, dass Schutzmaßnahmen für den Verzehr belasteter Lebensmittel erforderlich werden konnten. Ausgehend von den Kontak-

Zeitraum	Belastungskomponente	Individuelle Belastung	
		Mittelwert in mSv	Bereich in mSv
Mai 1986	äußere Bestrahlung	0,03	0,02 ... 0,1
	Inhalation	0,005	0,01 ... 0,02
	Ingestion	0,075	0,04 ... 1,1
	alle Komponenten	0,11	
Juni bis Dezember 1986	äußere Bestrahlung	0,06	0,03 ... 0,18
	Ingestion	0,06	0,03 ... 0,11
	alle Komponenten	0,12	
Januar bis Dezember 1987	äußere Bestrahlung	0,08	0,04 ... 0,28
	Ingestion	0,05	0,02 ... 0,7
	alle Komponenten	0,13	

Übersicht über die durch den Reaktorunfall bedingte Strahlenbelastung (aus: Wissenschaft und Fortschritt, Heft 4/89, Akademie der Wissenschaften der DDR).

minations- und Expositionsszenarien wurden von der Bewertungsgruppe nach den Grundprinzipien des Strahlenschutzes – Rechtfertigung und Optimierung – Anfang Mai 1986 Richtwerte für die Kontamination landwirtschaftlicher Produkte festgelegt. Im Zeitraum bis zum 31.05.1986 galten für die Kontamination von Frischmilch 500 Bq/l und für Blattgemüse 1.000 Bq/kg, jeweils für I-131. Ab 01.06.1986 galten für die Kontamination mit Cs-137, das für die Exposition bestimmend war, 300 Bq/kg für alle Lebensmittel.

Ogleich diese Richtwerte bereits unter dem Gesichtspunkt der Optimierung abgeleitet worden waren, wurde zusätzlich festgelegt, dass bei anhaltender Überschreitung dieser Richtwerte vorsorglich Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung erwogen werden sollten.

Gemeinsam mit dem Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft wurden Maßnahmen vorbereitet, um die Strahlenexpositionen, die durch den Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel verursacht werden könnten, zu begrenzen. Ein direkter Eingriff in die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten sollte dabei vermieden werden. Die Anwendung dieser Maßnahmen war jedoch nur in Einzelfällen erforderlich (z. B. Konservierung von frischem Blattgemüse im Mai 1986, das mit I-131 kontaminiert war, Auswahl von Futter mit niedrigen Cs-134-/ Cs-137-Kontaminationen für die Milchviehbestände in höher kontaminierten Gebieten im Winter 1986/1987, gezielte Auswahl von Milch mit niedrigen Cs-134-/ Cs-137-Kontaminationen für die Herstellung von Kindernahrungsprodukten).

Für den Verzehr von Fischen aus Gewässern in den höher kontaminierten Gebieten sowie von Pilzen und Wildfleisch aus eben diesen Gebieten waren in Anbetracht der geringen Verzehrsmengen keine Maßnahmen erforderlich.

Lehren aus dem Ereignis

Auch das SAAS wurde durch das Ereignis überrascht, jedoch war es in kurzer Zeit in der Lage, die Maßnahmen für die Überwachung einzuleiten, eine fachlich fundierte Bewertung der Situation vorzunehmen, Maßnahmewerte abzuleiten und geeignete Gegenmaßnahmen vorzuschlagen. Die zentrale Organisationsstruktur für die Strahlenschutzkontrolle in der DDR war dabei gewiss von Vorteil. Nichtsdestoweniger wurden auch Probleme deutlich, die in einem anders gearteten Fall eine Lagebeurteilung erschwert hätten.

Ein Problem war die schnelle Bereitstellung von Daten und Informationen, die zwar in diesem Fall noch akzeptabel, für andere Ereignisse jedoch verbesserungswürdig war. Es wurde deshalb ein Überwachungssystem entwickelt, dessen Zielstellung und technische Konzeption mit dem heute existierenden IMIS-System vergleichbar waren.

Nachteilig war damals auch, dass eine internationale Zusammenarbeit nur in Ansätzen vorhanden war. Die Beschaffung von Informationen über den Störfall und seine Auswirkungen in den Nachbarländern, die für eine schnelle Erstbewertung der Lage im Inland hilfreich gewesen wären, war nur mit Mühe und teilweise auf „halboffiziellem“ Wege möglich. Auch diese Probleme sind gelöst. Heute gibt es eine gut organisierte internationale Kooperation, die vom Daten- und Informationsaustausch bis hin zu gegenseitigen Hilfeleistungen reicht.

Eine Erfahrung aus den damals durchgeführten Überwachungen ist auch die Tatsache, dass in kurzer Zeit eine Flut von Messdaten und anderen Informationen anfiel, deren Bewertung nicht nur die handelnden Personen, sondern auch die damals verfügbare Tech-

nik zur Datenverarbeitung teilweise überforderte. Heute ist die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Mess- und Datenverarbeitungstechnik um ein Vielfaches höher. Das sollte jedoch nicht dazu verleiten, die Art und vor allem den Umfang der Daten und Informationen, auf denen die Lagebeurteilung aufbaut, aus dem Stand der Technik herzuleiten. Die Erfahrung aus der Überwachung, die auch heute noch gilt, lautet: Nicht so viele Daten wie möglich – sondern so viele Daten wie nötig.

Die Erfahrungen machen auch deutlich, dass in einem Ereignisfall der Erfolg der getroffenen Schutzmaßnahmen nicht nur von der Arbeit der Behörden abhängt, die diese Maßnahmen umsetzen müssen. Auch der einzelne Bürger trägt durch sein Verhalten zum

Erfolg dieser Maßnahmen bei. Voraussetzung dafür ist die Akzeptanz der Maßnahmen, die nur durch eine sachgerechte Berichterstattung erreicht werden kann. Auf Grund der restriktiven Informationspolitik in der DDR, die auch in diesem Fall nicht aufgegeben worden war, wurde das missachtet. Eine generelle Verunsicherung war die Folge. Hier und da führte der Mangel an Informationen verständlicherweise zu Überreaktionen. Aber auch Gleichgültigkeit, die teilweise zu beobachten war, ist nachteilig.

In einem solchen Fall muss eine schnelle, umfassende, sachliche und widerspruchsfreie Information der Öffentlichkeit erfolgen. Meinungsvielfalt bei Lageeinschätzungen und Empfehlungen ist in einem solchen Fall nicht hilfreich.

